

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО**

**АНТОНОВА Г.В.
ВЕРШКОВ О.О.
МАЦУЛЕВИЧ О.Є.**

**МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО.
ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Частина І. «Матеріалознавство»

Навчальний посібник

Запоріжжя
2024

УДК 531(075.8)
А72

*Рекомендовано Вченою радою
Таврійського державного агротехнологічного університету
імені Дмитра Моторного
(Протокол № 10 від 28 травня 2024 р.)*

Рецензенти:

Веселовська Н.Р., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Машин та обладнання сільськогосподарського виробництва» Вінницького національного аграрного університету

Єрошенко А.М., кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри «Технологія машинобудування та деревообробки» Національного університету «Чернігівська політехніка».

Скляр О.Г., кандидат технічних наук, професор, в.о. завідувача кафедри «Експлуатація та технічний сервіс машин», Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного.

Антонова Г. В., Вершков О.О., Мацулевич О.Є.

А72 Матеріалознавство. Технологія конструкційних матеріалів. Частина І. «Матеріалознавство»: навч. посібник для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти зі спеціальності 208 «Агроінженерія». Запоріжжя, 2024. 215 с.

Навчальний посібник призначений для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти зі спеціальності 208 «Агроінженерія» і містить основні теоретичні відомості та методичні вказівки щодо виконання практичних робіт з розділу «Матеріалознавство» дисципліни «Матеріалознавство. Технологія конструкційних матеріалів». Розглянуто будову і властивості металів і сплавів, основи чорної та кольорової металургії, розглянуто діаграму Fe - Fe₃C, основи термічної обробки, способи поверхневого зміцнення, хіміко-термічна обробка сталей. Мета навчального посібника - це допомогти майбутньому бакалавру в його практичній діяльності: правильно оцінити можливості металів і різних сплавів під час виробництва деталей, установити зв'язок між умовами виробництва та властивостями деталей, що виготовляються, для подальшого їхнього раціонального застосування в різних галузях промисловості.

© Антонова Г.В.

© Таврійський державний
агротехнологічний університет імені
Дмитра Моторного, 2024

ЗМІСТ

ВСТУП	5
МОДУЛЬ 1. ОСНОВИ БУДОВИ МАТЕРІАЛІВ. ФАЗОВІ ПЕРЕТВОРЕННЯ	6
ТЕМА 1. ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ПРО ВЛАСТИВОСТІ ТА МЕТОДИ ВИПРОБУВАННЯ МЕТАЛІВ ТА СПЛАВІВ	6
1.1 Класифікація металевих матеріалів	6
1.2 Кристалічна будова металів	10
1.3 Властивості металів та сплавів	21
1.4 Наклеп та рекристалізація	27
1.5 Складові структури сплавів	29
1.6 Діаграми стану подвійних сплавів	32
Контрольні питання	40
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 1. ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ	40
ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДО ТЕМИ І	55
ТЕМА 2. СПЛАВИ НА ОСНОВІ ЗАЛІЗА. ВУГЛЕЦЕВІ СТАЛІ. ЧАВУНИ	65
2.1 Діаграма стану сплавів системи залізо - вуглець	65
2.2 Вуглецеві сталі. Вплив вуглецю та постійних домішок на властивості сталі.	69
2.3 Класифікація вуглецевих сталей	70
2.4 Чавуни	75
Контрольні питання	81
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 2. АНАЛІЗ ДІАГРАМИ СТАНУ ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ	81
ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДО ТЕМИ 2	88
ТЕМА 3. ОСНОВИ ТЕРМІЧНОЇ ТА ХІМІКО- ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ	98
3.1 Теорія і технологія термічної обробки сталі	98
3.2 Хіміко-термічна обробка	108
Контрольні питання	111
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 3. ТЕРМІЧНА ОБРОБКА ВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ	112
ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДО ТЕМИ 3	120

МОДУЛЬ 2. МАШИНОБУДІВНІ МАТЕРІАЛИ	128
ТЕМА 4. ЛЕГОВАНІ СТАЛІ ТА СПЛАВИ. КОЛЬОРОВІ МЕТАЛИ ТА СПЛАВИ	128
4.1 Класифікація та маркування легованих сталей	129
4.2 Конструкційні сталі	131
4.3 Інструментальні та штампувальні сталі та сплави	134
4.4 Сталі з особливими властивостями	138
4.5 Кольорові метали та сплави	149
4.6 Алюміній та його сплави	149
4.7 Мідь та її сплави	153
4.8 Титан і його сплави	157
4.9 Антифрикційні сплави	157
Контрольні питання	158
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 4. ВИВЧЕННЯ МІКРОСТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ ЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ	159
ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДО ТЕМИ 4	165
ТЕМА 5. ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ, НЕМЕТАЛЕВІ ТА КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ	174
5.1 Електротехнічні матеріали	174
5.2 Пластичні маси. Загальна характеристика пластмас	180
5.3 Гума	193
5.4 Скло	195
5.5 Композиційні матеріали	198
5.6 Допоміжні матеріали	199
Контрольні питання	203
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 5. ВИВЧЕННЯ МІКРОСТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ	204
ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДО ТЕМИ 5	210
ВИСНОВОК	214
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	215

ВСТУП

Цей навчальний посібник призначений для вивчення першої частини «Матеріалознавство» дисципліни «Матеріалознавство. Технологія конструкційних матеріалів» здобувачами, які навчаються за спеціальністю 208 «Агроінженерія».

Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів є наукою про будову, властивості та технології створення матеріалів. Ця галузь знань належить до основоположних інженерних дисциплін, оскільки виготовлення традиційних і розробка нових матеріалів, вивчення властивостей і способи їх обробки є основою сучасного виробництва.

Достатній рівень знань у галузі матеріалознавства та технології матеріалів є важливим показником освіченості фахівців у галузі агроінженерії та харчових виробництв.

У результаті вивчення першої частини курсу «Матеріалознавство. Технологія конструкційних матеріалів» здобувач повинен знати: основні види конструкційних і сировинних, металевих і неметалевих матеріалів; класифікацію, властивості, маркування та сферу застосування конструкційних матеріалів, принципи їх вибору для застосування у виробництві; основні відомості про призначення та властивості металів і сплавів, про технологію їх виробництва; особливості будови металів та їх сплавів, закономірності процесів кристалізації та структуроутворення; основи термообробки металів; способи захисту металів від корозії; особливості будови, призначення та властивості різних груп неметалевих матеріалів. Уміти: розпізнавати і класифікувати конструкційні та сировинні матеріали за зовнішнім виглядом, походженням, властивостями; добирати матеріали за їх призначенням та умовами експлуатації для виконання робіт; вибирати та розшифровувати марки конструкційних матеріалів; визначати твердість металів; визначати режими відпалу, нормалізації загартування та відпуску сталі; володіти методикою вибору конструкційних матеріалів для виготовлення елементів машин і механізмів.

У пропонованому навчальному посібнику подано основний теоретичний матеріал і практичні роботи з дисципліни «Матеріалознавство. Технологія конструкційних матеріалів».

Практичні роботи передбачають закріплення теоретичних знань, отриманих на лекціях і під час читання спеціальної літератури, знайомство з устаткуванням і матеріалами, набуття практичних навичок під час проведення макроскопічного, мікроскопічного, термічного аналізу, термічного оброблення та визначення механічних властивостей металів і сплавів.

Для перевірки отриманих знань за кожним із розділів запропоновано контрольні питання та зразки тестових завдань для поточного контролю за всіма розділами дисципліни.

МОДУЛЬ 1. ОСНОВИ БУДОВИ МАТЕРІАЛІВ. ФАЗОВІ ПЕРЕТВОРЕННЯ

ТЕМА 1. ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ПРО ВЛАСТИВОСТІ ТА МЕТОДИ ВИПРОБУВАННЯ МЕТАЛІВ ТА СПЛАВІВ

План

- 1.1 Класифікація металевих матеріалів
- 1.2 Кристалічна будова металів
- 1.3 Властивості металів та сплавів
- 1.4 Наклеп та рекристалізація
- 1.5 Складові структури сплавів
- 1.6 Діаграми стану подвійних сплавів

1.1 Класифікація металевих матеріалів

Металознавство – наука, що вивчає будову та властивості металів та встановлює зв'язок між їх складом, будовою та властивостями.

Що таке метал?

У хімії під металами розуміють певну групу елементів, що розташована у лівій частині Періодичної таблиці Д.І. Менделєєва. Елементи цієї групи, вступаючи в хімічну реакцію з елементами, що є неметалами, віддають їм зовнішні, так звані валентні електрони. Це є наслідком того, що у металів зовнішні електрони неміцно пов'язані з ядром; крім того, на зовнішніх електронних оболонках електронів небагато (всього 1-2), тоді як у неметалів електронів багато (5-8). Всі елементи, розташовані лівіше *галію, індію і талію*, – **метали**, а правіше *миш'яку, сурми та вісмуту* – **неметали**.

У техніці під **металом** розуміють речовини, що мають «металевий» блиск, тією чи іншою мірою властивим усім металам, та пластичністю. За цією ознакою метали можна легко відрізнити від неметалів – наприклад, дерева, каменю та ін.

Крім металевого блиску та пластичності всі метали мають високу електро- і теплопровідність.

Теорія металевого стану розглядає метал як речовину, що складається з позитивно заряджених іонів, оточених негативно зарядженими частинками - електронами, що слабо пов'язані з ядром. Ці електрони безперервно переміщуються всередині металу і належать не одному якомусь атому, а всій сукупності атомів.

Таким чином, характерною особливістю атомно-кристалічної будови металів є наявність електронного газу всередині металу, що слабо пов'язаний з позитивно зарядженими іонами. Легке переміщення цих електронів усередині металу та малий їх зв'язок з атомами зумовлюють наявність у металів певних металевих властивостей (висока електро- та теплопровідність, пластичність та ін.).

Для **металів** характерні також щільна кристалічна структура, висока міцність, здатність до значних пластичних деформацій, що дає можливість обробляти їх тиском (прокатка, кування, штампування, волочіння), хороші ливарні властивості, здатність до утворення сплавів, зварюваність, витривалість здатність працювати при низьких та високих температурах) та ін. Наявність цих властивостей і характеризує так званий металевий стан речовини. **Неметали** не мають перерахованих вище властивостей і різко відрізняються на вигляд від **металів**.

Існує кілька типів класифікацій металів. Найбільш чіткою є класифікація металів відповідно до їх положення в періодичній системі хімічних елементів - хімічна. Однак у техніці використовують і інші класифікації, в основі яких лежить будь-яка ознака металу, важлива при практичному його застосуванні. Надалі будемо спиратися на класифікацію, згідно з якою всі метали діляться на **чорні**, що мають темно-сірий колір, і **кольорові**, забарвлення яких може бути червоним, жовтим і білим (рисунок 1.1).

- **Чорні метали** мають темно-сірий колір, велику щільність (крім лужноземельних), високу температуру плавлення, відносно високу твердість і в багатьох випадках мають поліморфізм.

- **Кольорові** метали найчастіше мають характерне забарвлення: червоне, жовте, біле. Мають велику пластичність, малу твердість, відносно низьку температуру плавлення, поліморфізм зустрічається рідко.

У групі **чорних металів** виділяють:

- ▶ *залізні* – залізо (Fe), кобальт (Co), нікель (Ni) та марганець (Mn). Три останні можуть бути використані самостійно, але частіше їх додають до заліза для зміни його властивостей у бажаному напрямку;

- ▶ *тугоплавкі*, температура плавлення яких вища, ніж у заліза (1539 °C), - титан (Ti), ванадій (V), хром (Cr), цирконій (Zr), молібден (Mo), вольфрам (W) та ін. Ці метали використовують як добавки до заліза або як основу для отримання сплавів спеціального призначення;

- ▶ *уранові* - актиноїди (уран (U), плутоній (Pu) та ін.), що застосовуються в атомній енергетиці;

- ▶ *рідкоземельні* - лантаноїди (лантан (La), церій (Ce), неодим (Nd) та подібні до них за властивостями ітрії (Y) та скандій (Sc)). Їх використовують як присадки для поліпшення властивостей інших металів;

- ▶ *лужноземельні* – натрій (Na), калій (K), цезій (Cs) та ін. Дані метали у вільному металевому стані в техніці застосовуються вкрай рідко через їх хімічну активність та низькі механічні властивості.

Кольорові метали поділяються:

- ▲ на *легкі* – берилій (Be), магній (Mg), алюміній (Al). Їхні сплави знайшли широке застосування в авіації, космічній та автомобільній техніці;

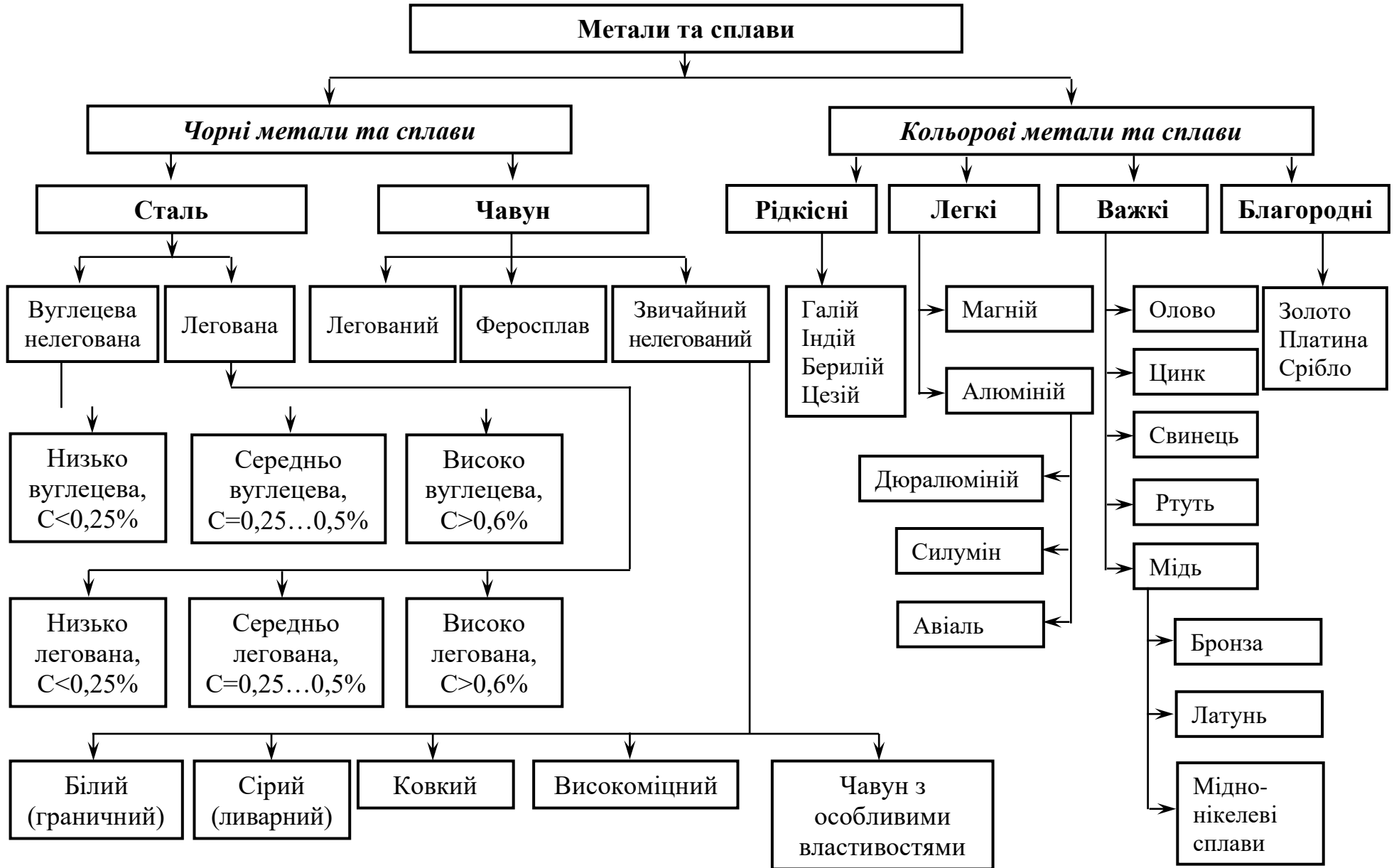


Рисунок 1.1 - Класифікація металів та сплавів

▲ *благородні* – срібло (Ag), золото (Au), платина (Pt) та ін. Вони мають високу стійкість проти корозії. До цієї групи може бути віднесена і «напівблагородна» мідь;

▲ *легкоплавкі* – цинк (Zn), ртуть (Hg), олово (Sn), свинець (Pb) та ін. Вони відрізняються низькою температурою плавлення та в основному використовуються для отримання сплавів на основі інших металів.

Розрізняють технічно чисті метали та сплави.

Чисті метали складаються з одного основного елемента та незначної кількості домішок інших елементів. За рівнем чистоти розрізняють метали:

- - технічної;
- - високої;
- - і особливої чистоти.

Проте чисті метали знаходять обмежене застосування у будівництві та у машинобудуванні. У більшості випадків вони мають недостатньо високі фізичні, механічні та хімічні властивості, мають порівняно високу вартість, досить складну технологію отримання та переробки і мало придатні для технічних цілей. Їх використовують, як правило, тільки в тих випадках, коли до матеріалу пред'являються високі вимоги щодо тепло-і електропровідності, високої температури плавлення тощо, наприклад, для виготовлення проводів, кабелів, обмоток електричних машин та ін.

Для зміни властивостей металів у необхідному напрямку їх сплавляють з іншими елементами. Такі з'єднання або системи, що складаються з двох або декількох металів або металів і деяких неметалів, називають **сплавами**, а елементи, що входять до їх складу, **компонентами**. До останніх належать як хімічні елементи, і стійкі хімічні сполуки. Нині відомо понад 10 тис. використовуваних у промисловості сплавів. Наприклад, латунь – сплав двох металів (міді з цинком), бронза – сплав міді з оловом або іншими елементами, сталь та чавун – сплави заліза з вуглецем, кремнієм, марганцем, фосфором та сіркою.

За кількістю компонентів метали поділяються на:

- - двокомпонентні (подвійні, або бінарні);
- - трикомпонентні (потрійні);
- - багатоконпонентні.

Компонент, що переважає в металі кількісно, називається **основним**, а компоненти, що вводяться в метал для надання йому корисних якостей, - **легуючими**.

◆ *Сукупність компонентів металу називається системою.*

Змінюючи компоненти та співвідношення між ними, отримують сплави з найрізноманітнішими фізичними, механічними або хімічними властивостями.

Сплави мають всі характерні властивості металів, проте якісні характеристики їх зазвичай різко відрізняються від чистих вихідних металів і їх можна регулювати. Наприклад, сплав, що містить 40% кадмію і 60% вісмуту, має температуру плавлення 144 °С, а температура плавлення

складових його компонентів - відповідно 321 °С і 271 °С, тобто. набагато вище. Сплави, як правило, перевершують чисті метали за міцністю, твердістю, зносостійкістю, жароміцністю, оброблюваністю різанням, ливарним властивостям і т.д. Тому вони застосовуються значно ширше за чисті метали. Однак у техніці як чисті метали, так і сплави об'єднані під загальним терміном «метали».

1.2 Кристалічна будова металів

Будь-яка речовина може бути в трьох агрегатних станах:

- – твердому;
- – рідкому;
- – газоподібному.

У чому різниця?

У *газах* немає закономірності розташування частинок (атомів, молекул); частинки хаотично рухаються, відштовхуються одна від одної, і газ прагне зайняти можливо великий обсяг.

У *твердих* тілах порядок розташування атомів певний, закономірний, сили взаємного тяжіння та відштовхування врівноважені та тверде тіло зберігає свою форму.

У *рідини* частинки зберігають лише так званий ближній порядок, тобто у просторі закономірно розташована невелика кількість атомів, а не атоми всього об'єму, як у твердому тілі. Близький порядок нестійкий, він виникає, то зникає під впливом теплових коливань.

Правильне, закономірне розташування частинок атомів, молекул у просторі характеризує **кристалічний стан**.

Кристалічна будова можна уявити у вигляді *просторової кристалічної решітки*, у вузлах якої розташовані атоми.

Розташування атомів у кристалі зручно зображати у вигляді так званих елементарних кристалічних осередків. Під ними мається на увазі найменший комплекс атомів, який при багаторазовому повторенні у просторі дозволяє відтворити просторову кристалічну решітку.

Більшість металів мають прості кристалічні ґрати:

- об'ємно-центровану;
- кубічну;
- гранецентровану;
- кубічний або гексагональний (рисунок 1.2).

Взаємне розташування атомів у просторі та величину міжатомних відстаней визначають рентгеноструктурним аналізом. Найпростішим типом кристалічного осередку є кубічна решітка. У простій кубічній решітці атоми розташовані (упаковані) досить щільно.

Прагнення атомів зайняти місця, близькі один до одного, призводить до утворення решіток інших типів:

- ◆ кубічної об'ємно-центрованої;
- ◆ кубічної гранецентрованої;

◆ гексагональної щільноупакованої.

Кола, що зображують атоми, розташовуються в центрі куба і за його вершинами (куб об'ємно-центрований, рисунок 1.2а), або в центрах граней і по вершинах куба (куб гранецентрований, рисунок 1.2б), або у вигляді шестигранника, всередину якого наполовину вставлений також шестигранник, три атоми верхньої площини якого знаходяться всередині шестигранної призми (гексагональна решітка, рисунок 1.2в).

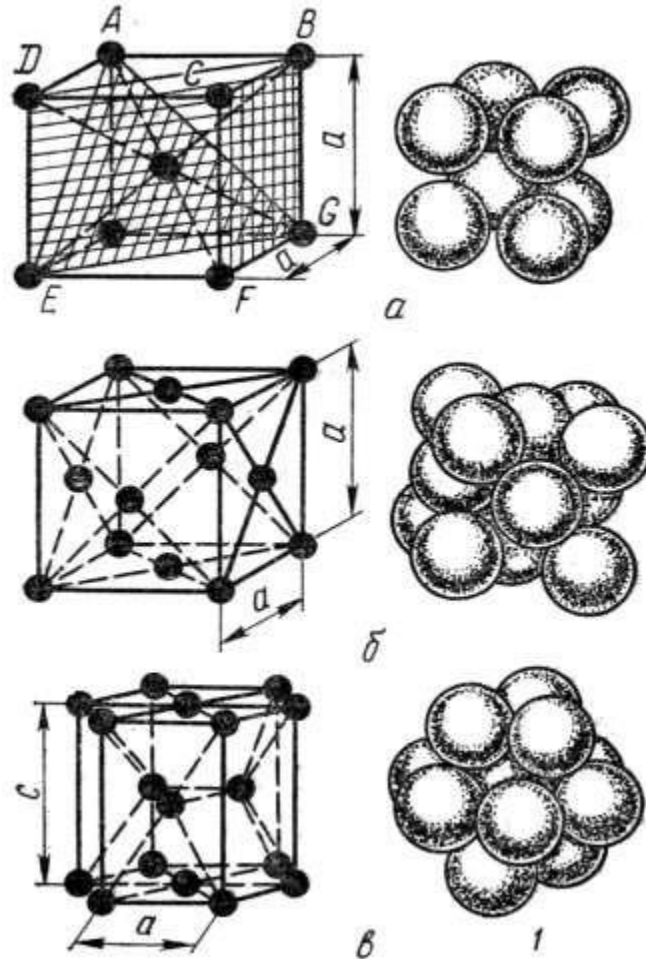


Рисунок 1.2 - Елементарні кристалічні решітки металів: а – об'ємно-центрований куб (о.ц.к.); б – гранецентрований куб; в – гексагональна

Атоми в решітці розташовуються один відносно одного таким чином, щоб забезпечувався найкращий взаємообмін електронами (при цьому вся система має найменшу внутрішню енергію). А умови для такого обміну тим кращі, чим щільніше один до одного розташовані іон-атоми. Найщільнішими ж упаковками куль є кубічна гранецентрована і гексагональна. І в тому і в іншому випадку в моделях таких кристалів 74 % об'єму заповнено умовними кулями.

Більшість металів мають саме такі упаковки іон-атомів: гранецентровану – Al, Cu, Pb, Ni, Au, Ag та ін; гексагональну – Mg, Cd, Zn,

Be та ін. У багатьох металів об'ємно-центрована упаковка – тут умовними кулями заповнено 68 % обсягу – Li, Cr, V, Mo, W та ін.

Розміри кристалічної решітки характеризуються *параметрами або періодами решітки*, які вимірюються в ангстремах ($1\text{Å} = 10^{-10}\text{ м}$). Кубічну решітку визначає один параметр - довжина ребра куба a (наприклад, у хрому $a = 2,9\text{ Å}$, алюмінію $a = 4,04\text{ Å}$), а гексагональну - a і c .

У гексагональній решітці, якщо три атоми всередині решітки торкаються атомів, розташованих на верхніх і нижніх площинах, маємо щільноупаковані гексагональні решітки. Розміри гексагональної щільноупакованої решітки мають постійне значення $c/a = 1,633$. При інших значеннях c/a виходить нещільноупаковані гексагональні грати.

Деякі метали мають тетрагональну решітку, вона характеризується тим, що ребро c не дорівнює ребру a . Відношення цих параметрів характеризує так званий ступінь тетрагональності. При $c/a = 1$ виходить кубічна решітка. Тетрагональні грати (як і кубічні) можуть бути прості, об'ємно-центровані і гранецентровані.

Істотне значення для властивостей даного металу або сплаву має число атомів, що знаходяться у взаємному контакті. Це визначається числом атомів, що стоять на найближчій відстані від будь-якого атома.

Число атомів, що знаходяться на найближчій і рівній відстані від даного атома, називається координаційним числом.

Так, наприклад, атом у простій кубічній решітці має шість найближчих рівностоячих сусідів, тобто координаційне число цієї решітки дорівнює 6.

Кристали металів зазвичай мають невеликі розміри. Тому металевий виріб складається з дуже великої кількості кристалів.

Подібна будова називається *полікристалічною*. З ряду причин (буде сказано нижче) окремі кристали не мають можливості набути правильної форми. *Кристали неправильної форми у полікристалічному агрегаті називаються зернами чи кристаллітами.*

Відмінність окремих зерен полягає у різній просторовій орієнтації кристалічної решітки, випадкової орієнтації.

При дуже повільному відводі тепла при кристалізації, а також за допомогою інших спеціальних способів може бути отриманий шматок металу, що є одним кристалом, так званий *монокристал*. Монокристали використовують у напівпровідникової промисловості.

Кристалічні решітки реальних металів мають недосконалість у своїй будові [1,3].

У чому ж фізична причина виникнення **дефектів** у кристалічній решітці металу?

Іон-атомі, що знаходяться у вузлах решітки, не залишаються нерухомими. Вони коливаються з тим більшою амплітудою, чим вища температура. При її підвищенні збільшується середня енергія більшості іон-атомів, причому в результаті їх взаємодії один з одним окремі набувають настільки велику енергію, що можуть залишити положення рівноваги. Після

цього вони або мандрують усередині кристалічної решітки, або випаровуються з поверхні металу в навколишній простір. Іон-атом, що блукають у ґратах, називають **дислокованими** (дислокація по-англійськи означає зміщення, зрушення), а порожнє місце, звідки пішов іон-атом, – **вакансією**, або «діркою». У вузлах решітки або між вузлами можуть бути і домішкові атоми.

Описані дефекти кристалічних ґрат називаються **точковими** (рисунок 1.3).

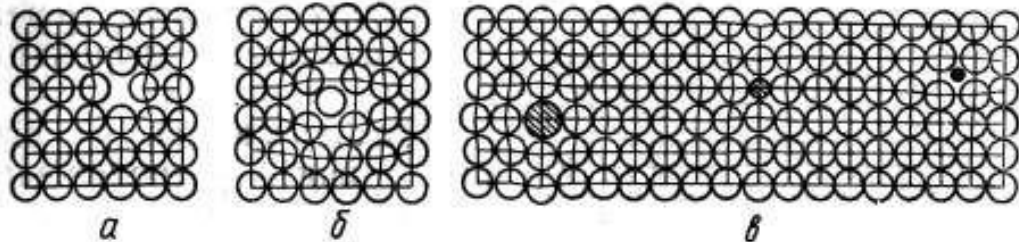


Рисунок 1.3 - Точкові дефекти в кристалічних ґратах: а – вакансія; б – дислокований атом; в – домішкові атоми заміщення чи впровадження

Іншим найважливішим видом недосконалості кристалічної будови є **лінійні дефекти**, або звані **дислокації** (рисунок 1.4).

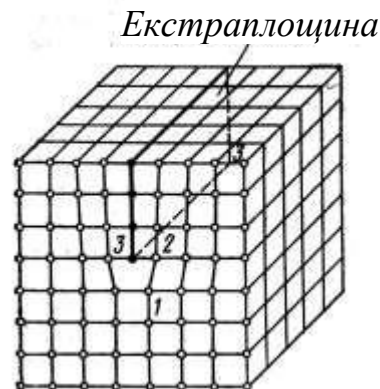


Рисунок 1.4 – Схема виникнення дислокації

То що таке *дислокація*?

Це особливий вид розташування атомів. Уявімо кристал (див. рисунок 1.4), в якому з'явилася зайва напівплощина атомів, звана **екстраплощиною**. Край цієї площини 3-3 утворює дефект решітки, який називається **лінійною (крайовою) дислокацією**.

Крайова дислокація може простягатися в довжину на багато тисяч параметрів решітки, може бути прямою, може вигинатися в ту чи іншу сторону, в границі вона може закручуватися в спіраль, утворюючи **звинтову дислокацію**.

Біля дислокації виникають інші спотворення решітки, тому атом 3 може зміщуватися праворуч (ліворуч) і встановлювати зв'язок з атомом 1. У цьому випадку сусідня напівплощина переходить у проміжне положення і

перетворюється на екстраплощину, утворюючи дислокацію вздовж крайових атомів 2. Таке переміщення дислокацій може продовжуватися вздовж деякої площини, розташованої перпендикулярно екстраплощині.

В результаті недосконалостей кристалічної решітки зерно розділяється на фрагменти, розорієнтовані між собою на кілька градусів. У свою чергу, фрагмент містить велику кількість блоків. Така структура називається *блоковою, мозаїчною*.

Стан границь зерен, розмір фрагментів і блоків, недосконалості кристалічних ґрат впливають на властивості металів.

Анізотропія властивостей кристалів

Розглядаючи різні площини у об'ємно-центрованій кубічній (о.ц.к.) решітці (див. рисунок 1.2а) – АЕГ, ВДЕГ, ВСФГ, можна легко зробити висновок, що вони заповнені атомами з різною щільністю.

Внаслідок неоднакової щільності атомів у різних площинах та напрямках решітки багато властивостей (хімічні, фізичні, механічні) кожного кристала залежать від напрямку випробування. Подібна неоднаковість властивостей монокристалів у різних кристалографічних напрямках називається **анізотропією** [1,3].

Кристал – тіло анізотропне на відміну аморфних тіл (скло, пластмаси та інших.), властивості яких залежить від напрямку випробування.

Технічні метали є **полікристалами**, тобто складаються з великої кількості анізотропних кристалітів. У більшості випадків кристали статистично невпорядковано орієнтовані один по відношенню до іншого, тому у всіх напрямках властивості більш менш однакові, тобто полікристалічне тіло є *псевдоізотропним*. Така уявна ізотропність металу не спостерігатиметься, якщо кристали мають однакове переважне орієнтування в якихось напрямках. Ця орієнтованість або текстура створюється певною мірою, але не повністю, наприклад, у результаті значної холодної деформації. У цьому випадку полікристалічний метал набуває анізотропії властивостей.

Методи вивчення будови металів

Існує багато різноманітних способів, за допомогою яких вивчають кристалічну будову металів. Вони можуть бути поділені на два види:

- ▶ до першого належать методи вивчення внутрішньої будови металів;
- ▶ до другого – методи вивчення зовнішніх форм кристалів.

Внутрішню будову кристалів, тобто розташування атомів у кристалічній решітці, вивчають за допомогою рентгеноструктурного аналізу, що використовує рентгенівські промені.

Рентгенівські промені є електромагнітними хвилями дуже малої довжини (2–0,005 А).

Внаслідок малої довжини хвилі рентгенівські промені не відбиваються на поверхні, а проникають усередину речовини. Під впливом електромагнітного поля цих променів електрони атомів приводяться до коливального руху. Електрони, що коливаються є джерелом електромагнітних хвиль, так званих розсіяних променів, що поширюються на

всі боки. Можна вважати, що ці хвилі виходять із центру атома. Внаслідок правильного розташування атомів у кристалі розсіяні промені взаємодіють між собою: в одних напрямках посилюють один одного, в інших – гасять. Якщо у напрямку потоку цих променів розташувати фотопластинку, то у напрямках посилення променів виникнуть плями чи кільця. Отримана рентгенограма є інтерференційною картиною, яку можна пояснити як результат інтерференції променів, відбитих від окремих паралельних атомних площин. На цій підставі визначається відстань між атомами, а також характер розташування атомів у просторі (тобто тип кристалічної решітки та її параметр).

Розміри, форму та взаємне розташування кристалів вивчають **металографічними методами**.

Так як всі метали - речовини непрозорі (для видимого світла), то форму кристалів, а також їх розмір і взаємне розташування вивчають на **мікрошліфах**, що спеціально виготовляються. У цьому випадку роблять розріз металу в площині, що цікавить дослідника. Потім отриману площину шліфують та полірують до дзеркального стану. Щоб виявити структуру, слід створити рельєф або забарвити в різні кольори структурні складові, що зазвичай досягається хімічним травленням. При травленні кислота в першу чергу впливає на границі зерна як місця, що мають найбільш дефектну будову, що у травленому шліфі стануть поглибленнями; світло, падаючи на них, розсіюватиметься, і в полі зору мікроскопа вони здаватимуться темними, а тіло зерна – світлим.

Для розгляду мікрошліфів при дослідженні мікроструктури металів застосовують спеціальні мікроскопи, в яких промінь від джерела світла, відбиваючись від шліфу, проходить через об'єктив та окуляр, даючи відповідне збільшення (звичайний, металографічний мікроскоп, що працює на видимому світлі – 1000-1500 разів; електронний мікроскоп, що працює на пучку електрона, - 15000-20000 разів).

Структура металу, отримана зі збільшенням на мікроскопі, називається **мікроструктурою** (зерна, границі зерен). Іноді потрібно розглянути найбільш грубі деталі структури - конгломерати окремих більш менш однорідних зерен і т.д. У цьому випадку після глибокого травлення шліф розглядається оком або лупою. Виявлена в такий спосіб структура називається **макроструктурою** (а шліф – **макрошліфом**).

Кристалізація металів

Будь-яка речовина, як відомо, може перебувати в трьох агрегатних станах:

- газоподібному;
- рідкому;
- твердому.

При переході з рідкого стану у твердий утворюється кристалічна решітка, виникають кристали. Такий процес називається **кристалізацією**.

Чим пояснюється існування за одних температур рідкого, а за інших температур твердого стану, і чому перетворення відбувається при строго певних температурах?

У природі всі мимовільно протікають перетворення, а отже – кристалізація і плавлення, обумовлені тим, що новий стан у нових умовах є енергетично стійкішим, має менший запас енергії.

Пояснимо прикладом.

Важка кулька з положення 1 (рисунок 1.5) прагне потрапити в більш стійке положення 2, так як потенційна енергія в положенні 2 менше, ніж у положенні 1.



Рисунок 1.5 - Приклад мимовільного процесу

Енергетичний стан системи, що має величезну кількість охоплених тепловим рухом частинок (атомів, молекул), характеризується особливою термодинамічною функцією F , яка називається вільною енергією (вільна енергія $F = U - TS$, де U – внутрішня енергія системи; T – абсолютна температура, S – ентропія).

Чим більша вільна енергія системи, тим система менш стійка, і якщо є можливість, то система переходить у стан, де вільна енергія менше («подібно» до кульки, яка скочується з положення 1 в положення 2, якщо на шляху немає перешкод). Зі зміною зовнішніх умов, наприклад температури, вільна енергія системи змінюється за складним законом, але по-різному для рідкого та кристалічного стану. Схематично характер зміни вільної енергії рідкого та твердого станів із температурою показаний на рисунку 1.6.

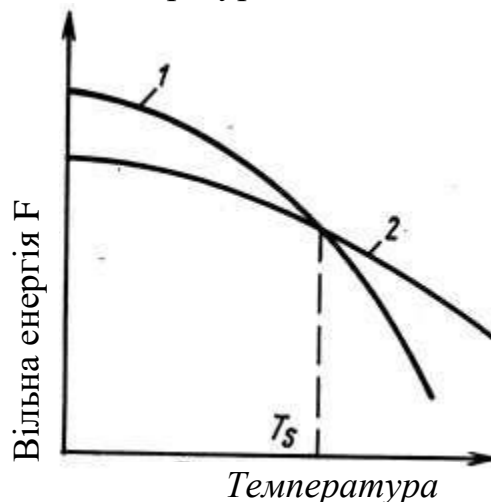


Рисунок 1.6 - Зміна вільної енергії рідкого (1) та кристалічного стану (2) залежно від температури

Вище температури T_S меншою вільною енергією має речовину в рідкому стані. Нижче T_S – речовина у твердому стані. Отже, вище T_S речовина має бути в рідкому стані, а нижче T_S – у твердому кристалічному стані. При T_S вільні енергії рідкого та твердого станів рівні, метал в обох станах знаходиться в рівновазі. Ця температура T_S і є **рівноважна**, або **теоретична температура кристалізації**.

Однак при T_S не може відбуватися процес кристалізації (плавлення), оскільки при цій температурі $F_{ж} = F_{кр}$. Для початку кристалізації необхідно, щоб процес був термодинамічно вигідним та супроводжувався зменшенням вільної енергії тіла. З рисунку 1.6 видно, що це можливо лише тоді, коли рідина буде охолоджена нижче за точку T_S . Температура, за якої практично починається кристалізація, може бути названа **фактичною температурою кристалізації**.

Охолодження рідини нижче рівноважної температури кристалізації називається **переохолодженням**.

Аналогічно – зворотне перетворення з кристалічного стану на рідке може статися тільки вище температури T_S , це явище називається **перегрівом**.

Величиною, або **ступенем переохолодження** називають різницю між теоретичною та фактичною температурою кристалізації.

Процес переходу металу з рідкого стану у кристалічний можна зобразити кривими в координатах час – температура (див. рисунок 1.7).

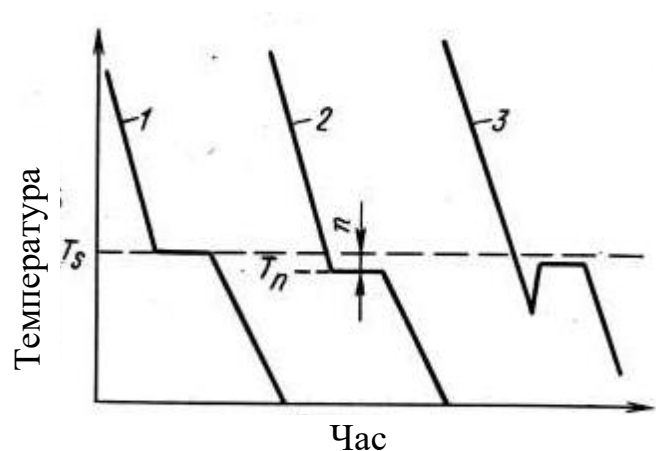


Рисунок 1.7 – Криві охолодження при кристалізації

Охолодження металу в рідкому стані супроводжується плавним зниженням температури і може бути названо **простим охолодженням**, тому що при цьому немає якісної зміни стану.

При досягненні температури кристалізації на кривій температура - час з'являється горизонтальна площадка (див. крива 1, рисунок 1.7), так як відведення тепла компенсується прихованою теплотою кристалізації, що виділяється при кристалізації. Після закінчення кристалізації, тобто після повного переходу в твердий стан, температура знову починає знижуватися,

тверда кристалічна речовина охолоджується. Теоретично процес кристалізації зображується кривою 1. Крива 2 показує реальний процес кристалізації (n – ступінь переохолодження). Тільки при охолодженні нижче за температуру T_S створюються енергетичні умови, необхідні для протікання процесу кристалізації.

У деяких металів через велике переохолодження прихована теплота плавлення виявляється в перший момент кристалізації настільки бурхливо, що температура стрибкоподібно підвищується, наближається до теоретичної (крива 3). Так кристалізується, наприклад, сурма. Для більшості металів величина переохолодження при кристалізації виявляється дуже незначною і навіть не вловлюється в нормальних умовах експерименту.

Процес кристалізації складається із двох стадій:

- утворення центрів кристалізації чи зародків;
- зростання кристалів навколо цих центрів.

Встановлено залежність числа центрів кристалізації (ч.ц.) та швидкості зростання кристалів (ш.к.) від ступеня переохолодження (рисунок 1.8).

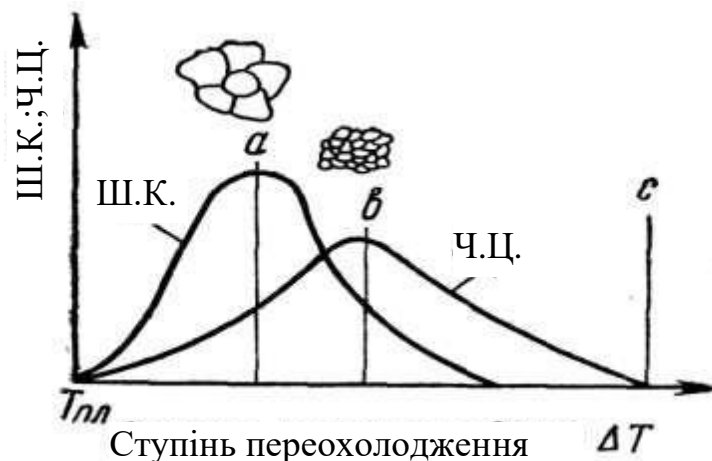


Рисунок 1.8 - Залежність швидкості зростання кристалів (ш.к.) та швидкості зародження числа центрів кристалізації (ч.ц.) від ступеня переохолодження

При рівноважній температурі T_S ч.ц. та ш.к. рівні нулю, кристалізації немає. Якщо рідину переохолодити до температури, що відповідає точці a , то утворюються великі зерна. При температурі, що відповідає точці b , утворюються дрібні зерна. При більшому переохолодженні (точка c) рідина не кристалізується – утворюється аморфне тіло.

Розмір зерна залежить не тільки від числа мимовільних центрів кристалізації, що зароджуються, але і від кількості частинок нерозчинних домішок в рідкому металі. Вони відіграють роль готових центрів кристалізації. Такими центрами можуть бути тверді частинки (окисли, нітриди, сульфіді і т.д.), які мають невелику різницю в атомних розмірах з

основним металом, а їх кристалічні решітки близькі за будовою і параметрами.

Для отримання дрібнозернистого металу розплав спеціально додають невелику кількість тих чи інших речовин. Такі добавки називають **модифікаторами**, а процес **модифікацією**.

Опис процесу кристалізації в реальних умовах вперше дав 1878 р. інженер Дмитро Костянтинівич Чернов, який працював на Обухівському заводі в Петербурзі. При заливці металу у виливницю кристалізація починається від стінок і поширюється вглиб розплавленого металу. Швидкість зростання кристалів у різних напрямках неоднакова. Спочатку утворюється стовбур кристала *a*, а потім від стовбура *a* під певним кутом ростуть гілки *b*, від яких, у свою чергу, ростуть бічні гілки *c* (рисунок 1.9).

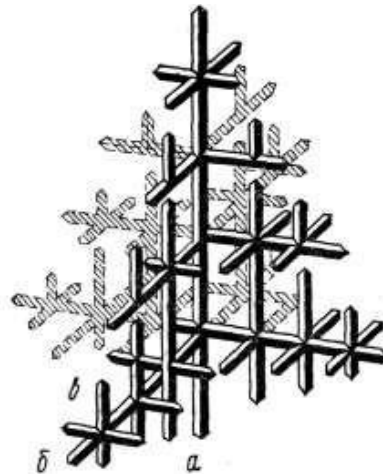


Рисунок 1.9 - Схема дендриту

Такі кристали нагадують форму дерева, тому вони називаються **дендритами**. Дендрити можна бачити на поверхні литого металу. Переплітаючись своїми гілками, дендрити врастають одна в одну, і, таким чином, окремі металеві зерна чіпляються між собою.

Розглянемо картину кристалізації сталевого зливка (рисунок 1.10).

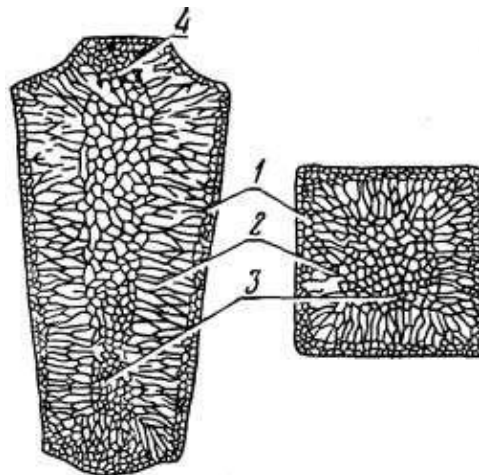


Рисунок 1.10 - Схема сталевого зливка

Зона дрібних кристалів 1 утворюється біля холодної стінки виливниці. Потім у напрямку відведення тепла, перпендикулярно стінкам виливниці, ростуть стовпчасті кристали 2. У центрі зливка швидкість охолодження невелика і там утворюються великі неорієнтовані кристали 3. Внаслідок зменшення об'єму металу при кристалізації у злитку утворюється усадкова раковина 4.

При твердінні металу, крім того, утворюються численні бульбашки газів. Відбувається це тому, що розчинність різних газів у твердому металі значно менша, ніж у рідкому, і при кристалізації металу надлишок газу з нього виділяється. Частина їх йде в атмосферу, а частина так і залишається в застиглому металі як газові бульбашки.

Перетворення у твердому стані. Алотропія

Атоми даного елемента можуть утворювати, якщо виходити лише з геометричних міркувань, будь-яку кристалічну решітку. Однак стійким, а отже реально існуючим типом є решітка, що має найнижчий запас енергії. Так, наприклад, у твердому стані Li, Na, K, Mo, W та інші метали мають об'ємно-центровану решітку; Al, Ca, Cu, Au – гранецентровану.

Однак у ряді випадків, при зміні температури або тиску, може виявитися, що для того ж металу більш стійкими будуть інші решітки, ніж ті, які були при іншій температурі або тиску. У різних решітках кристалізуються Fe, Co, Sn, Mn, Ti та інші метали [1,2].

Існування одного металу (речовини) у кількох кристалічних формах зветься **поліморфізмом**, або **алотропією**. Різні кристалічні форми однієї речовини називають *поліморфними* або *алотропічними модифікаціями*.

Алотропічні форми позначаються грецькими літерами α , β тощо, які у вигляді індексів додають до символу, що позначає елемент. Алотропічна форма, що існує за найнижчої температури, позначається буквою α , наступна – β .

Перетворення однієї алотропічної форми на іншу при нагріванні чистого металу супроводжується поглинанням тепла і відбувається при постійній температурі. На термічній кривій в координатах *температура – час* перетворення відзначається горизонтальною ділянкою. При охолодженні відбувається виділення тепла (виділення прихованої теплоти перетворення) теоретично за такої ж температури, що і при нагріванні, але практично при дещо нижчій внаслідок переохолодження.

Температура, за якої здійснюється перехід однієї модифікації на іншу, називається температурою поліморфного (аллотропічного) перетворення.

Як загальну закономірність можна зазначити, що високотемпературна модифікація, як правило, має простішу атомно-кристалічну будову і більш високу пластичність (правило Савицького Є.М.).

Алотропічні перетворення заліза показані рисунку 1.11. Нижче 911 °С залізо існує у формі α , при 911 °С об'ємно-центрована решітка Fe $_{\alpha}$ переходить у гранецентровану решітку Fe $_{\gamma}$, яка при 1392 °С знову перетворюється на

об'ємно-центровану α -решітку. Високотемпературну α -модифікацію позначають буквою δ .

При $768\text{ }^\circ\text{C}$ виходить зупинка на кривій охолодження, пов'язана не з перебудовою решітки, а із зміною магнітних властивостей. Вище $768\text{ }^\circ\text{C}$ залізо немагнітне, а нижче $768\text{ }^\circ\text{C}$ залізо феромагнітне (тобто здатне добре намагнічуватись). Ця температура називається точкою Кюрі.

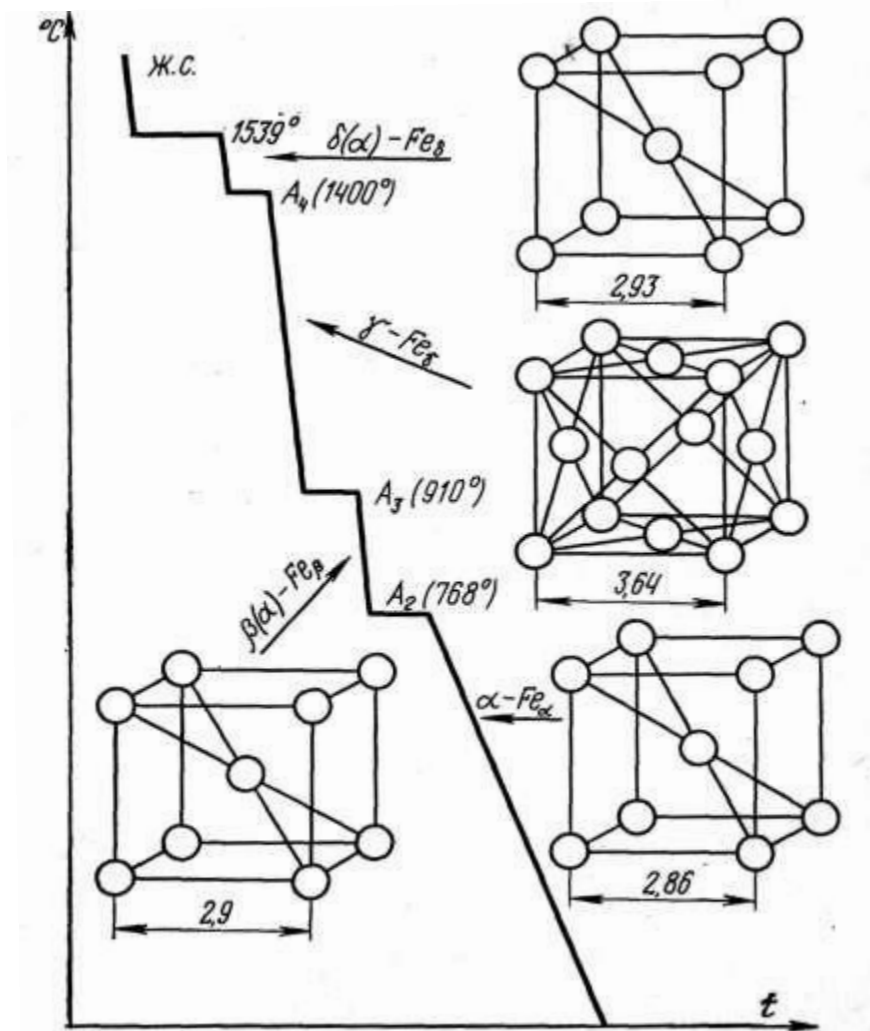


Рисунок 1.11 – Крива охолодження чистого заліза

1.3 Властивості металів та сплавів

Будь-який матеріал, що застосовується в промисловості, має цілий комплекс властивостей – фізичних, хімічних, механічних, технологічних, електричних, магнітних тощо. Для конструкційних матеріалів, тобто матеріалів для виготовлення деталей машин, конструкцій та споруд, найважливішими є механічні властивості.

Механічні властивості – це характеристики, що визначають поведінку металу (або іншого матеріалу) під впливом докладених до нього зовнішніх механічних навантажень.[3]

Метали та сплави характеризуються механічними, фізичними, хімічними та технологічними властивостями. Вони визначають відповідність вибраного матеріалу розрахунковим навантаженням при проектуванні та забезпечують надійність та довговічність машини в експлуатації.

Механічні властивості. До механічних властивостей відносяться:

- міцність;
- пластичність;
- твердість;
- в'язкість;
- витривалість;
- повзучість та ін.

Зовнішнє навантаження викликає у твердому тілі напруження та деформацію.

Напруження – це навантаження F (Н), віднесене до одиниці початкової площі поперечного перерізу A_0 (м²) зразка (Н/м²)

$$\sigma = F / A_0, \quad (1.1)$$

Деформація – зміна форми та розмірів тіла під дією прикладеного навантаження або внаслідок фізико-механічних процесів, що виникають у самому тілі. Деформація може бути *пружна*, що зникає після зняття навантаження, і *пластична*, що залишається після зняття навантаження.

Пружна деформація зі збільшенням навантаження перетворюється на пластичну; при подальшому підвищенні навантаження відбувається руйнація тіла.

Більшість характеристик міцності визначають статичними випробуваннями зразків на розтяг. Для цього стандартний зразок випробуваного матеріалу руйнують на розривній машині.

Результати випробувань є діаграмою навантаження – деформація, яка зображена на рисунку 1.12. По осі ординат відкладено навантаження, а по осі абсцис – абсолютне подовження.

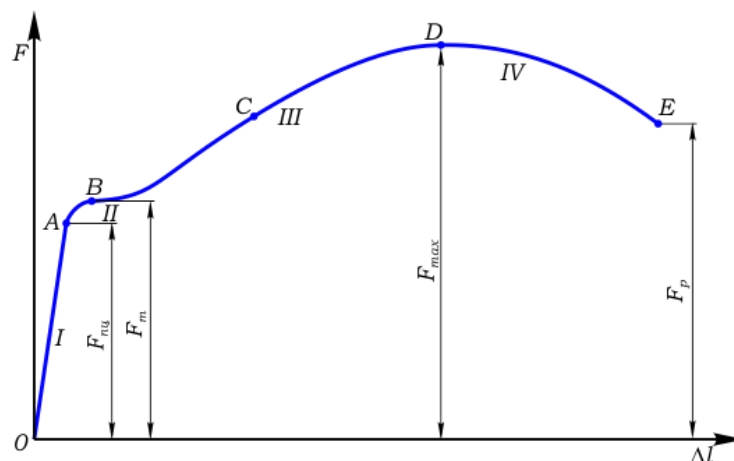


Рисунок 1.12 - Діаграма розтягування низьковуглецевої сталі

Пружна деформація на діаграмі характеризується прямою лінією 0А. На цій ділянці спостерігається пропорційність між подовженням та навантаженням. Умовна напруга, при якій залишкові деформації вперше досягають деякої малої величини, називається *границею пружності*

$$\sigma_{\text{ПР}} = F_{\text{ПЦ}} / A_0, \quad (1.2)$$

Вище точки $F_{\text{ПЦ}}$ порушується пропорційність між напруженням та деформацією. Поряд із пружними деформаціями в металі виникають пластичні деформації. У межах горизонтальної ділянки (площадка текучості) подовження відбувається при постійному навантаженні. Мінімальне напруження, при якому починається текучість, називається *границею текучості*

$$\sigma_{\text{T}} = F_{\text{T}} / A_0, \quad (1.3)$$

Матеріал тече деякий час, потім знову набуває опору деформації і навантаження зростає. При досягненні максимального значення навантаження деформація зосереджується дільниці, близької до середини зразка. Тут він подовжується, одночасно площа поперечного перерізу зменшується, навантаження падає та зразок руйнується. Напруження, що відповідає найбільшому навантаженню, що передують руйнуванню зразка, називається *границею міцності* при розтягуванні:

$$\sigma_{\text{max}} = F_{\text{max}} / A_0, \quad (1.4)$$

де F_{max} – максимальне навантаження перед руйнуванням, Н.

Міцність - здатність матеріалу чинити опір деформації або руйнуванню.

Пластичність – здатність металу одержувати залишкову деформацію без руйнування.

Характеризують пластичність відносним подовженням δ і відносним звуженням ψ зразка при розриві:

$$\delta = (\ell_k - \ell_0) / \ell_0 \cdot 100, [\%]; \quad (1.5)$$

$$\psi = (A_0 - A_k) / A_0 \cdot 100, [\%], \quad (1.6)$$

де ℓ_k – кінцева довжина зразка після розриву м;

ℓ_0 – початкова довжина зразка, м;

A_0 – початкова площа поперечного перерізу на ділянці звуження при розриві, м²;

A_k - кінцева площа, м².

Твердість – здатність матеріалу чинити опір пластичній деформації при контактному впливі в поверхневому шарі. Найбільшого застосування отримали методи визначення твердості твердомірами ТШ (прилад Брінелля), ТК (прилад Роквелла), ТП (прилад Віккерса).

Методом Брінелля твердість визначають статичним вдавлюванням у випробувану поверхню під навантаженням F (Н) сталевого загартованого кульки діаметром D , м.

Методом Роквелла твердість визначають вдавлюванням у випробуваний зразок спеціального наконечника (алмазного конуса або сталеві кульки). Значення твердості визначають за глибиною залишкової деформації вдавлювання та вимірюють в умовних одиницях. Залежно від навантаження та типу наконечника твердість позначають за шкалою А, В, С, наприклад HRC 45, HRA 30 і т.д.

Пластична деформація

Практично всі метали мають високу пластичність.

Пластичність - це здатність матеріалу під впливом зовнішніх сил деформуватися без руйнування та зберігати прийнятну форму після зняття навантаження.

Зовнішні сили, прикладені до тіла, викликають у металі внутрішні напруження: **нормальні σ** (стиск або розтяг) і **дотичні τ** (зсувні). Під дією сили F (рисунок 1.13) у перерізі $a - b$ (площа A_0) виникають максимальні напруження розтягу $\sigma_0 = F / A_0$. У будь-якому перерізі $c - d$, проведеному під кутом α до перерізу $a - b$, діють нормальні напруження $\sigma_n = \sigma_0 \cdot \cos 2\alpha$ і дотичні напруження $\sigma_\tau = \frac{1}{2} \sigma_0 \cdot \sin 2\alpha$. Найбільші нормальні напруження виникають при $\alpha = 0^\circ$, а дотичні при $\alpha = 45^\circ$.

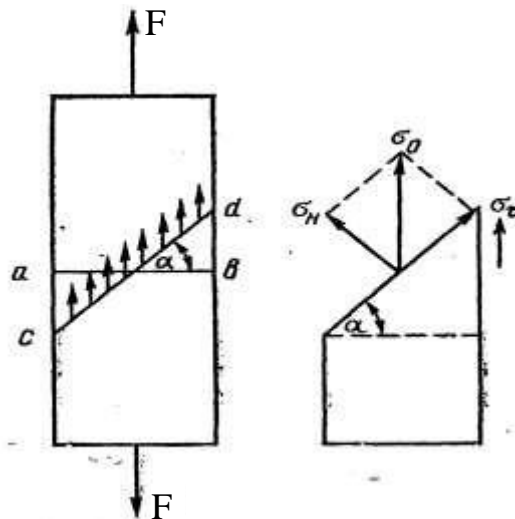


Рисунок 1.13 - Схема напружень розтягу у стержні

Розрізняють деформацію **пружну** (зворотну) та **пластичну** (незворотну). При пружній деформації зміщення атомів із місць стійкої

рівноваги не перевищує відстані між сусідніми атомами кристалічної решітки. Після зняття навантаження атоми повертаються у вихідне положення та форма тіла повністю відновлюється.

При пластичній деформації відхилення атомів значно перевищує міжатомні відстані і вони зміщуються в нові місця стійкої рівноваги. Після зняття навантаження форма тіла не відновлюється.

Нормальні напруження σ спочатку викликають пружну деформацію кристалічної решітки, а потім відрив однієї її частини від іншої (рисунк 1.14 а, б, в, г).

Дотичні напруження τ викликають спочатку пружну деформацію, а потім зсув однієї частини щодо іншої, тобто пластичну деформацію. При розвитку пластичної деформації може статися руйнування шляхом зсуву (рисунк 1.14 д, е, ж, з).

Пластична деформація металу вивчалася на великих кристалічних зернах – монокристалах.

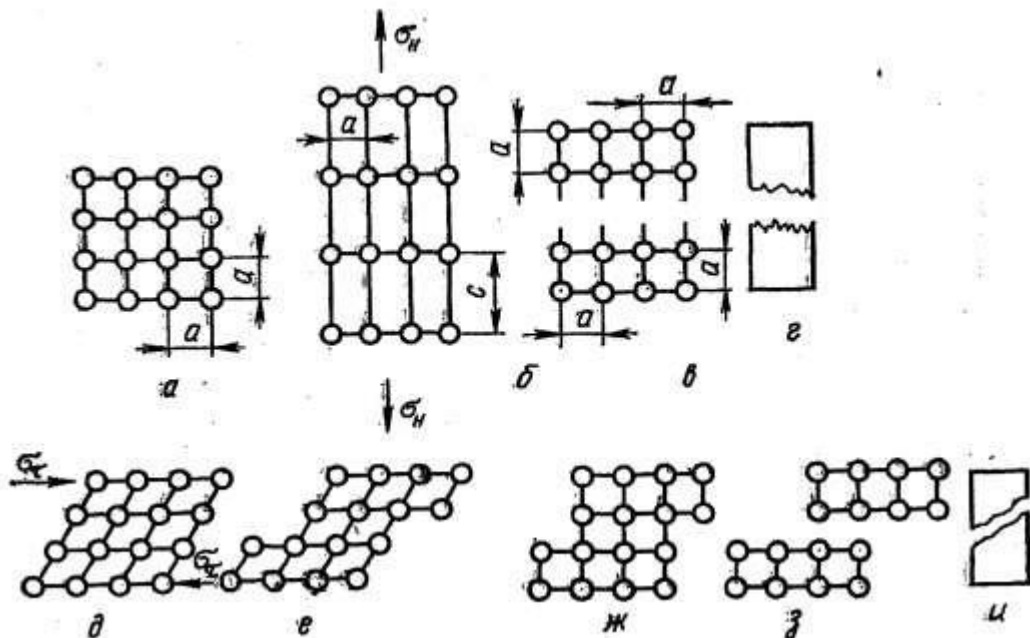


Рисунок 1.14 - Схема пружної та пластичної деформації та руйнування під дією напружень: а – ненапружена решітка; б, д – пружна деформація; в, г - крихке руйнування шляхом відриву; е – пружна та пластична деформація; ж – пластична деформація, напруження знято; з, і - в'язке руйнування шляхом зрізу.

Під дією зовнішніх сил у кристалі відбувається зсув за слабкою площиною, розташованої в зоні максимальних дотичних напружень. Зазвичай це площини з щільнішою упаковкою атомів, їх називають **площинами зсуву**, або ковзання. Теоретичні розрахунки показують, що з одночасного переміщення атомів на один параметр решітки у площині зсуву потрібно значне напруження. Реально пластичну деформацію викликають

напруження, які набагато менші за теоретичні. Наприклад, для заліза теоретичне напруження зсуву становить 2300 – 11000 МПа, а реальна – 29 МПа. Розбіжність між теоретичним та реальним напруженням зсуву пояснює дислокаційний механізм пластичної деформації.

Процес ковзання на даній кристалографічній площині відбувається не відразу, а в результаті послідовних переміщень дислокацій протягом певного часу. Дислокаційний механізм пластичної деформації монокристала можна представити схематично. Дислокація, виникнувши на одній грані кристала, пройде всю площину ковзання і вийде на протилежну поверхню зерна (рисунок 1.15). Для такого руху дислокації потрібні відносно малі напруження зсуву.

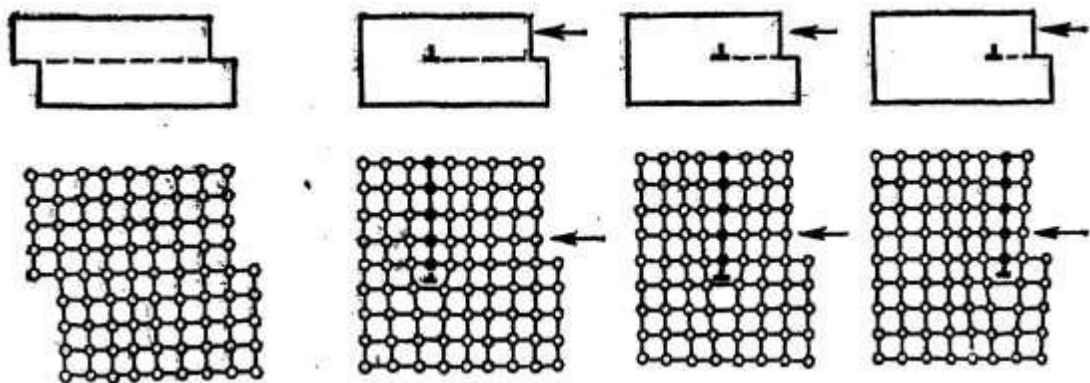


Рисунок 1.15 – Схема переміщення дислокації

При пластичній деформації в результаті ковзання відбувається спотворення кристалографічної площини решітки та утворення на ній великої кількості уламків. Це призводить до зміцнення площини ковзання та припинення зсуву по ній. При зростанні навантаження ковзання перекидається на наступну площину і викликає тут зміцнення, потім третю площину і т.д. (рисунок 1.16).

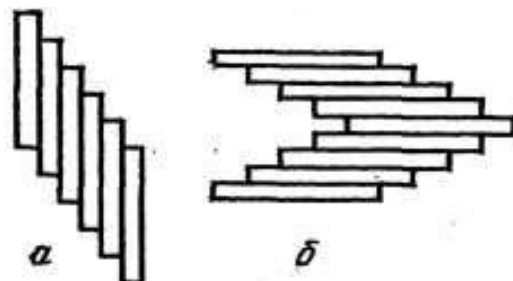


Рисунок 1.16 - Схема утворення площин зсуву та двійника:
а - послідовне утворення площин зсуву; б - схема двійникування

Крім ковзання, пластичне деформування може відбуватися шляхом двійникування. Двійникування полягає в симетричному зміщенні однієї частини кристала щодо іншої під дією дотичних напружень.

Пластична деформація у полікристалах протікає складніше. Вона виникає в зернах, у яких площини ковзання збігаються з напрямом максимального дотичного напруження. Крім зсуву відбувається поворот зміщених частин зерна у напрямі зменшення кута між площиною ковзання та дією сили. Цей поворот пояснюється тим, що вільному зміщенню частин зерна перешкоджають сусідні зерна (рисунок 1.17). В результаті зсувів і поворотів зерна витягуються в напрямку сил, що розтягують. За подальшого збільшення навантаження деформація починається і в інших зернах. Таким чином, при пластичній деформації полікристалу всередині зерна відбувається подрібнення блоків мозаїчної структури, виникають пружні спотворення решітки та внутрішні напруження.

Розмір пластичної деформації визначається ступенем деформації ε , вираженої у відсотках

$$\varepsilon = \frac{A_H - A_K}{A_H} 100\%, \quad (1.7)$$

де A_H – площа поперечного перерізу заготовки до деформації, м²;

A_K – площа поперечного перерізу заготовки після деформації, м².

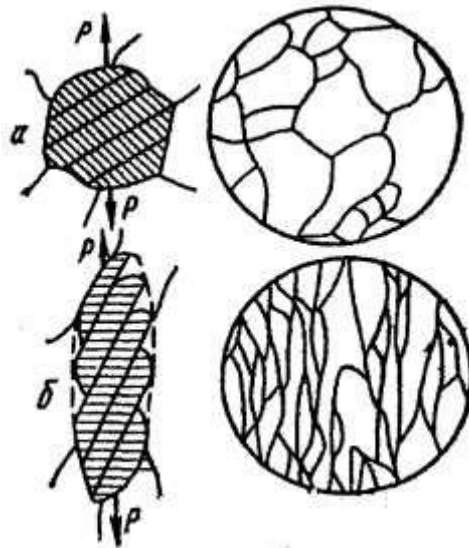


Рисунок 1.17 – Схема пластичної деформації зерна:
а – до деформації; б – після деформації

1.4 Наклеп та рекристалізація

При холодній деформації змінюється форма зерен, які витягуються у напрямку найбільш інтенсивного перебігу металу, підвищуються міцність, твердість, розчинність у кислотах, коерцитивна сила та гістерезис, а

пластичність, щільність, магнітна проникність, електро- та теплопровідність металу знижуються.

Зміна властивостей деформованого металу пояснюється залишковим спотворенням кристалічної решітки і появою внутрішніх напружень. *Зміцнення металу при пластичній деформації називається наклепом*. Наклеп підвищує опір металу деформуванню, що призводить до збільшення необхідної потужності на обробку. З'являється потенційна небезпека утворення тріщин, розшарування та інших дефектів при подальшій деформації. Наклеп може відігравати і позитивну роль при деяких технологічних процесах (волоченні, листовому штампуванні і т.д.).

Спотворення кристалічної решітки у процесі холодної пластичної деформації викликає появу термодинамічної нестійкості металу. Тому у ньому мають протікати процеси, створені задля досягнення рівноважного, стійкого стану. Перехід до цього стану пов'язаний із зменшенням спотворення кристалічної решітки, що призводить до зняття внутрішніх напружень. Цей процес можливий лише за переміщення атомів. За низьких температур рухливість атомів мала. З підвищенням температури розвиваються процеси, що призводять метал до рівноважного стану. При порівняно невисокій температурі (наприклад, для заліза 100 – 400 °С) відбувається часткове зняття внутрішніх напружень та відновлення пружно спотвореної кристалічної решітки.

Це явище в деформованому металі називається *відпочинком* або *поверненням*. При поверненні помітних змін у мікроструктурі немає, метал зберігає волокнисту будову, проте твердість і міцність дещо знижуються, а пластичність зростає. Подальше підвищення температури металу збільшує амплітуду теплових коливань його атомів та швидкість дифузійних процесів. В результаті відбувається перегрупування атомів, поява нових, недеформованих зерен та їх зростання. При цьому повністю зникає спотворення кристалічної решітки і внутрішні напруження.

Процес, при якому відбувається розміщення металу, звільнення його від спотворень кристалічної решітки і внутрішнього напруження, називається *рекристалізацією*.

Розрізняють два періоди рекристалізації – *первинну* та *збірну*.

Рекристалізація первинна полягає в утворенні зародків і зростанні нових зерен з неспотвореною кристалічною решіткою. Рушійною силою первинної рекристалізації є енергія, акумульована в деформованому металі, і прагнення речовини перейти у стан із найменшим запасом вільної енергії.

Збірна рекристалізація полягає в зростанні нових зерен, що утворилися, за рахунок інших (сусідніх). Рушійною силою цього періоду є зміна вільної енергії меж зерен.

Температура рекристалізації $T_{рек}$ чистих металів може бути визначена для практичних цілей за формулою:

$$T_{рек} = 0,4 T_{пл}, \quad (1.8)$$

де $T_{пл}$ - абсолютна температура плавлення металу.

Обробка металів тиском, що виконується за температури нижче $T_{рек}$, називається *холодною*, а вище – *гарячою*.

При *гарячій обробці* тиском у металі протікають одночасно процеси зміцнення та розміцнення. Швидкість процесу розміцнення, викликаного рекристалізації, зазвичай перевищує швидкість процесу зміцнення. При цьому руйнується дендритна структура металу, заварюються мікропори, газові бульбашки та витягуються неметалеві включення у напрямку переважної течії металу. Це призводить до появи волокнистої структури. При подальшій термічній обробці таку структуру змінити неможливо, а повторна обробка тиском змінить напрямок волокон. Волокниста структура утворює анізотропію механічних властивостей металу вздовж та поперек волокон, що необхідно враховувати при виготовленні виробів. Механічні властивості при гарячій обробці металів тиском незначно змінюються.

1.5 Складові структури сплавів

Сплавами називаються речовини, які складаються з двох і більше елементів (компонентів). Металеві сплави складаються переважно з металів і мають металеві властивості. Вони дешевші за чисті метали, мають кращі механічні та технологічні властивості. Більшість сплавів одержують сплавленням двох або більше елементів. Можливі й інші способи приготування сплавів - спікання, електроліз, сублимація та ін.

У рідкому стані елементи сплаву в більшості випадків мають необмежену взаємну розчинність. Утворюється рідкий однорідний розчин з рівномірним розподілом атомів одного металу серед атомів іншого металу. Часткова або повна нерозчинність спостерігається у небагатьох металів, що мають велику різницю в атомних діаметрах та температурах плавлення (наприклад, у сплавах мідь-свинець; залізо-свинець).

Після затвердіння компоненти, що входять до сплаву, можуть утворити:

- ◆ тверді розчини;
- ◆ хімічні сполуки;
- ◆ механічні суміші.

► **Тверді розчини.** Якщо при переході з рідкого стану в твердий зберігається однорідність і розчинність елементів, то сплав, що утворився, називається **твердим розчином**. У твердому розчині, подібно до чистих металів, атоми у просторі утворюють кристалічну решітку. При цьому один із елементів, що входить до складу сплаву, зберігає властиву йому кристалічну решітку. Інший елемент у вигляді окремих атомів розподілений у кристалічній решітці першого. Перший елемент є *розчинником*, а другий *розчинним елементом*. За характером розміщення атомів розчиненого елемента в кристалічній решітці розчинника розрізняють *тверді розчини заміщення та застосування*.

У *твердих розчинах заміщення* атоми розчиненого елемента витісняють з деяких вузлів кристалічної решітки атоми розчинника (рисунок 1.18 а).

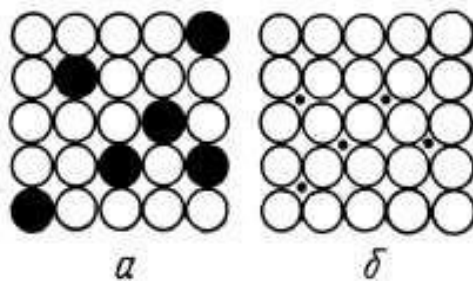


Рисунок 1.18 – Схема атомно-кристалічної структури твердого розчину:
а – заміщення; б - застосування

Тверді розчини заміщення утворюють *необмежену розчинність* при однакових типах кристалічної решітки елементів, близьких температурах плавлення і коли різниця в атомних розмірах не перевищує 8%. Різниця в атомних діаметрах 8 – 15 % призводить до *обмеженої розчинності*, а понад 15 % усуває можливість утворення твердого розчину.

У *твердих розчинах застосування* атоми розчиненого елемента знаходяться в проміжках між вузлами решітки розчинника (рисунок 1.18 б). Внаслідок малих розмірів порожнин між атомами в кристалічній решітці впровадження в неї можливе лише елементів з малими атомними параметрами, наприклад, вуглецю, бору, водню, азоту. При утворенні твердих розчинів застосування відбувається спотворення решітки і в ній виникають напруження. Зазвичай концентрація розчинення таких сплавів не перевищує 1–2 %.

Всі тверді розчини металів мають металевий тип зв'язку, і в них може відбуватися дифузія. Утворення твердих розчинів супроводжується зміною параметрів решітки та властивостей металу-розчинника. Тверді розчини мають змінний склад. Їх структура складається з однорідних на вигляд зерен. Тверді розчини позначають грецькими літерами: α , β , γ , δ і т.д.

► **Хімічні сполуки** утворюються між елементами, які суттєво відрізняються за своєю будовою та властивостями. Для хімічних сполук характерно чітко визначене співвідношення чисел атомів елементів, виражене формулою A_nB_m ; наявність своєї кристалічної решітки, відмінної від решітки елементів, що утворили цю сполуку; різка різниця властивостей проти властивостей вихідних елементів; велика твердість та крихкість; постійна температура плавлення.

► **Механічні (фізико-хімічні) суміші**. Механічні суміші двох компонентів виходять, коли вони не здатні взаємно розчинятися у твердому стані або утворювати хімічну сполуку. Структура сплавів може складатися з механічної суміші чистих елементів, твердих розчинів чи хімічних сполук.

Такі суміші виходять при великій відмінності у властивостях металів, що входять в сплав.

Правило фаз

Для вивчення процесів кристалізації та плавлення, обґрунтування кривих охолодження та нагрівання металевих сплавів користуються правилом фаз.

Правило фаз встановлює числову залежність між фазами, компонентами та ступенем свободи системи.

Системою називаються метали та металеві сплави, обрані для спостереження та вивчення за певних умов (температура, тиск). Чистий метал є простою системою, сплави складною.

Компонентами називають речовини, що утворюють сплав. У сплавах компонентами можуть бути елементи та хімічні сполуки.

Фазою називається однорідна частина системи, відокремлена з інших частин системи поверхнею розділу. При переході через поверхню розділу різко змінюються властивості фази. Фази бувають:

- тверді;
- рідкі;
- газоподібні.

Наприклад, при кристалізації чистого металу в системі є дві фази: рідка (розплавлений метал) та тверда (зерна затверділого металу). У твердих сплавах фазами можуть бути зерна чистого металу, твердого розчину та хімічної сполуки.

Числом ступенів свободи системи називають число зовнішніх та внутрішніх факторів (температура, концентрація, тиск), яке можна змінювати без зміни числа фаз у системі.

У загальному вигляді правило фаз записується формулою:

$$C = K - \Phi + P, \quad (1.9)$$

де K – число компонентів;

Φ – число фаз;

P – кількість змінних зовнішніх чинників (тиск, температура).

Зазвичай всі перетворення в металі відбуваються при постійному атмосферному тиску, у разі правило фаз записується так

$$C = K - \Phi + 1, \quad (1.10)$$

Якщо $C = 0$, фази перебувають у рівновазі при суворо певних значеннях всіх чинників; зміна одного з них порушує рівновагу. При $C = 1$ до певного значення можна змінювати температуру, не змінюючи числа фаз. При $C = 2$ можна змінити дві змінні (температуру і концентрацію) без зміни

фазового складу системи. Рівняння правила фаз дозволяє коригувати точність побудови діаграми стану.

1.6 Діаграми стану подвійних сплавів

Діаграма стану – це графік, що показує залежність між фазовим складом, температурою та концентрацією сплаву. Вона відбиває перетворення на системі для випадку стійкого рівноваги. Користуючись діаграмою стану, визначають можливість та режими термічної обробки деталей; температурний інтервал проведення гарячої обробки металів тиском; ливарні властивості і т.д.

Діаграми будуються за результатами лабораторних випробувань сплавів різного складу. І тому використовують термічний, структурний, рентгеноструктурний методи дослідження. Додатково визначають деякі механічні та фізичні властивості сплаву.

Найважливішим методом побудови та вивчення діаграм стану є **термічний аналіз**. Він ґрунтується на отриманні серії кривих охолодження рідкого сплаву та визначенні на них критичних точок, тобто температур фазових перетворень.

Прийнято точки початку кристалізації металу називати точками **ліквідус**, кінця кристалізації - **солідус**.

При побудові діаграм осі абсцис відкладають концентрацію компонентів. Ліва крайня точка на осі концентрації відповідає 100% вмісту одного з компонентів. Відсотковий вміст другого компонента відкладається по цій осі зліва направо. По осі ординат відкладають температуру. Поєднуючи всі точки ліквідус в одну криву, а солідус - в іншу, одержують основні лінії діаграми.

Діаграма стану для сплавів, що утворюють механічні суміші із чистих компонентів (першого роду)

Обидва компоненти в рідкому стані необмежено розчинні, а в твердому стані нерозчинні і не утворюють хімічних сполук.

До таких систем відносяться сплави свинцю з сурмою (Pb – Sb) (рисунок 1.19), що утворюють у твердому стані механічні суміші [2,3].

При охолодженні на кривій АСВ (ліквідус) знаходяться точки температури початку кристалізації сплавів: виділення з рідкого сплаву свинцю - по лінії АС і сурми - по лінії СВ. Вище кривої АСВ сплави перебувають у рідкому стані.

При температурі відповідної лінії ДСЄ (солідус) із рідини (концентрації С) шляхом одночасного випадання дрібних кристалів свинцю та сурми утворюється механічна суміш – **евтектика**.

Евтектикою називається фізико-хімічна суміш двох (або більше) видів кристалів, що одночасно кристалізуються з рідини.

Сплави, у яких кристалізується лише евтектика (13 % Sb, точка С) називаються **евтектичними**. Сплави, розташовані ліворуч від евтектичного складу (до 13% Sb), називають **доевтектичними**, а праворуч (понад 13% Sb)

– *заевтектичними*. Структура доевтектичних сплавів складається з зерен свинцю та евтектики, заевтектичних – сурми та евтектики.

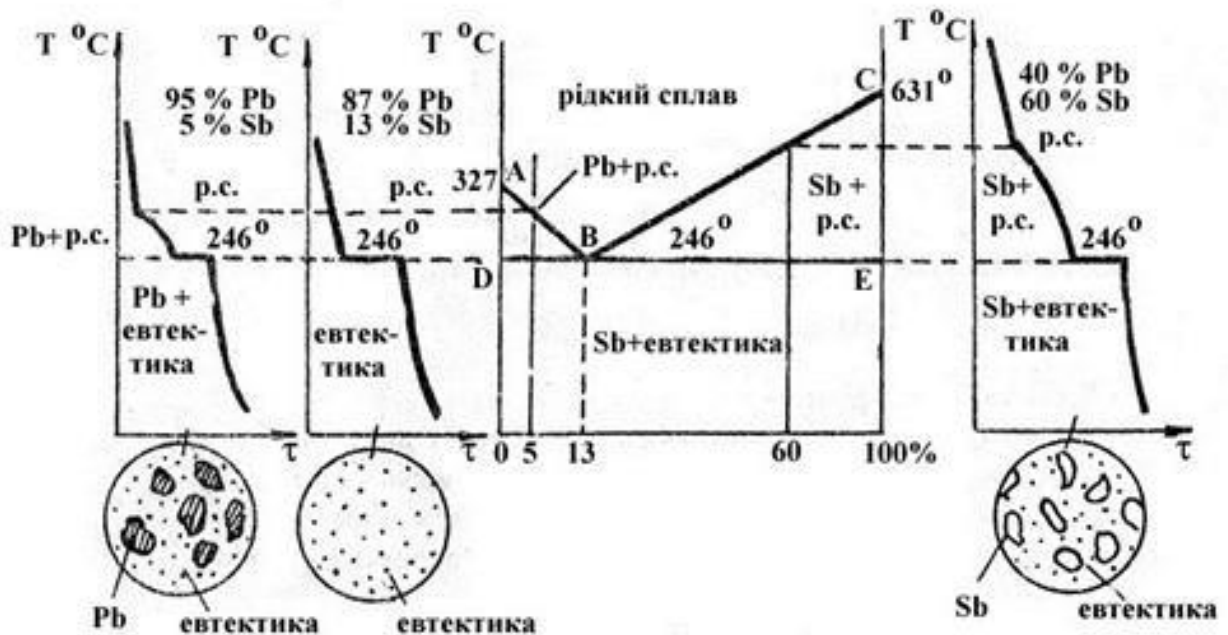


Рисунок 1.19 – Діаграма стану сплавів Pb – Sb

Діаграма станів дозволяє визначити температуру початку та кінця плавлення сплаву та побудувати криві охолодження. Розглянемо кілька прикладів.

Сплав I (5 % Sb, 95 % Pb) вище за критичну точку 1 складається з однієї фази – рідкого розплаву. Для цієї галузі стану число ступенів свободи дорівнює:

$$C = K - \Phi + 1 = 2 - 1 + 1 = 2.$$

Наявність двох ступенів свободи дозволяє змінювати склад та температуру без зміни числа фаз, тобто охолоджувати. При температурі, що відповідає точці 1, з розчину починають виділятися кристали свинцю, виникають дві фази (рідка та тверда – свинець). Для цієї області стану число ступенів свободи дорівнює:

$$C = 2 - 2 + 1 = 1.$$

При одному ступені свободи можливе охолодження сплаву у двофазній системі до другої критичної точки 2. При цьому концентрація рідкої фази в інтервалі від 1 до 2 змінюється відрізком 1-С лінії ліквідуса. Охолодження в інтервалі від 1 до 2 відбувається уповільнено через виділення теплоти при утворенні кристалів свинцю. Крива охолодження трохи опукла.

При температурі, що відповідає точці 2, сплав складається з кристалів свинцю та рідкої фази з концентрацією, що відповідає точці С, тобто 13% Sb і 87% Pb. Надалі із рідини кристалізується евтектика (з'являється третя фаза – кристали сурми).

Для цієї області число ступенів свободи дорівнює:

$$C = 2 - 3 + 1 = 0.$$

При нульовому ступені свободи неможлива зміна будь-яких факторів без зміни числа фаз. Тому процес утворення евтектики протікає за постійної температури (відрізок 2-2'). Через деякий проміжок часу (точка 2') метал твердне. Нижче точки 2' число ступенів свободи дорівнює одиниці, і відбувається подальше охолодження металу.

Аналогічним способом відбувається кристалізація сплаву III (40% Pb, 60% Sb). У точці 3 виділяються кристали сурми, а лінії 4-4' – кристалізується евтектика.

Використовуючи діаграму стану, можна для будь-якої температури визначити кількість фаз і склад кожної фази, застосувавши правило відрізків.

Правило відрізків

У процесі кристалізації сплавів змінюються як концентрації фаз, так і кількість кожної фази. Кількість твердої фази при цьому збільшується, а - рідкої зменшується. У будь-якій точці діаграми стану (рисунок 1.19), коли в сплаві одночасно існує дві фази, можна визначити кількість обох фаз та їхню концентрацію. Для цього є так зване *правило важеля* або **правило відрізків**.

▲ *Перше положення правила відрізків формулюється в такий спосіб. Щоб визначити концентрацію компонентів у фазах, через цю точку, що характеризує стан сплаву, проводять горизонтальну лінію (коноду) до перетину з лініями, що обмежують цю ділянку діаграми. Проекції точок перетину на вісь концентрації показують склад фаз.*

Отже, для сплаву, що містить 80 % Sb, при температурі точки *k* складу обох фаз визначаються проекціями точок *ℓ* і *s*, оскільки ці точки перебувають на перетині горизонтальної лінії, що проходить через точку *k* з лініями діаграми.

Проекція точки *s* визначає склад твердої фази (100% Sb), а проекція точки *ℓ* визначає склад рідини (60% Sb).

Кількість цих фаз також можна визначити, користуючись **другим положенням правила відрізків**, що формулюється так:

▲ *Щоб визначити кількісне співвідношення фаз, через задану точку проводять горизонтальну лінію до перетину з лініями, що обмежують дану область діаграми. Відрізки цієї лінії між заданою точкою та точками, що визначають склади фаз, обернено пропорційні кількості цих фаз.*

Проекція точки *s* визначає склад твердої фази (100% Sb), а проекція точки *ℓ* визначає склад рідини (60% Sb).

Кількість цих фаз також можна визначити, користуючись іншим положенням правила відрізків, що формулюється так:

▲ *Для того щоб визначити кількісне співвідношення фаз, через задану точку проводять горизонтальну лінію до перетину з лініями, що обмежують цю область діаграми. Відрізки цієї лінії між заданою точкою і точками, що визначають склади фаз, обернено пропорційні кількостям цих фаз.*

У нашому випадку співвідношення між твердою фазою QS і рідкою QL визначається співвідношення $QS / QL = \ell_k / s_k$, де ℓ_k і s_k – довжини відрізків, відповідні фазам.

Для визначення співвідношення шуканої фази QS та повної кількості сплаву QS+L користуються виразом $QS/QS+L = \ell_k/s\ell$.

Діаграма стану для сплавів з необмеженою розчинністю у твердому стані (другого роду)

Діаграма стану сплавів цього виду наведено на рисунку 1.20. Прикладом може бути система сплавів мідь – нікель (Cu–Ni).

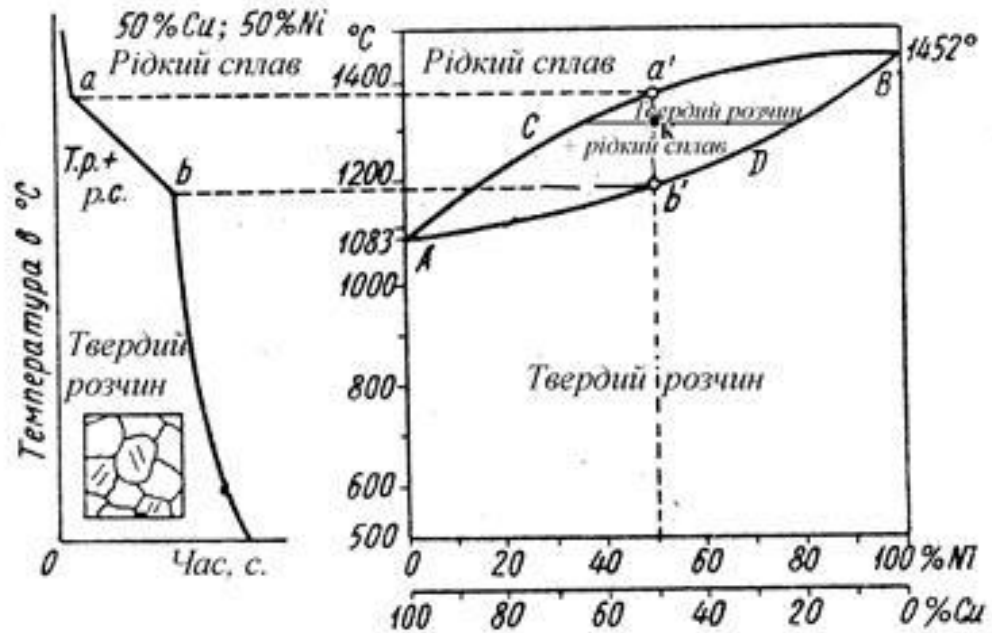


Рисунок 1.20 – Діаграма стану сплавів Cu-Ni

Якщо два компоненти (Cu та Ni) необмежено розчиняються в рідкому та твердому станах, то можливе існування лише двох фаз – рідкого розчину (р.с.) та твердого розчину Ni у Cu (α), причому необмеженого. Отже, трьох фаз не може бути, кристалізація при постійній температурі не спостерігається і горизонтальної лінії на діаграмі немає.

Діаграма, зображена на рисунку 1.20, складається з трьох областей:

- рідкий сплав;
- рідкий метал + твердий розчин;
- твердий розчин.

Верхня лінія діаграми ACB відповідає початку кристалізації та має назву ліквідус, вище неї сплави знаходяться у рідкому стані. Нижня лінія ADB - кінець кристалізації та зветься солідус, нижче неї всі сплави знаходяться у твердому стані. Таким чином, вище лінії ACB сплави нікелю з міддю складаються з однорідного рідкого сплаву, нижче лінії ADB – з одного твердого розчину.

Застосовуючи правило фаз до діаграми цього типу, одержуємо вище лінії ACB та нижче лінії ADB одну фазу при двох компонентах ($C = 3 - 1 = 2$), інакше кажучи, система двохваріантна. У середині площини ACBDA присутні дві фази. Тут $C = 3 - 2 = 1$, тобто система одноваріантна.

Згідно з правилом відрізків, кількість фаз у точці K визначається проведенням горизонтальної лінії через цю точку до перетину з лініями ліквідус та солідус. Ці точки перетину вкажуть концентрацію рідкої фази та твердого розчину. Відносні вагові кількості, тобто тверді фази та рідкої фази по правилу відрізків (або важеля) визначаються за співвідношенням аналогічно попередньо розглянутій діаграмі першого роду (Pb-Sb).

Сплави Cu-Ni мають жаростійкість і високий електричний опір.

Діаграма стану для сплавів з обмеженою розчинністю у твердому стані (третього роду)

Така діаграма виходить у системі сплавів Cu-Ag і наведено на рисунку 1.21[3].

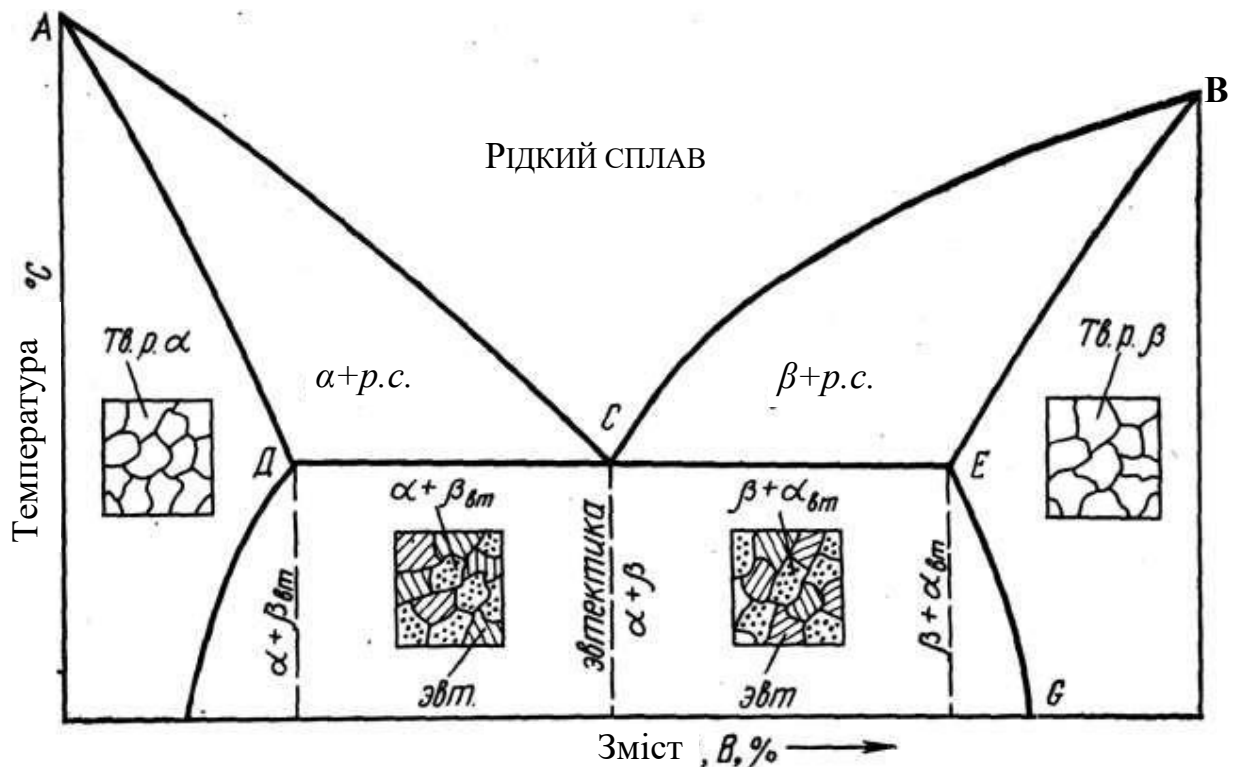


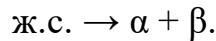
Рисунок 1.21 - Діаграма стану сплавів з обмеженою розчинністю у твердому стані

У цій системі не утворюються фази, що є чистими компонентами. З рідини можуть виділятися лише тверді розчини α та β .

Крива ACB – ліквідус, ADCEB – солідус. При температурах, відповідних лінії AC, випадають кристали твердого розчину впровадження атомів компонента в кристалічній решітці компонента A (кристали твердого

розчину α). При температурах, що відповідають лінії СВ, кристалізується твердий розчин впровадження атомів компонента А в кристалічній решітці компонента (кристали твердого розчину β).

При температурі, що відповідає евтектичній лінії ДСЕ, відбувається евтектична реакція



Структура сплавів, що лежать між точками Д і С, після кінця кристалізації складається з кристалів α та евтектики $\alpha + \beta$, а між точками С та Е – із кристалів β та евтектики $\alpha + \beta$. Сплави з концентрацією менше, ніж у точці Д, закінчують кристалізацію рідкого розчину по лінії АД і складаються з кристалів α .

При зниженні температури (лінія ДФ) ці кристали виявляються пересиченими атомами компонента, тому з твердого розчину кристалізуються зерна твердого розчину ($\beta_{\text{вт}}$). Прийнято кристалізацію із твердого розчину називати вторинною, з рідкого розчину – первинною. У сплавах з концентрацією більше, ніж у точці Е, при температурах нижче лінії солідус із кристалів β (лінія ЕГ) випадають кристали $\alpha_{\text{вт}}$.

Діаграма стану з перитектикою

Діаграма стану з перитектикою (рисунок 1.22) є різновидом діаграми стану з обмеженою розчинністю компонентів у твердому стані.

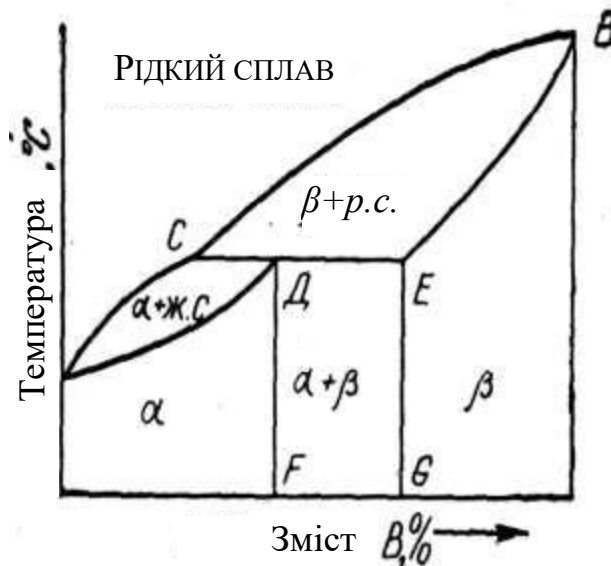
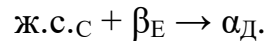


Рисунок 1.22 - Діаграма стану сплавів із перитектичним перетворенням

Лінія АСВ – ліквідус, АДЕВ – солідус, компоненти умовно позначені А та В, фази – рідкий сплав (р.с.), тверді розчини α та β . Особливістю даної діаграми є наявність перитектичного перетворення на лінії СДЕ, де кристали β (з концентрацією, що відповідає точці Е) реагують з рідиною (склад

відповідає точці С). В результаті цієї так званої *перитектичної реакції* виходить нова фаза - твердий розчин (концентрації точки Д)



Такі перетворення здійснюються для сплавів, що мають концентрацію компонентів, що відповідає перитектичній точці D. Лівіше точки D у надлишку буде рідка фаза, яка при зниженні температури кристалізується в α -фазу; правіше – у надлишку β -фаза.

Діаграма стану для сплавів, що утворюють хімічні сполуки (четвертого роду)

На рисунку 1.23 наведено діаграму стану сплавів системи магній-кальцій (Mg-Ca). Хімічна сполука Mg_4Ca_3 (загалом A_nB_m) можна розглядати як новий, третій компонент, який ділить діаграму стану Mg-Ca на дві діаграми першого роду: Mg- Mg_4Ca_3 ($A-A_nB_m$) і Mg_4Ca_3 -Ca (A_nB_m-B). Хімічна сполука Mg_4Ca_3 (A_n

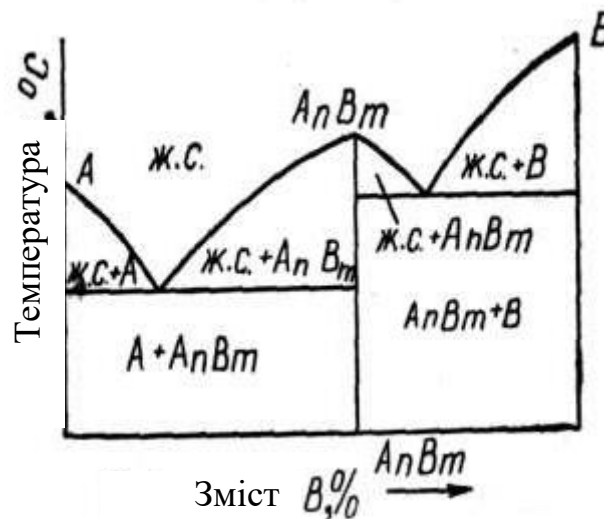


Рисунок 1.23 - Діаграма стану сплавів з утворенням хімічної сполуки

Зв'язок між властивостями сплавів та типом діаграми стану

Як відомо, вид діаграми стану залежить від того, які фази утворюють обидва компоненти. Властивості сплаву також залежить від того, які сполуки або фази утворили компоненти сплаву. Тому очевидно, що між видом діаграми стану та властивостями сплаву має існувати певний зв'язок. На рисунку 1.24 наведено чотири основні типи діаграм станів та відповідні їм закономірності зміни властивостей сплаву (твердості – лінія 1; електропровідності – лінія 2) із зміною концентрації.

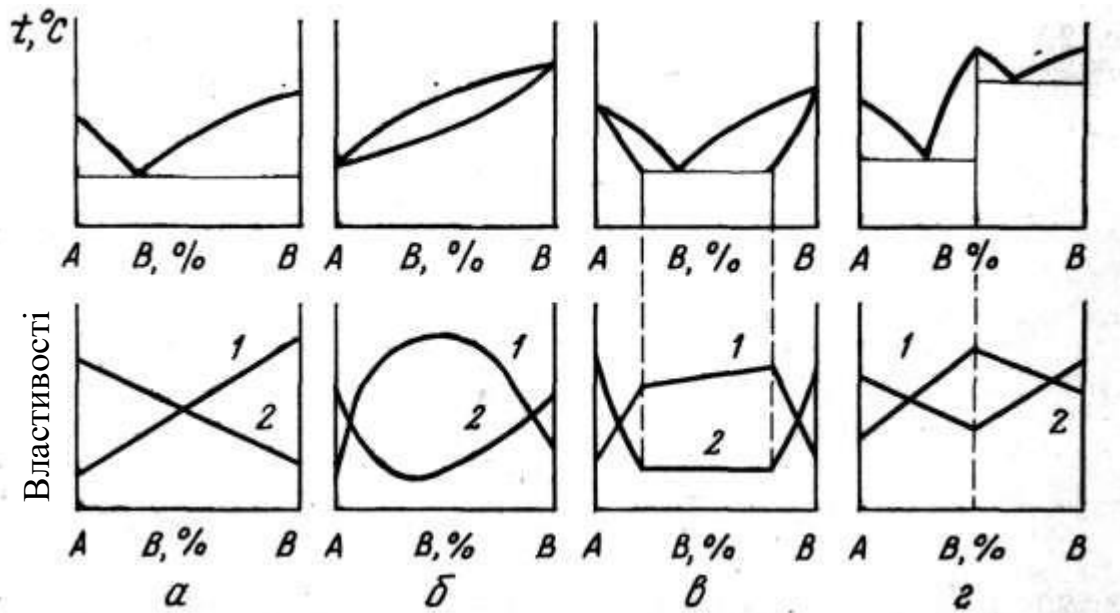


Рисунок 1.24 - Властивості сплавів та їх діаграми стану

У разі утворення механічних сумішей властивості сплавів змінюються за прямолінійним законом (рисунок 1.24 а). Створити сплав, механічні та електричні властивості якого були б вищими за вихідні компоненти, неможливо [1,3].

При утворенні твердих необмежених розчинів (рисунок 1.24б) властивості сплавів змінюються нерівномірно. Твердість та електропровідність сплавів можуть різко відрізнятися від вихідних компонентів. Високий електроопір мають сплави з повною взаємною розчинністю приблизно за рівної кількості компонентів. У сплавах з обмеженою розчинністю властивості змінюються відповідно до належності сплаву до тієї чи іншої частини діаграми (рисунок 1.24).

При утворенні хімічних сполук (рисунок 1.24 г) властивості сплаву змінюються стрибкоподібно. Точка перелому на діаграмі (сингулярна точка) відповідає хімічній сполуці.

Точне вивчення властивостей залежно від концентрацій (тобто побудова діаграми *склад-властивості*) є важливим доповненням при вивченні та побудові діаграм станів.

Метод вивчення змін властивостей залежно від зміни складу та побудови діаграми *склад-властивість* був покладений М.С. Курнаковим в основу розробленого ним фізико-хімічного аналізу сплавів. В даний час фізико-хімічний аналіз є одним з основних методів вивчення сплавів та його широко застосовують у наукових дослідженнях нових сплавів

Вивчення зв'язку між властивостями сплавів та типом діаграми є важливим фактором при створенні нових сплавів, вивченні структурних перетворень та їх властивостей.

Контрольні питання

- 1.1 На які групи поділяють чорні та кольорові метали?
- 1.2 Дайте визначення елементарного кристалічного осередку.
- 1.3 Які кристалічні решітки мають метали?
- 1.4 Що таке координаційне число кристалічної решітки?
- 1.5 Перерахуйте точкові дефекти кристалічних решіток.
- 1.6 Що таке анізотропія?
- 1.7 Що таке кристалізація?
- 1.8. За яких умов термодинамічно можливий процес кристалізації?
- 1.9 Що таке ступінь переохолодження рідини?
- 1.10 З яких стадій складається процес кристалізації металу?
- 1.11 Від яких факторів залежить розмір зерна у металі?
- 1.12 Для чого проводиться модифікація металу під час його виплавки?
- 1.13 Що таке алотропія (поліморфізм) металу?
- 1.14 Перелічіть метали, які мають поліморфізм.
- 1.15 Дайте визначення пружної та пластичної деформації.
- 1.16 Що таке наклеп?
- 1.17 Що таке рекристалізація?
- 1.17 Які види твердих розчинів можуть утворюватись у сплавах?
- 1.18 Які елементи можуть утворювати у твердому стані у сплавах хімічні сполуки?
- 1.19 У якому разі у сплавах утворюються механічні суміші компонентів?
- 1.20 Як називається рівняння, що встановлює числову залежність між фазами, компонентами та ступенем свободи системи?
- 1.21 Яким є практичне застосування діаграм стану сплавів?
- 1.22 У яких координатах будують діаграми стану подвійних сплавів?
- 1.23 За допомогою якого правила визначають число фаз та склад кожної фази у подвійних сплавах?
- 1.24 У якій галузі металознавства можливе застосування фізико-хімічного аналізу сплавів, розробленого М.С. Курнаковим?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 1

ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ

ЗА МЕТОДОМ БРІНЕЛЛЯ

Мета заняття. Ознайомитися з будовою приладу Брінелля, вивчити методику визначення твердості металів, визначити твердість даних зразків.

Прилади, матеріали та інструменти

1. Автоматичний важільний прилад Брінелля.

2. Відліковий мікроскоп для вимірювання діаметра відбитка.
3. Зразки для вимірювання твердості.

Теоретичні відомості

Твердістю називають властивість металу чинити опір проникненню в нього іншого, твердішого тіла (індентора), що не зазнає при цьому пластичної деформації.

Способи випробування на твердість поділяють на статичні та динамічні.

До **статичних** способів випробування належать такі:

- 1) метод Брінелля - за величиною поверхні відбитка від вдавнення сталеві кульки при випробуваннях на пресах типу Брінелля;
- 2) метод Роквелла - за глибиною відбитка при вдавлюванні алмазного конуса або сталеві кульки при випробуваннях на приладі типу Роквелла;
- 3) метод Віккерса - за величиною поверхні відбитка від вдавлювання алмазної піраміди при випробуваннях на приладі типу Віккерса;
- 4) вимірювання мікротвердості - за результатами випробувань на мікротвердість (малих об'ємів металу або структурних складових). За величиною поверхні відбитка від вдавнення алмазної піраміди на приладі типу ПМТ.

При **динамічних** випробуваннях твердість зразка визначається за висотою відскоку бойка, що вільно падає. Розрізняють методи випробування за Шором, Шварцем, Бауманом тощо.

В інженерній практиці найбільшого поширення набули статичні методи випробувань.

Твердість є важливою фізико-механічною властивістю матеріалу. З усіх видів механічних випробувань випробування на твердість проводять найчастіше. Це пояснюється тим, що:

- 1) під час випробування виріб не руйнується і придатний для експлуатації;
- 2) випробування проводяться просто і швидко;
- 3) за величиною твердості (НВ) можна з деяким наближенням судити і про міцність металів на розтягнення (ζ_v), оскільки існує приблизне співвідношення:

✓ для кованої сталі і катаної сталі: $\sigma_v = 0,36 \text{ НВ}$;

✓ для сірих чавунів: $\sigma_v = \frac{\text{НВ}-40}{6}$;

✓ для сталевих лиття $\sigma_v = 0,3...0,4 \text{ НВ}$;

✓ для алюмінієвих сплавів: $\sigma_v = 0,38 \text{ НВ}$.

Зносостійкість - одна з найважливіших експлуатаційних властивостей металів і сплавів, перебуває, як правило, у прямо пропорційній залежності від твердості. Чим вища твердість конструкційного матеріалу, тим вища його зносостійкість.

Схема випробування за Брінеллем

Методика визначення на твердість за Брінеллем полягає в тому, що, користуючись пресом (пресом Брінелля), у випробовуваний метал (рисунок 1.25) під певним навантаженням (P) вдавлюється сталева загартована кулька діаметром (D), і за величиною отриманого відбитка (d) судять про твердість.

Число твердості за Брінеллем визначається відношенням навантаження, що діє на кульку, до поверхні отриманого відбитка, тобто

$$HB = \frac{P}{A}, \quad (1.11)$$

де HB - число твердості за Брінеллем;

P - навантаження, кН (кгс);

A - площа відбитка (кульового сегмента), мм^2 .

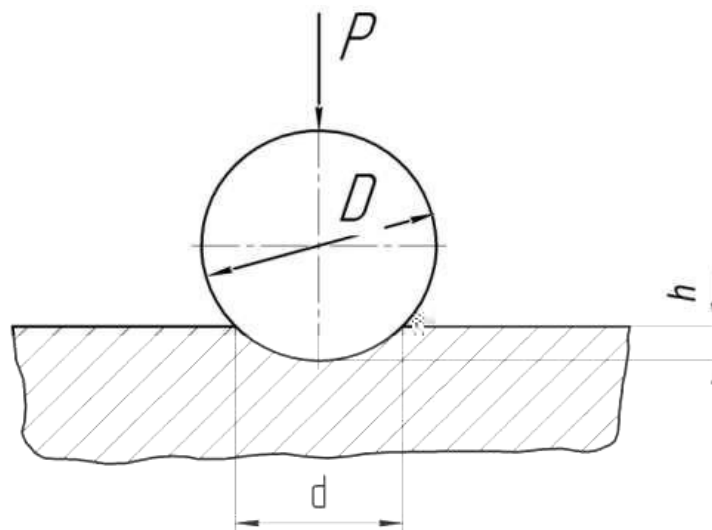


Рисунок 1.25 - Схема вимірювання твердості за Брінеллем

В остаточному вигляді формула визначення твердості за Брінеллем має вигляд

$$HB = \frac{P}{\pi \cdot \frac{D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \quad (1.12)$$

де d - діаметр відбитка, мм;

D - діаметр кульки, мм.

Число твердості за Брінеллем позначається HB , вказівка розмірності величини $\text{кг}/\text{мм}^2$ опускається.

На практиці для того, щоб не вдаватися щоразу до тривалих розрахунків твердості за формулою (1.12), користуються спеціальною

таблицею, яка дає переведення діаметра відбитка в число твердості НВ (таблиця 1.1).

Для переведення числа твердості в систему СІ користуються коефіцієнтом $K = 9,81 \cdot 10^6$, на який множать табличне значення твердості: $HV_{SI} = HB \cdot K$, [Па] = $HB \cdot K \cdot 10^{-6}$, [МПа] (мегапаскалів).

Таблиця 1.1 - Значення твердості НВ залежно від діаметра відбитка

Діаметр відбитка, мм	Число твердості за Брінеллем, при навантаженні Р, що дорівнює			Діаметр відбитка, мм	Число твердості за Брінеллем, при навантаженні Р, що дорівнює		
	30 D ²	10 D ²	2,5 D ²		30 D ²	10 D ²	2,5 D ²
1	2	3	4	5	6	7	8
2,89	448	-	-	3,64	278	92,8	23,2
2,90	444	-	-	3,66	275	91,8	22,9
2,92	438	-	-	3,68	272	90,7	22,7
2,94	432	-	-	3,70	269	89,7	22,4
2,96	426	-	-	3,72	266	88,7	22,2
2,98	420	-	35,0	3,74	263	87,7	21,9
3,00	415	-	34,6	3,76	260	86,8	21,7
3,02	409	-	34,1	3,78	257	85,8	21,5
3,04	404	-	33,7	3,80	255	84,9	21,2
3,06	398	-	33,2	3,82	252	84,0	21,0
3,08	393	-	32,7	3,84	249	83,0	20,8
3,10	388	129	32,3	3,86	246	82,1	20,5
3,12	383	128	31,9	3,88	244	81,3	20,3
3,14	378	126	31,5	3,93	241	80,4	20,1
3,16	373	124	31,1	3,92	239	79,6	19,9
3,18	368	123	30,7	3,94	236	78,7	19,7
3,20	363	121	30,3	3,96	234	77,9	19,5
3,22	359	120	29,9	3,98	231	77,1	19,3
3,24	354	118	29,5	4,00	229	76,3	19,1
3,26	350	117	29,2	4,02	226	75,5	18,9
3,28	345	115	28,8	4,04	224	74,7	18,7
3,30	341	114	28,4	4,06	222	73,9	18,5
3,32	337	112	28,1	4,08	219	73,2	18,3
3,34	333	11	27,7	4,10	217	72,4	18,1
3,36	329	110	27,4	4,12	215	71,7	17,9
3,38	325	108	27,1	4,14	213	71,0	17,7
3,40	321	107	26,7	4,16	211	70,2	17,5
3,42	317	106	26,4	4,18	209	69,5	17,4
3,44	313	104	26,1	4,20	207	68,8	17,2
3,46	309	103	25,8	4,22	204	68,2	17,0
3,50	302	101	25,2	424	202	67,5	16,9

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8
3,52	298	99,5	24,9	4,26	200	66,8	16,7
3,54	295	98,3	24,6	4,28	198	66,2	16,5
3,56	292	97,2	24,3	4,30	197	65,5	16,4
3,58	288	96,1	24,0	4,32	195	64,9	16,2
3,60	285	95,0	23,7	4,34	193	64,2	16,1
3,62	282	93,9	23,5	4,36	191	63,6	15,9
4,38	189	63,0	15,8	4,38	187	57,0	11,0
4,42	185	61,8	15,5	5,22	130	43,3	10,8
4,44	184	61,2	15,3	5,24	129	42,9	10,7
4,46	182	60,6	15,2	5,26	128	42,6	10,6
4,48	180	60,1	15,0	5,28	127	42,2	10,6
4,50	179	59,5	14,9	5,30	126	41,9	10,5
4,52	177	59,0	14,7	5,32	125	41,5	10,4
4,54	175	58,4	14,6	5,34	124	41,2	10,3
4,56	174	57,9	14,5	5,36	123	40,9	10,2
4,58	172	57,3	14,3	5,38	122	40,5	10,1
4,60	170	56,8	14,2	5,40	121	40,2	10,1
4,62	169	56,3	14,1	5,42	120	39,9	9,97
4,64	167	55,8	13,9	5,44	119	39,6	9,90
4,66	166	55,3	13,8	5,46	118	39,2	9,82
4,68	164	54,8	13,7	5,48	117	38,9	9,73
4,70	163	54,3	13,6	5,50	116	38,6	9,66
4,72	161	53,8	13,4	5,52	115	38,3	9,58
4,74	160	53,3	13,3	5,54	114	38,0	9,50
4,76	158	52,8	13,2	5,56	113	37,7	9,43
4,78	157	52,3	13,1	5,58	112	37,4	9,35
4,80	156	51,9	13,0	5,60	111	37,1	9,27
4,82	154	51,4	12,9	5,62	110	36,8	9,20
4,84	153	51,0	12,8	5,64	110	36,5	9,14
4,86	152	50,5	12,6	5,66	109	36,3	9,07
4,88	150	50,1	12,5	5,68	108	36,0	9,00
4,90	149	49,6	12,4	5,70	107	35,7	8,93
4,92	148	49,2	12,3	5,72	106	35,4	8,86
4,94	146	48,8	12,2	5,74	105	35,1	8,79
4,96	145	48,4	12,1	5,76	105	34,9	8,73
4,98	144	47,9	12,0	5,78	104	34,6	8,66
5,00	143	47,5	11,9	5,80	103	34,3	8,59
5,02	141	47,1	11,8	5,82	102	34,1	8,53
5,04	140	46,7	11,7	5,84	101	33,8	8,46
5,06	139	46,3	11,6	5,86	101	33,6	8,40
5,08	138	45,9	11,5	5,88	99,9	33,3	8,33
5,10	137	45,5	11,4	5,90	99,2	33,1	8,26

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8
5,12	135	45,1	11,3	5,92	98,4	32,8	8,20
5,14	134	44,8	11,2	5,94	97,7	32,6	8,14
5,16	133	44,4	11,1	5,96	96,9	32,3	8,08
5,18	133	44,0	11,0	5,98	96,2	32,1	8,02
5,20	131	43,7	10,9	6,00	95,5	31,8	7,96

Вибір діаметра кульки

Для випробування застосовуються кульки діаметром 2,5; 5; 10 мм - залежно від товщини випробовуваного матеріалу і його орієнтовної твердості. Навантаження P вибирається залежно від якості випробовуваного матеріалу за формулою

$$P = K \cdot D^2, \quad (1.13)$$

де K - постійна для даного матеріалу величина, що дорівнює 30, 10 або 2,5.

У таблиці 2 наведено дані щодо вибору діаметра кульки і навантаження залежно від якості матеріалу і товщини зразків.

Таблиця 1.2 - Вибір діаметра кульки залежно від твердості та товщини зразка

Матеріал	Інтервал твердості в числах Брінелля	Мінімальна товщина випробовуваного зразка, мм	Співвідношення між навантаженням P і діаметром кульки D	Діаметр кульки D , мм	Навантаження, P , кгс	Витримка під навантаженням, η , с
Чорні метали	140–450	От 6 до 3	$P = 30D^2$	10,0	3000	10
		От 4 до 2		5,0	750	
		Менше 2		2,5	187,5	
Те саме	< 140	Більше 6	$P = 10D^2$	10,0	1000	10
		От 6 до 3		5,0	250	
		Менше 3		2,5	62,5	
Кольорові метали	> 130	От 6 до 3	$P = 30D^2$	10,0	3000	30
		От 3 до 2		5,0	750	
		Менше 2		2,5	187,5	
Те саме	35–130	От 9 до 6	$P = 10D^2$	10,0	1000	30
		От 6 до 3		5,0	250	
		Менше 3		2,5	62,5	
Те саме	8–35	От 9 до 6	$P = 2,5D^2$	10,0	250	60
		От 6 до 3		5,0	62,5	
		Менше 3		2,5	15,6	

Підготовка зразка

Перед випробуванням поверхню зразка, в яку буде вдавлюватися кулька, шліфують шкіркою або напилком, щоб вона була рівною, гладкою і не мала окалини або інших дефектів, щоб було отримано правильний відбиток з чітко помітними краями. Центр відбитка повинен знаходитися від краю зразка на відстані не менше діаметра кульки, а від центру сусіднього відбитка на відстані не менше двох діаметрів кульки.

Порядок виконання роботи

Навантаження P , діаметр кульки D і тривалість витримки кульки під навантаженням вибирають за таблицею 1.2.

На рисунку 1.26 наведено схему важільного приладу Брінелля (тип ТШ). Прилад має станину 1.

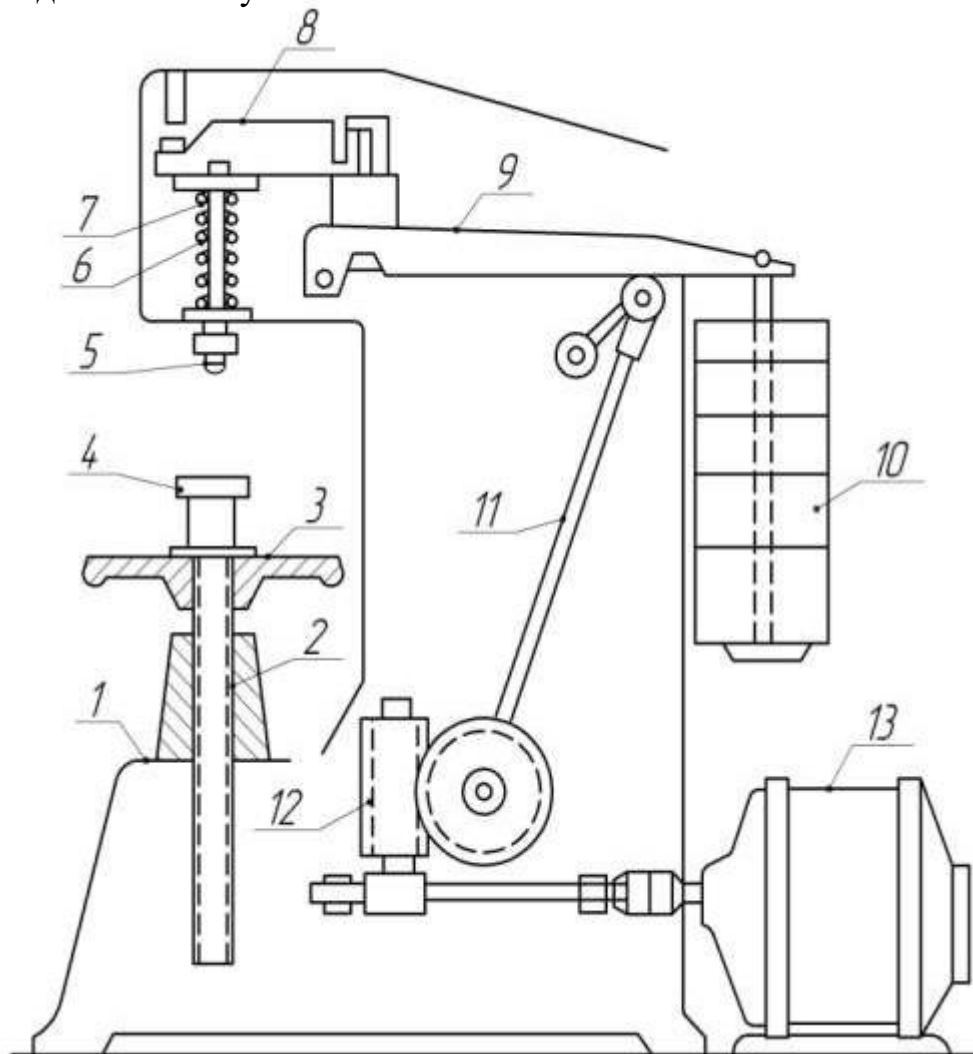


Рисунок 1.26 - Схема приладу Брінелля:

- 1- станина; 2 - гвинт; 3 - маховик; 4 - предметний столик; 5 - кулька;
6 - шпindel; 7 - пружина; 8, 9 - важільна система; 10 - вантажі;
11 - шатун; 12 - черв'ячна передача (редуктор); 13 - електродвигун

Випробуваний зразок встановлюють на предметний столик 4. Обертаючи маховик 3, гвинтом 2 піднімають зразок до зіткнення його з кулькою 5 і далі до повного стиснення пружини 7, надітої на шпindel 6. Пружина створює попереднє навантаження на кульку, що дорівнює 1 кН (100 кгс), що забезпечує стійке положення зразка під час навантаження.

Після цього вмикають електродвигун 13 і через черв'ячну передачу редуктора 12, шатун 11 і систему важелів 8, 9 з вантажами 10 створюють задане повне навантаження на кульку. На випробуваному зразку виходить відбиток. Після розвантаження приладу зразок знімають і визначають діаметр відбитка спеціальним мікроскопом. За розрахунковий діаметр відбитка приймають середнє арифметичне значення вимірювань у двох взаємно перпендикулярних напрямках. За діаметром відбитка в таблиці 1 при кульці діаметром 10 мм і навантаженні 30 кН (3000 кгс) знаходять відповідне число твердості НВ і записують, наприклад - НВ 302.

До недоліків методу Брінелля необхідно віднести неможливість випробування металів, що мають твердість понад НВ 450 або товщину зразка менше 2 мм. Під час випробування металів із твердістю понад 450 можлива деформація кульки, і результати будуть неточними.

Методика вимірювання відбитка та визначення твердості

Отриманий відбиток вимірюють відліковим мікроскопом. Відліковий мікроскоп необхідно щільно встановити нижньою опорною частиною на випробовувану поверхню і повернути вирізом (вікном) у нижній частині до світла. Повертаючи окуляр, треба домогтися, щоб краї відбитка були різко окреслені. Потім, пересуваючи мікроскоп, треба один край відбитка поєднати з початком шкали (рисунок 1.27). Відрахувати поділку шкали, з якою збігається протилежний край відбитка. Цей відлік і відповідатиме діаметру відбитка. Потім мікроскоп треба повернути на 90° і заміряти діаметр відбитка вдруге.

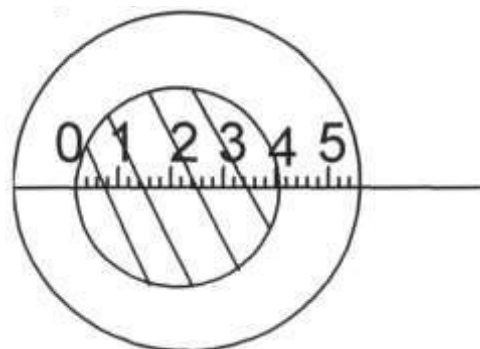


Рисунок 1.27 - Схема виміру діаметра відбитка

Форма звіту

До звіту мають бути включені відповіді на контрольні запитання, схема приладу і схема виміру діаметра відбитка.

Результати вимірювання твердості занести в таблицю 1.3.

Таблиця 1.3 - Протокол випробувань

№ п/п	Найменування матеріалу або деталі	Умови випробувань	Твердість за Брінеллем						
			1-й замір		2-й замір		3-й замір		НВ середнє
			d	НВ	d	НВ	d	НВ	
		D = мм P = кг η = с							
		D = мм P = кг η = с							
		D = мм P = кг η = с							

ЗА МЕТОДОМ РОКВЕЛЛА

Мета заняття. Вивчити будову твердоміра типу Роквелла, освоїти методику визначення твердості за способом Роквелла, визначити твердість даних зразків.

Обладнання, матеріали, інструменти

1. Твердоміри ТК-2, HBRV-187,5.
2. Зразки для заміру твердості.
3. Змінні наконечники.

Теоретичні відомості

Принципова відмінність цього методу від методу Брінелля полягає в тому, що твердість визначають за глибиною відбитка, одержуваного під час вдавнення алмазного конуса або сталевий кульки, а не за площею відбитка.

Метод Роквелла ґрунтується на тому, що у випробовуваний зразок вдавлюють алмазний конус із кутом при вершині 120° або рідше загартовану сталеву кульку діаметром 1,588 мм (1/16"). Алмазний конус використовують для твердих матеріалів, а кульку - для м'яких.

Під час випробувань за Роквеллом навантаження можна змінювати в широких межах, без зміни значень твердості, оскільки при вдавлюванні конуса зберігається закон подібності, а умови деформації під вершиною конуса зі збільшенням тиску не змінюються. Кульку або алмазний конус

(рисунок 1.28) вдавлюють у випробовуваний зразок під дією двох навантажень, що послідовно додаються, - попереднього P_0 , що дорівнює 0,1 кН (10 кгс), та основного P_1 .

Під час вдавлювання алмазу до нього додається загальне навантаження P , що дорівнює 0,6 кН (60 кгс), або 1,5 кН (150 кгс), а під час вдавлювання кульки - 1 кН (100 кгс). Відповідно до цих навантажень на індикаторі приладу нанесені шкали - чорні А і С та червона В. Шкалою А користуються під час вимірювання твердості виробів з дуже твердим поверхневим шаром, отриманим за допомогою хіміко-термічної обробки (цементациєю, азотуванням тощо), а також твердих сплавів із твердістю до HRA 85. Шкалу С використовують під час вимірювання твердості загартованих сталей, що мають твердість до HRC 67. Шкалою В користуються під час вимірювання твердості незагартованих сталей, кольорових металів і сплавів, що мають твердість до HRB 100.

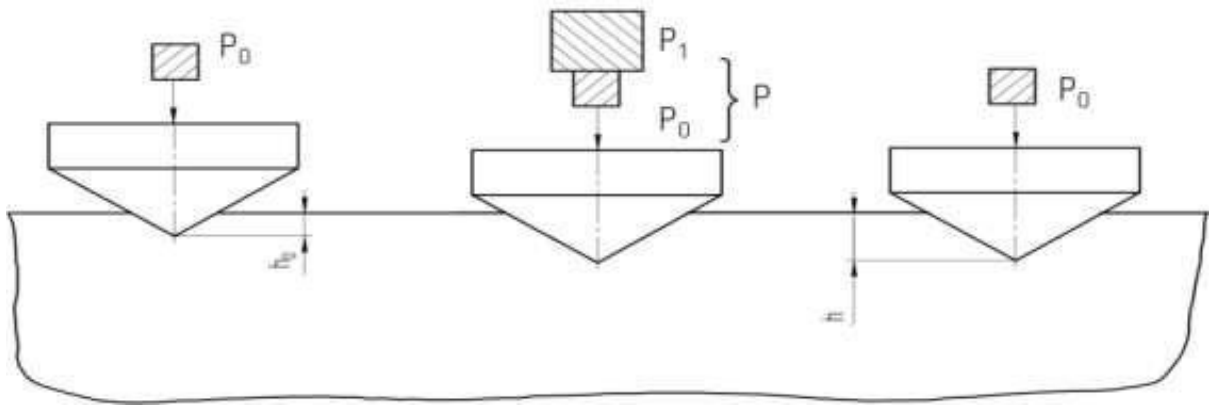


Рисунок 1.28 - Схема вимірювання твердості за Роквеллом

Числа твердості за Роквеллом HR вимірюють в умовних одиницях і визначають за формулами:

при вдавлюванні алмазного конуса

$$\text{HRC} = 100 - \frac{h-h_0}{0,002}, \quad (1.14)$$

при вдавлюванні кульки

$$\text{HRC} = 130 - \frac{h-h_0}{0,002}, \quad (1.15)$$

де 100 - число чорних поділок шкали С циферблата індикатора приладу;

h - глибина впровадження алмазу (кульки) під дією загального навантаження P , виміряна після зняття основного навантаження P_1 із залишенням попереднього навантаження P_0 , мм;

h_0 - глибина впровадження алмазу (кульки) під дією попереднього навантаження P_0 , мм;

130 - число червоних поділок шкали В;

0,002 - глибина впровадження алмазу (кульки), що відповідає переміщенню стрілки індикатора на одну поділку, мм.

Щоб встановити на приладі у м'якого металу малу твердість, а у твердого металу - високу твердість, отримане число поділок $\left(\frac{h-h_0}{0,002}\right)$ віднімається від загального числа поділки 100 для шкали С або з 130 для шкали В.

Будова приладу і порядок проведення випробувань

На рисунку 1.29 наведено схему приладу ТК-2 (типу Роквелла).

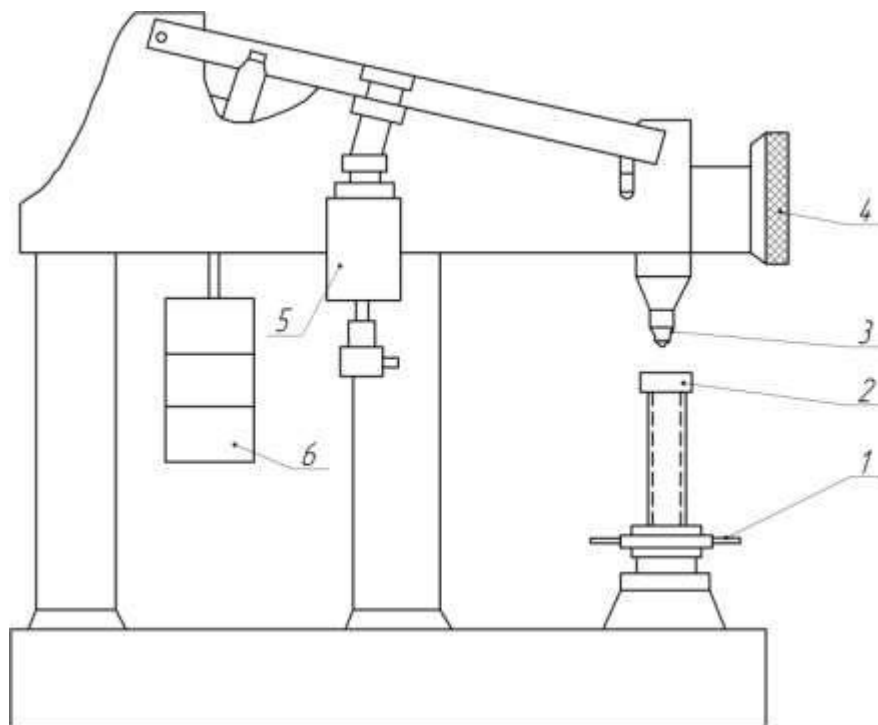


Рисунок 1.29 - Схема приладу Роквелла:

1 - штурвал; 2 - предметний столик; 3 - алмазний конус; 4 - циферблат індикатора; 5 - демпфер; 6 - вантажі

На предметний столик 2 встановлюють добре зачищений випробуваний зразок. Потім обертанням штурвала 1 за годинниковою стрілкою піднімають зразок до зіткнення з алмазом або кулькою 3. Під час подальшого обертання штурвала починають переміщатися мала і велика стрілки циферблата індикатора 4, і створюється попереднє навантаження, що дорівнює 0,1 кН (10 кгс), яке перешкоджає зміщенню зразка під час випробування. Попереднє навантаження, крім того, виключає вплив пружної деформації та різного

ступеня шорсткості поверхні зразка на результати вимірювань.

Коли мала стрілка поєднується з червоною крапкою, нанесеною на циферблат, обертання штурвала слід припинити. Після цього циферблат індикатора повертають так, щоб нульова поділка чорної шкали С стала проти кінця великої стрілки і відповідно проти 30 поділки червоної шкали В. Червона шкала В зміщена відносно нульової поділки чорної шкали С на 30 поділок, тому що під час випробування кулькою велика стрілка може повертатися більш ніж на 100 поділок. Натисканням педалі при ввімкненому електричному приводі за допомогою вантажів 6 створюють основне навантаження Р1 на алмаз (кульку). Завдяки масляному демпферу 5 вантажі плавно опускаються, алмаз (кулька) вдавлюється в метал, а більша стрілка циферблата повертається вліво, у бік зменшення числових значень твердості, тобто відбувається те віднімання, про яке було сказано вище. Після зупинки більшої стрілки через 1-3 секунди автоматично знімається основне навантаження. При цьому велика стрілка повертається у зворотному напрямку і зупиняється проти поділки, що показує значення твердості випробовуваного металу.

За число твердості приймається середнє арифметичне значення, отримане під час трьох випробувань.

На рисунку 1.30 наведено схему універсального твердоміра HBRV-187,5.

Процес вимірювання здійснюється таким чином:

1. Увімкніть живлення, дисплей загориться. Виберіть відповідну шкалу для досліджуваного матеріалу зразка. Поверніть перемикач 10 за годинниковою стрілкою, щоб встановити загальне навантаження.

2. Кнопками «+» і «-» на панелі управління встановіть час витримки.

3. Помістіть зразок для випробування на стіл і обертайте маховик 7 за годинниковою стрілкою, щоб підняти стіл.

4. Після контакту зразка з індентором продовжуйте обертати маховик доти, доки мала стрілка не зрівняється з червоною точкою (три оберти великої стрілки), а велика стрілка - з точками «С» і «В». Зсув має бути не більше ніж ± 5 поділок.

5. Покрутіть диск індикатора вліво або вправо так, щоб велика стрілка зрівнялася з літерою "С" (або з літерою "В" у разі визначення HRB).

6. Натисніть кнопку "START" на сенсорній панелі, твердомір почне процес навантаження автоматично. Після навантаження почнеться процес утримання навантаження і потім розвантаження.

7. Велика стрілка на циферблаті покаже справжнє значення твердості. Для шкал HRC і HRA зчитування значення твердості проводиться за зовнішньою шкалою. Для шкали HRB зчитування проводиться за внутрішньою шкалою.

8. Поверніть маховик проти годинникової стрілки, щоб опустити зразок. Повторіть вимірювання в різних місцях зразка.

9. Кожен зразок має бути виміряний у щонайменше 5 точках (перший

вимір не враховується). При вимірюванні партії зразків кількість вимірювань може бути зменшено.

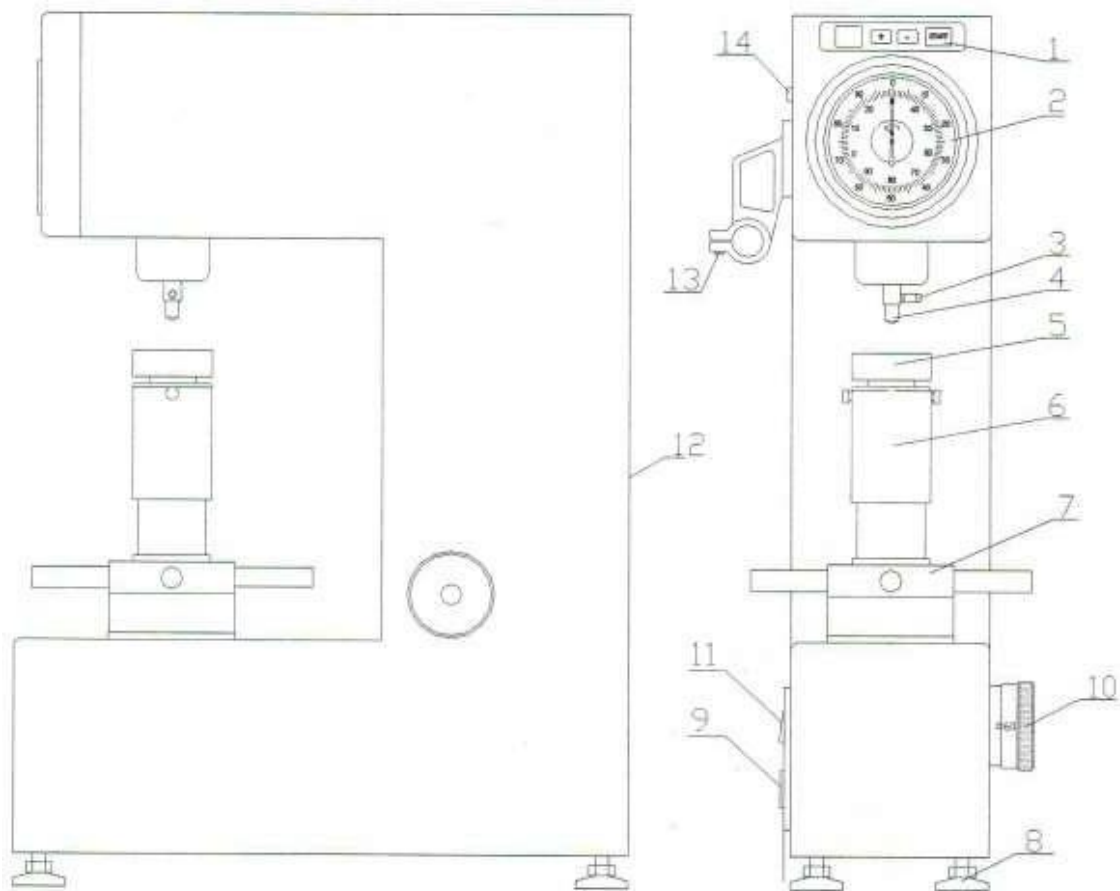


Рисунок 1.30 - Схема універсального твердоміра HBRV-187,5:

- 1 - панель керування; 2 - стрілочний циферблат; 3 - гвинт фіксації індентора;
 4 - індентор; 5 - робочий столик; 6 - підйомний гвинт; 7 - маховик; 8 -
 регульовальна ніжка; 9 - запобіжник; 10 - перемикач навантажень; 11 -
 вимикач; 12 - задня кришка; 13 - фіксатор мікроскопа; 14 - роз'єм.

Число твердості за Роквеллом можна перевести в число твердості за Брінеллем (таблиця 1.4).

Метод Роквелла вирізняється простотою і високою продуктивністю, забезпечує збереження якісної поверхні після випробувань, дає змогу випробовувати метали і сплави як низької, так і високої твердості, за товщини виробу (шару) до 0,8 мм. Цей метод не рекомендується застосовувати для сплавів з неоднорідною структурою (чавуни сірі, ковкі та високоміцні).

Вимірювання алмазним конусом із навантаженням 60 кгс (HRA) застосовують для дуже твердих матеріалів (понад HRC 70), наприклад твердих сплавів, коли вдавнення алмазного конуса з великим навантаженням може спричинити вифарбовування алмазу, а також для вимірювання твердих поверхневих шарів (0,3-0,5 мм) або тонких пластинок.

Таблиця 1.4 - Співвідношення чисел твердості за Брінеллем і Роквеллом

За Роквеллом	За Брінеллем		За Роквеллом		За Брінеллем		За Роквеллом	За Брінеллем	
Шкала С	Д = 10 мм Р = 3000 кгс		С	В	Д = 10 мм Р = 3000 кгс		Шкала В	Д = 10 мм Р = 3000 кгс	
НРС	Діаметр відбитка d, мм	НВ	НРС	НРВ	Діаметр відбитка d, мм	НВ	НРВ	Діаметр відбитка d, мм	НВ
72	2,20	780	33	-	3,40	321	86	4,60	170
70	2,25	745	32	-	3,45	311	85	4,65	167
68	2,30	712	31	-	3,50	302	84	4,70	163
66	2,35	682	30	-	3,55	293	83	4,75	159
64	2,40	653	29	-	3,60	285	82	4,80	156
62	2,45	627	28	-	3,65	277	81	4,85	152
60	2,50	601	27	-	3,70	269	80	4,90	149
58	2,55	578	26	-	3,75	262	78	4,95	146
56	2,60	555	25	-	3,80	255	77	5,0	143
55	2,65	534	24	-	3,85	248	76	5,05	140
52	2,70	514	23	102	3,90	241	75	5,10	137
50	2,75	495	21	101	3,95	235	73	5,15	134
49	2,80	477	20	100	4,00	229	72	5,20	131
48	2,85	461	19	99	4,05	223	71	5,25	128
46	2,90	444	17	98	4,10	217	70	5,30	126
45	2,95	429	15	97	4,15	212	69	5,35	123
43	3,00	415	14	95	4,20	207	68	5,40	121
42	3,05	401	13	94	4,25	201	67	5,45	118
41	3,10	388	12	93	4,30	197	65	5,50	116
40	3,15	375	11	92	4,35	192	64	5,55	114
39	3,20	363	9	91	4,40	187	63	5,60	111
38	3,25	352	8	90	4,45	183	61	5,65	109
36	3,30	341	7	88	4,50	179	59	5,70	107
35	3,35	331	6	87	4,55	174	58	5,75	105

Сталевою кулькою з навантаженням 100 кгс (HRB) твердість визначають для м'якої (відпаленої) сталі або кольорових сплавів у деталях чи зразках завтовшки 0,8-2,0 мм, тобто за умов, коли вимірювання за Брінеллем, яке виконують кулькою великого діаметру, може спричинити зім'яття зразка.

Вимірювання алмазним конусом із навантаженням 150 кгс (HRC) проводять:

- для загартованої або низьковідпущеної сталі з твердістю понад 450 HB, тобто в умовах, коли вдавнення сталевої кульки (за Брінеллем або Роквеллом за шкалою В) у твердий матеріал може спричинити деформацію кульки і спотворення результатів;

- матеріалів середньої твердості (понад 230 HB) як більш швидким способом визначення, що залишає, крім того, менший слід на вимірюваній поверхні, ніж під час випробування за Брінеллем;

- визначення твердості тонких поверхневих шарів, але товщиною не менше 0,5 мм (наприклад, цементованого шару).

Форма звіту

До звіту мають бути включені відповіді на контрольні запитання, схема приладу Роквелла. Результати вимірювання твердості занести в таблицю 1.5.

Таблиця 1.5 - Протокол випробувань

№ п/п	Найменування матеріалу або деталі	Умови випробування	Твердість за Роквеллом HR				Відповідність твердості за Брінеллем, HB
			1-й замір	2-й замір	3-й замір	Середнє значення	
		P = кг, кулька або алмаз, шкала –					
		P = кг, кулька або алмаз, шкала –					

Контрольні питання

1. Що таке твердість?
2. Існуючі методи вимірювання твердості.
3. Яка приблизна залежність основних механічних властивостей від твердості?
4. На якому принципі здійснюються заміри твердості?

5. Як підбирається діаметр кульки для випробування на твердість за Брінеллем?
6. З яких міркувань обирається навантаження під час випробування на твердість за Брінеллем?
7. Розмірність твердості, заміряної за Брінеллем.
8. Позначення твердості, заміряної за Брінеллем.
9. У чому полягає принципова відмінність способів вимірювання твердості за Брінеллем і Роквеллом?
10. Чим пояснюється більш широке застосування способу Роквелла, ніж Брінелля?
11. Розмірність твердості, заміряної за Роквеллом.
12. Позначення твердості за Роквеллом.
13. У яких випадках застосовується твердосплавний конус або алмаз, а в яких - кулька?

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДО ТЕМИ I

1. Група металів, до якої належать залізо та його сплави:

- A) діамагнетики;
- B) метали з високою питомою міцністю;
- C) тугоплавкі;
- D) чорні.

2. Метал (сплав), який відносять до чорних:

- A) бабіт;
- B) дуралюмін;
- C) корозійностійка сталь;
- D) латунь.

3. Група металів, до якої належить вольфрам:

- A) актиноїди;
- B) благородні;
- C) рідкоземельні;
- D) тугоплавкі.

4. Група, у якій містяться тільки тугоплавкі метали:

- A) вольфрам, залізо;
- B) молібден, цирконій;
- C) нікель, алюміній;
- D) титан, актиній.

5. Речовина, яка не є металом:

- A) пластмаса;
- B) загартована сталь;
- C) бронза;

D) берилій.

6. Метод випробувань, який є структурним:

- A) випробування на розрив;
- B) вимірювання твердості;
- C) мікроаналіз;
- D) випробування на зварюваність.

7. Елементарна кристалічна решітка:

- A) тип кристалічної решітки, характерний для даного хімічного елемента;
- B) мінімальний об'єм кристалічної решітки, під час трансляції якого по координатних осях можна відтворити всю решітку;
- C) кристалічна комірка, що містить один атом;
- D) бездефектна (за винятком точкових дефектів) область кристалічної решітки.

8. Властивість, що полягає у здатності речовини існувати в різних кристалічних модифікаціях:

- A) поліморфізм;
- B) ізомерія;
- C) анізотропія;
- D) текстура.

9. Речовини, що мають анізотропію:

- A) парамагнетики;
- B) монокристали;
- C) речовини, що мають поліморфізм;
- D) переохолоджені рідини.

10. Метод випробувань, який є структурним:

- A) випробування на розрив;
- B) вимірювання твердості;
- C) макроаналіз;
- D) випробування на зварюваність.

11. Вид поверхні руйнування при втомному зламі:

- A) поверхня має волокнисту будову;
- B) поверхня гладка;
- C) поверхня має кристалічну будову;
- D) на поверхні є дві зони - з волокнистою і з кристалічною будовою.

12. Поверхня зламу, характерна для в'язкого руйнування:

- A) волокниста, матова;
- B) блискуча, кристалічна;

- С) дрібнокристалічна;
- Д) крупнокристалічна.

13. Структура металу, що забезпечує отримання високих механічних властивостей:

- А) дендритна;
- В) дрібнокристалічна;
- С) крупнокристалічна;
- Д) стовпчаста.

14. Мікроаналіз:

- А) візуальне дослідження;
- В) дослідження за допомогою мікроскопів;
- С) випробування на твердість;
- Д) дослідження за допомогою лупи.

15. Мікрошліф:

- А) зразок металу;
- В) поверхня зразка, підготовлена для дослідження мікроструктури;
- С) поверхня зразка, підготовлена для дослідження макроструктури;
- Д) поверхня зразка, підготовлена для вимірювання твердості.

16. Прилад, застосований для вивчення структури металів і сплавів:

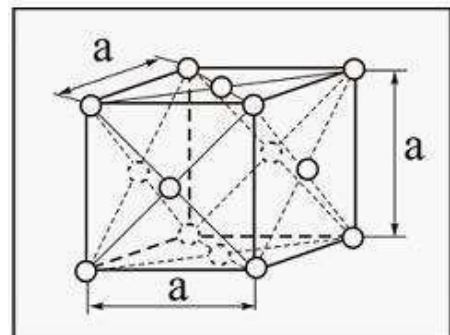
- А) мікроскоп;
- В) спектроскоп;
- С) структуроскоп;
- Д) телескоп.

17. Відмітна особливість кристалічного стану речовини:

- А) висока електропровідність;
- В) висока ковкість;
- С) наявність тільки ближнього порядку в розташуванні частинок;
- Д) наявність далекого порядку в розташуванні частинок.

18. Кристалічна решітка, елементарний осередок якої представлено на рисунку:

- А) гранецентрована кубічна;
- В) примітивна кубічна;
- С) об'ємно-центрована кубічна;
- Д) тетрагональна.



19. Дефект кристалічної решітки, що являє собою край зайвої напівплощини:

- A) двійник;
- B) границя зерна;
- C) дислокація;
- D) вакансія.

20. Лінійний дефект кристалічної решітки:

- A) дислокація;
- B) тріщина;
- C) границя зерна;
- D) вакансія.

21. Властивість, що полягає в залежності властивостей від напрямку в кристалі:

- A) анізотропія;
- B) алотропія;
- C) поліморфізм;
- D) ізомерія.

22. Характеристика решітки, що визначає число атомів, які перебувають на найменшій рівній відстані від даного атома:

- A) координаційне число;
- B) базис;
- C) параметр решітки;
- D) коефіцієнт компактності.

23. Установіть відповідність виду дефекту кристалічної решітки його назві:

Вид дефекту:

- 1) лінійний дефект;
- 2) точковий дефект;

Назва дефекту:

- A) вакансія;
- B) дислокація;
- C) домішковий атом;

1 - _____; 2 - _____.

24. Установіть відповідність назви металів їхньому місцю в класифікації:

Назва металу:

- 1) залізо;
- 2) алюміній;

Класифікація:

- A) благородний;
- B) чорний;
- C) кольоровий;

1 - _____; 2 - _____.

25. Доповніть:

Процес переходу металу з рідкого стану в твердий з утворенням

просторової кристалічної решітки
називається _____ .

26. Позначення на кресленні HRC 60 означає:

- A) твердість за Брінеллем;
- B) твердість за Роквеллом, виміряна алмазним конусом;
- C) ударна в'язкість;
- D) відносне звуження матеріалу при розтягуванні.

27. Індентор при вимірюванні твердості за методом Роквелла (шкала С):

- A) алмазна піраміда;
- B) сталевий конус;
- C) алмазний конус;
- D) сталева куля.

28. Розмірність твердості за Роквеллом:

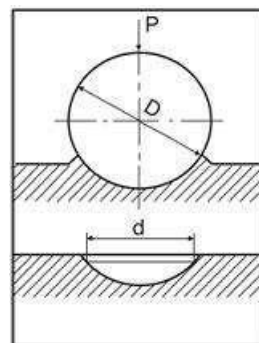
- A) кг/мм²;
- B) мм;
- C) кг/мм;
- D) твердість за Роквеллом - величина безрозмірна.

29. Позначення твердості за Віккерсом:

- A) HB;
- B) HRC;
- C) HV;
- D) HRA.

30. Метод вимірювання твердості, схема якого представлена на малюнку:

- A) Брінелля;
- B) Віккерса;
- C) Роквелла;
- D) Шора.



31. Одиниці вимірювання тимчасового опору (границі міцності):

- A) %;
- B) ампер;
- C) МПа;
- D) МДж/м².

32. Позначення ударної в'язкості:

- A) HV;

- B) HB;
- C) HRC;
- D) KCU.

33. Одиниці вимірювання твердості за Брінелем:

- A) мм;
- B) мм²;
- C) кг/мм;
- D) МПа.

34. Властивість матеріалу, що характеризує його опір пружному і пластичному деформуванню під час вдавнення в нього іншого, більш твердого тіла:

- A) витривалість;
- B) міцність;
- C) пружність;
- D) твердість.

35. Механічна властивість, що визначає здатність металу чинити опір деформації та руйнуванню під час статичного навантаження:

- A) міцність;
- B) твердість;
- C) ударна в'язкість;
- D) живучість.

36. Властивість, що полягає у здатності речовини існувати в різних кристалічних модифікаціях:

- A) алотропія;
- B) ізомерія;
- C) анізотропія;
- D) текстура.

37. Неоднорідність властивостей у різних напрямках готування:

- A) анізотропія;
- B) ліквация;
- C) строчковість;
- D) смугастість.

38. Причина, через яку не рекомендується проводити на приладі Брінелля дослідження зразків із твердістю вище 450 кг/мм²:

- A) вийде з ладу прес;
- B) потужність преса виявиться недостатньою для проведення випробування;
- C) через деформацію кульки результати випробування можуть виявитися неточними.

39. Шкала, яка використовується під час вимірювання твердості за Роквеллом металів і сплавів після хіміко-термічної обробки:

- A) A;
- B) B;
- C) C.

40. Шкала, яка використовується під час вимірювання твердості за Роквеллом незагартованих сталей:

- A) A;
- B) B;
- C) C.

41. Шкала, яка використовується при вимірі твердості за Роквеллом кольорових металів і сплавів:

- A) A;
- B) B;
- C) C.

42. Позначення на кресленні HRB 90:

- A) твердість за Брінеллем;
- B) твердість за Роквеллом, виміряна сталевією кулькою;
- C) ударна в'язкість;
- D) відносне звуження матеріалу при розтягуванні.

43. Ударна в'язкість:

- A) здатність матеріалу протистояти дії знакозмінних навантажень;
- B) здатність матеріалу чинити опір впровадженню іншого твердого тіла;
- C) здатність матеріалу чинити опір руйнуванню під дією динамічного навантаження;
- D) здатність матеріалу відновлювати первісну форму і колишні розміри після припинення дії сил, що викликали зміну форми і розмірів.

44. Пристрій, на якому визначають межу міцності (тимчасовий опір):

- A) твердомір;
- B) маятниковий копер;
- C) розривна машина;
- D) прес.

45. Установіть відповідність групи властивостей назві властивості:

- | <i>Група властивостей:</i> | <i>Назва властивості:</i> |
|------------------------------|---------------------------|
| 1) механічна властивість; | A) економічність; |
| 2) технологічна властивість; | B) міцність; |
| | C) зварюваність; |

1 - _____; 2 - _____.

46. Установіть відповідність методу вимірювання твердості позначенню твердості:

Метод вимірювання твердості:

Позначення:

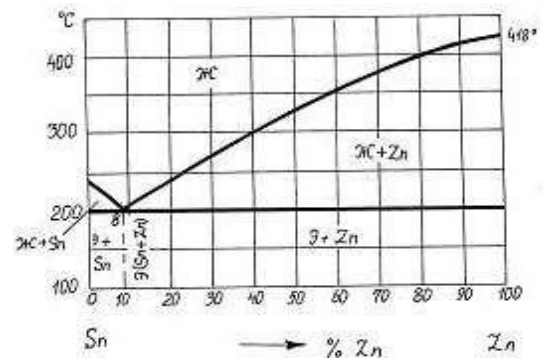
- 1) за Брінеллем;
2) за Роквеллом;

- A) HB;
B) HRC;
C) HV;

1 - _____; 2 - _____.

47. Фазовий склад сплаву, що містить 60 % Zn і 40 % Sn, за температури 300 °C:

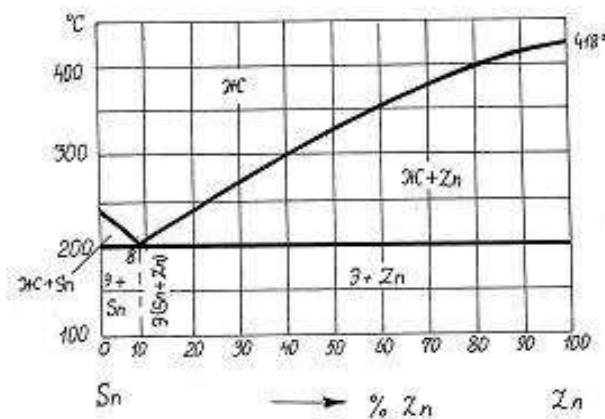
- A) евтектична суміш кристалів Zn і Sn;
B) рідка фаза і кристали Zn;
C) рідка фаза;
D) рідка фаза і кристали Sn.



48. Рівняння правила фаз (за постійного атмосферного тиску) має вигляд:

- A) $C = K + F - 1$;
B) $C = F + K + 1$;
C) $C = F - K + 1$;
D) $C = K - F + 1$.

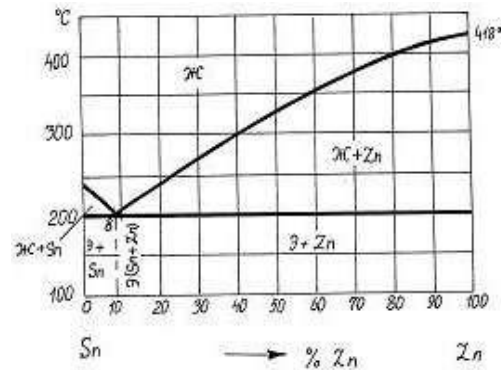
49. Фазовий склад сплаву, що містить 60 % Zn і 40 % Sn, за температури 400 °C:



- A) евтектична суміш суміш - суміш кристалів Zn і Sn;
B) рідка фаза і кристали Zn;
C) рідка фаза;
D) рідка фаза і кристали Sn.

50. Фазовий склад сплаву, що містить 60 % Zn і 40 % Sn, за температури 150 °C:

- A) евтектика і кристали Zn;
- B) рідка фаза і кристали Zn;
- C) рідка фаза;
- D) рідка фаза і кристали Sn.



51. Лінія початку кристалізації на діаграмах стану:

- A) ліквідус;
- B) солідус;
- C) евтектична лінія;
- D) перитектична лінія.

52. Лінія кінця кристалізації на діаграмах стану:

- A) ліквідус;
- B) солідус;
- C) евтектична лінія;
- D) перитектична лінія.

53. Евтектика:

A) речовина, що утворюється за деякого співвідношення компонентів і має кристалічну ґратку, відмінну від ґраток, які складають евтектику речовин;

- B) обмежений твердий розчин компонентів один в одному;
- C) необмежений твердий розчин компонентів один в одному;
- D) суміш двох (або більше) видів кристалів, що одночасно кристалізуються з рідини.

54. Температурні умови, за яких кристалізуються чисті метали:

A) залежно від природи металу температура може знижуватися в одних випадках, підвищуватися в інших і залишатися постійною в третіх;

- B) температура, що знижується;
- C) температура, що зростає;
- D) постійна температура.

55. Температурні умови, за яких кристалізуються евтектики у двокомпонентних сплавах:

- A) температура, що знижується;
- B) залежно від виду сплаву температура може зростати в одних випадках, знижуватися в інших і залишатися постійною в третіх;
- C) постійна температура;

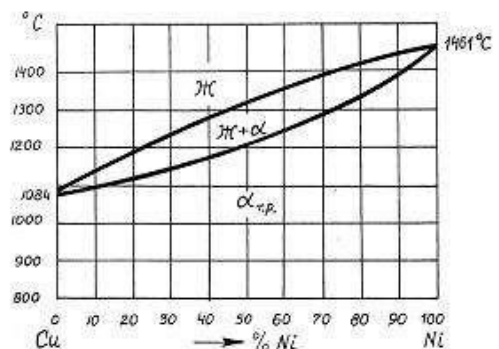
В) температура, що зростає.

56. Відмінність евтектоїдного перетворення від евтектичного полягає в тому, що:

- А) при евтектоїдному перетворенні виникають проміжні фази, при евтектичному - фізико-хімічні суміші;
- В) принципових відмінностей немає, це однотипні перетворення;
- С) при евтектоїдному перетворенні розпадається твердий розчин, при евтектичному - рідкий;
- Д) при евтектоїдному перетворенні з твердих розчинів виділяються вторинні кристали, при евтектичному - з рідини - первинні.

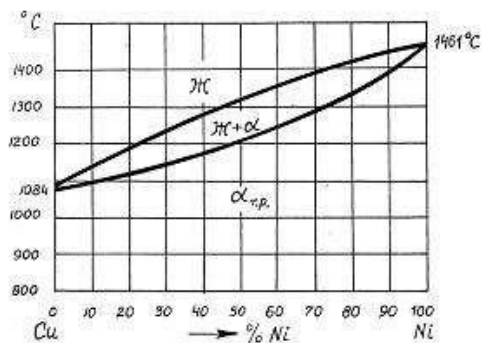
57. Фазовий склад сплаву, що містить 20 % Ni і 80 % Cu, за температури 1300 °С:

- А) твердий розчин нікелю в міді;
- В) рідка фаза (рідкий розчин нікелю в міді);
- С) рідка фаза і кристали твердого розчину нікелю в міді;
- Д) механічна суміш кристалів нікелю та міді.



58. Фазовий склад сплаву, що містить 30 % Ni і 70 % Cu, за температури 1200 °С:

- А) твердий розчин нікелю в міді;
- В) рідкий розчин нікелю в міді;
- С) рідка фаза і кристали твердого розчину нікелю в міді;
- Д) механічна суміш кристалів нікелю та міді.



59. Правило, за яким визначають склад і кількість фаз у двофазних областях діаграм рівноваги:

- А) Гіббса;
- В) відрізків;
- С) Курнакова;
- Д) фаз.

60. Координати, у яких будують діаграми стану двокомпонентних систем:

- А) швидкість охолодження-склад;
- В) температура-час;
- С) час-склад;
- Д) температура-склад.

ТЕМА2. СПЛАВИ НА ОСНОВІ ЗАЛІЗА. ВУГЛЕЦЕВІ СТАЛІ. ЧАВУНИ

План

- 2.1 Діаграма стану сплавів системи залізо - вуглець
- 2.2 Вуглецеві сталі. Вплив вуглецю та постійних домішок на властивості сталі.
- 2.3 Класифікація вуглецевих сталей
- 2.4 Чавуни.

2.1 Діаграма стану сплавів системи залізо - вуглець

Залізовуглецеві сплави - *сталі та чавуни* - найважливіші металеві сплави сучасної техніки. Діаграма стану залізо-вуглець дає основне уявлення про будову цих сплавів [1,2,3].

Найважливіші роботи з побудови цієї діаграми належать до останньої чверті ХІХ століття. Великий внесок у теорію питання внесли вчені Д.К. Чернов, О.О. Байков, французькі дослідники Ф. Осмонд, Ле-Шательє, голландці Г. Розебум, Робертс-Аустен та ін.

Діаграма залізо-вуглець, як зрозуміло з назви, повинна поширюватися від заліза до вуглецю.

Залізо утворює з вуглецем хімічну сполуку - цементит - Fe_3C .

Одне з положень теорії сплавів свідчить, що кожен стійку хімічну сполуку можна розглядати як *компонент* і діаграму можна розглядати по частинах.

Будемо розглядати тільки частину системи від заліза до хімічної сполуки Fe_3C . Це не тільки спрощує завдання знайомства з системою, але виправдано ще й тим, що на практиці застосовують металеві сплави із вмістом вуглецю не більше 5 % (цементит містить вуглецю 6,67 %).

Отже, розглядаючи діаграму залізо-вуглець на ділянці від заліза до цементиту, компонентами системи можна вважати залізо і цементит.

Залізо. Чисте залізо - сріблясто-світлий метал, що має температуру плавлення $1539\text{ }^{\circ}\text{C}$ і густину $7,86\text{-}103\text{ кг/м}^3$. Залізо має невисоку твердість і міцність і хорошу пластичність: $HV800\text{ МН/м}^2$; $\sigma_b \approx 250\text{ МПа}$; $\delta = 50\text{ \%}$. Залізо має кілька алотропічних форм, які показані на кривій охолодження (рисунок 1.19). В інтервалах температур $1539\text{-}1392\text{ }^{\circ}\text{C}$ і нижче $911\text{ }^{\circ}\text{C}$ існує α -залізо з об'ємно-центрованою кубічною решіткою. В інтервалі температур від 1392 до $911\text{ }^{\circ}\text{C}$ існує γ -залізо з гранецентрованою кубічною решіткою.

Залізо з багатьма елементами утворює розчини: з металами - розчини заміщення; з вуглецем, азотом і воднем - розчини впровадження.

Розчинність вуглецю в залізі істотно залежить від того, в якій кристалічній формі існує залізо. Розчинність вуглецю в α -залізі мізерно мала (менш як 0,02 % у низькотемпературному фериті та близько 0,1 % у високотемпературному фериті) і значно більша (до 2 %) у γ -залізі.

Твердий розчин вуглецю та інших елементів в α -залізі називається **феритом**, а в γ -залізі - **аустенітом**.

Атом вуглецю розташовується в решітці фериту в центрі грані куба, де поміщається сфера радіусом 0,29 атомного радіуса заліза, а також у вакансіях, на дислокаціях тощо. Під мікроскопом ферит виявляється у вигляді однорідних поліедричних зерен. Ферит (при 0,006 % C) має приблизно такі механічні властивості: $HV\ 800-900\ \text{Мн/м}^2$; $\sigma_b = 250\ \text{МПа}$; $\delta = 50\ \%$; $\varphi = 80\ \%$.

Атом вуглецю в решітці γ -заліза розташовується в центрі елементарного осередку, в якому може поміститися сфера радіусом 0,41 атомного радіуса заліза, і в дефектних областях кристала. Аустеніт має високу пластичність, низькі межі плинності та міцності. Мікроструктура аустеніту - поліедричні зерна.

Цементит. Цементит - це хімічна сполука заліза з вуглецем - карбід заліза Fe_3C . У цементиті міститься 6,67 % вуглецю. Має складну ромбічну решітку зі щільним пакуванням атомів. Температура плавлення цементиту точно не визначена у зв'язку з можливістю його розпаду і приймається приблизно рівною 1250 °C (за деякими даними - 1500 °C). До температури 210 °C цементит феромагнітний. Він має високу твердість ($HV\ 1000$) і дуже малу пластичність.

Цементит - сполука нестійка і за певних умов розпадається з утворенням вільного вуглецю у вигляді графіту. Цей процес має важливе практичне значення для високовуглецевих сплавів - *чавунів*.

Діаграма стану

Діаграму стану системи сплавів залізо-вуглець в інтервалі концентрацій від заліза до цементиту представлено на рисунку 2.2. Вісь абсцис (концентраційна) на цьому малюнку подвійна: вміст вуглецю і вміст цементиту.

Лінія ABCD є *ліквідусом* системи, лінія ANJESF - *солідусом*. Оскільки залізо, окрім того що утворює з вуглецем хімічну сполуку Fe_3C , має дві алотропічні форми α і γ , то в системі існують такі *фази*:

◆ *рідина* (L) - (рідкий розчин вуглецю в залізі), що існує вище лінії ліквідус;

◆ *цементит* Fe_3C (Ц) - лінія DFKL;

◆ *ферит* (Ф, іноді α) - твердий розчин вуглецю в α -залізі.

Область фериту в системі залізо-вуглець розташована лівіше від ліній GPQ і ANH;

◆ *аустеніт* (А, іноді γ) - твердий розчин вуглецю в γ -залізі.

Область аустеніту на діаграмі - NJESG.

Три горизонтальні лінії на діаграмі (HJB, ECF, PSK) вказують на перебіг трьох нонваріантних реакцій.

При 1499 °C (лінія HJB) протікає перитектична реакція



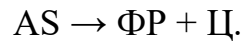
У результаті перитектичної реакції утворюється аустеніт. Реакція ця спостерігається тільки у сплавів, що містять вуглецю від 0,1 до 0,5 %.

При 1147 °С (горизонталь ECF) протікає евтектична реакція



У результаті цієї реакції утворюється евтектична суміш. Евтектична суміш аустеніту і цементиту називається *ледебуритом*. Реакція ця відбувається у всіх сплавів системи, що містять вуглецю понад 2,14 %.

При 727 °С (горизонталь PSK) протікає евтектоїдна реакція



Продуктом перетворення є евтектоїдна суміш. Евтектоїдна суміш фериту і цементиту називається *перлітом*.

У всіх сплавів, що містять понад 0,02 % С, тобто практично у всіх промислових залізобуглецевих сплавів, відбувається перлітне (евтектоїдне) перетворення.

Розрізняють три групи сталей:

- *евтектоїдні*, що містять близько 0,8 % С, структура яких складається тільки з перліту);
- *доевтектоїдні*, що містять менше 0,8 % С, структура яких складається з фериту і перліту);
- *заевтектоїдні*, що містять від 0,8 до 2,14 % С, структура яких складається з перліту і цементиту.

Області існування різних структур показано на діаграмі стану Fe-C. Незважаючи на видиму складність структурних форм, особливо у високовуглецевих сплавів, слід зазначити, що всі області діаграми є однофазними або двофазними.

Зокрема, в ділянці SEFK є дві фази - аустеніт і цементит, а в ділянці PKLQ - ферит і цементит, які утворюють різні структурні складові, як зазначено на діаграмі.

Під час вивчення діаграми *залізо-вуглець* заведено позначати критичні температури (точки) літерою А. Нижня критична точка, що позначається А₁, лежить на лінії PSK і відповідає рівноважному перетворенню аустеніт ↔ перліт. Верхня критична точка А₃ лежить на лінії GSE і відповідає початку випадання або кінця розчинення фериту в доевтектоїдних сталях або вторинного цементиту в заевтектоїдних сталях.

Щоб відрізнити критичну точку під час нагрівання від критичної точки під час охолодження, поруч із літерою А ставлять літеру *s* у першому випадку і *r* - у другому.

Отже, критична точка перетворення аустеніту в перліт позначається Ar₁, а перліту в аустеніт - As₁; початок виділення фериту з аустеніту позначається Ar₃; кінець розчинення фериту в аустеніті - As₃. Початок виділення вторинного цементиту з аустеніту позначається також Ar₃, а кінець розчинення вторинного цементиту в аустеніті - As₃ (цю точку часто позначають As_m)..

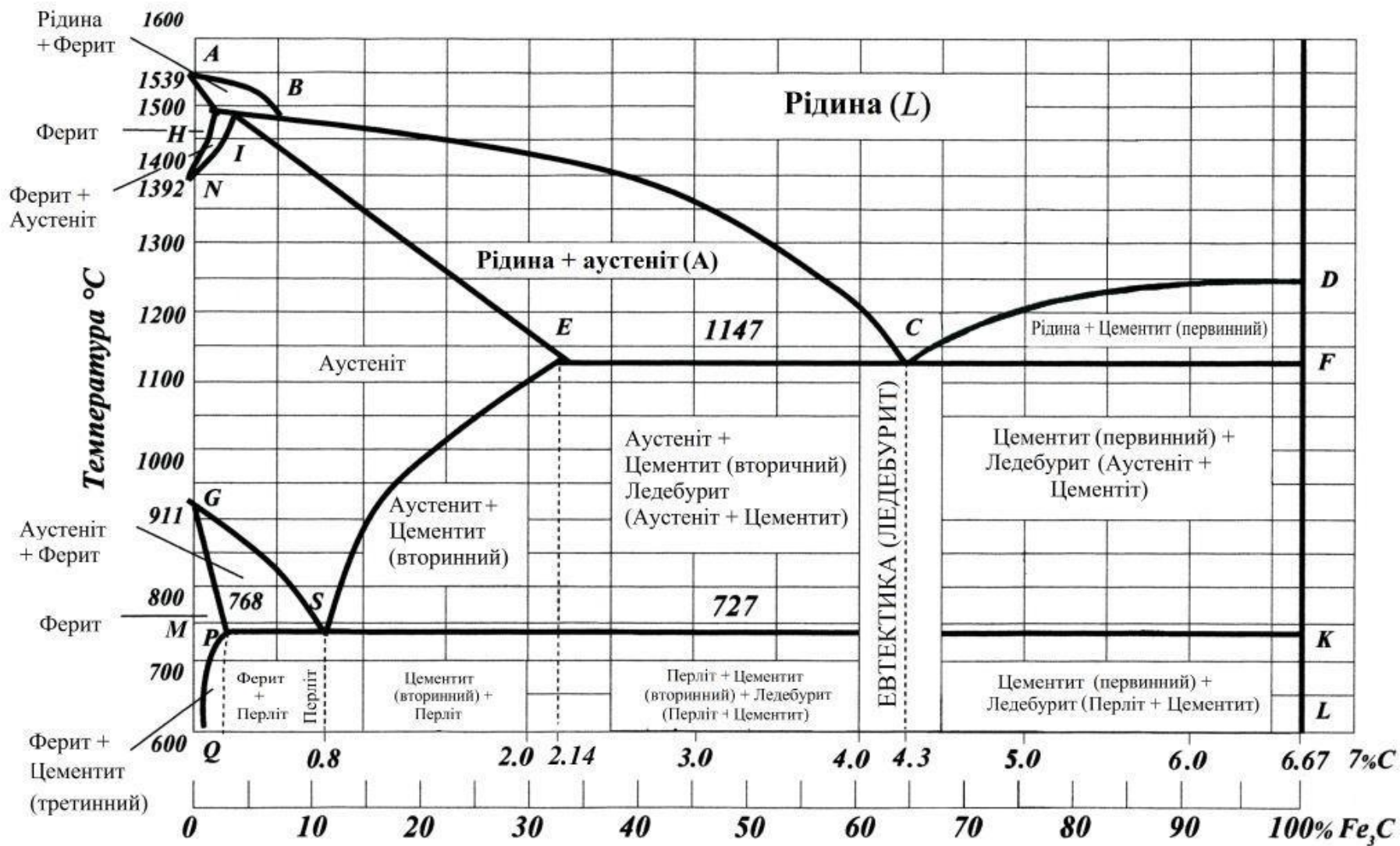


Рисунок 2.1 - Діаграма стану сплавів системи залізо-вуглець

Розглянуті рівноважні перетворення залізовуглецевих сплавів відбуваються під час безперервного і повільного охолодження (разом із піччю).

2.2 Вуглецеві сталі. Вплив вуглецю і постійних домішок на властивості сталі

Основною продукцією чорної металургії є сталь, причому приблизно 90 % виготовляють з вуглецевої сталі і 10 % легованої.

Вуглецева сталь є багатокомпонентним сплавом, що містить вуглець і низку постійних або немінучих домішок (Mn, Si, S, O, H та ін.), які впливають на її властивості. Присутність цих домішок пояснюється труднощами видалення частини з них під час виплавки (S, P), переходом їх у сталь у процесі розкислення (Mn, Si) або з шихти - легованого металевого брухту (Cr, Ni та ін.). Ці ж домішки, але у великих кількостях, присутні і в чавунах.

Вплив вуглецю і постійних домішок на властивості сталі

Структура сталі після повільного охолодження складається з двох фаз - фериту і цементиту. Кількість цементиту зростає в сталі прямо пропорційно вмісту вуглецю.

Частинки цементиту підвищують опір руху дислокацій, тобто підвищують опір деформації і, крім того, зменшують пластичність і в'язкість. Внаслідок цього зі збільшенням у сталі вмісту вуглецю зростає твердість, тимчасовий опір, границя текучості, зменшуються відносне подовження, відносне звуження та ударна в'язкість.

Зі збільшенням вмісту вуглецю в сталі знижується щільність, зростають електроопір і коерцитивна сила, зменшуються теплопровідність і магнітна проникність.

Марганець і кремній - корисні домішки. Марганець усуває шкідливу дію сірки, утворюючи сірчистий марганець (MnS), значна кількість якого спливає і видаляється разом зі шлаком. До того ж сірчистий марганець менш шкідливий, ніж сірчисте залізо. Марганець і кремній розчиняються у фериті, підвищуючи його міцність. Вуглецеві сталі містять близько 0,8 % Mn і 0,5 % Si.

Сірка і фосфор - шкідливі домішки. Вони потрапляють у сталь із вихідною сировиною.

Сірка утворює із залізом сполуку FeS і евтектику Fe-FeS з температурою плавлення 988 °C. Під час нагрівання сталі для пластичної деформації до температур вище за 1000 °C ця евтектика, що розташовується на кордонах зерен, плавиться і надає сталі червоноломкості, тобто більшої крихкості. Вміст сірки в сталях допускають не більше 0,05 %.

Фосфор розчиняється у фериті й різко знижує його пластичність за низьких температур, тобто викликає холодноломкість. Має велику схильність до ліквідації, створюючи крихкі ділянки, багаті фосфором. Вміст його у вуглецевій сталі допускається до 0,05 %.

Азот (N_2) **і кисень** (O_2) присутні в сталі у вигляді крихких неметалевих включень (наприклад, оксидів FeO , SiO_2 , Al_2O_3 , нітридів Fe_4N та ін.), як тверді розчини або у вільному вигляді. Вони розташовуються в дефектних ділянках металу (раковинах, тріщинах тощо). Нітриди й оксиди, виділяючись по границях зерен, підвищують поріг холодноламкості та знижують опір крихкому руйнуванню.

Дуже шкідливим є розчинений у металі **водень**, який сильно окрихчує сталь. Поглинений під час виплавки сталі він не тільки окрихчує сталь, а й призводить до утворення в катаних заготовках флокенів (від нім. Flocken — пластівці).

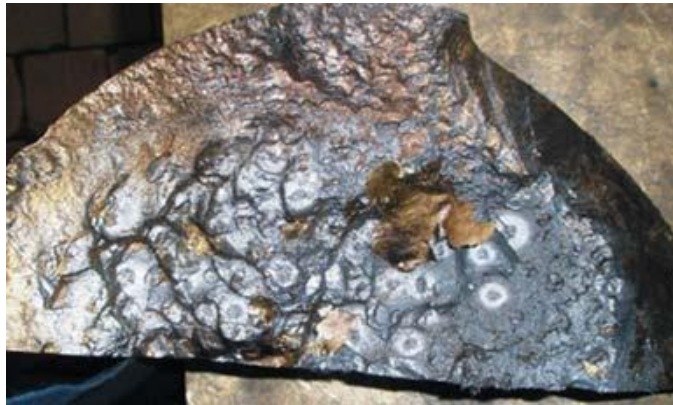


Рисунок 2.2 – Флокени

Флокени являють собою дуже тонкі тріщини овальної або округлої форми, що мають у зламі вигляд плям - пластівців сріблястого кольору. Флокени різко погіршують властивості сталі.

Радикальним засобом зменшення вмісту зазначених елементів у сталі є виплавка або розливання металу у вакуумі. Вакуумований метал має більш високі властивості внаслідок високої чистоти за неметалевими включеннями і відсутністю розчинених газів.

2.3 Класифікація вуглецевих сталей

Вуглецеві сталі класифікують за вмістом вуглецю, призначенням, якістю, ступенем розкислення і структурою в рівноважному стані.

► *За вмістом вуглецю* сталі поділяють на:

- низьковуглецеві ($0,3 \% < C$);
- середньовуглецеві ($0,3-0,7 \% C$);
- високовуглецеві ($C > 0,7 \%$).

► *За призначенням* сталі класифікують на конструкційні та інструментальні.

▪ **Конструкційні сталі** становлять найбільшу групу, призначену для виготовлення будівельних споруд, деталей машин і приладів. До цих сталей відносять цементовані, поліпшувані, високоміцні та ресорно-пружинні.

- **Інструментальні сталі** поділяють на сталі для різального, вимірювального інструменту, штампів холодного і гарячого деформування.

► *За якістю* сталі підрозділяють на сталі:

- звичайної якості;
- якісні;
- високоякісні.

Під **якістю** сталі розуміється сукупність властивостей, що визначаються металургійним процесом її виробництва. Норми вмісту шкідливих домішок слугують основними показниками для поділу сталей за якістю. Сталі звичайної якості містять до 0,06 % S і 0,07 % P, якісні - не більше 0,04 % S і 0,035 % P, високоякісні - не більше 0,025 % S і 0,025 % P. Сталі звичайної якості бувають тільки вуглецевими (до 0,5 % C), якісні та високоякісні - вуглецевими і легованими.

► *За ступенем розкислення* сталі класифікують на:

- спокійні;
- напівспокійні;
- киплячі.

Розкислення - процес видалення з рідкого металу кисню й оксидів, що проводиться з метою запобігання крихкому руйнуванню сталі під час гарячої деформації.

Спокійні сталі розкислюють марганцем, кремнієм, алюмінієм. Вони містять мало кисню і тверднуть спокійно без газовиділення.

Киплячі сталі розкислюють марганцем. Перед розливанням у них міститься підвищений вміст кисню, який під час затвердіння злитка або виливки частково взаємодіє з вуглецем і видаляється у вигляді CO. Виділення бульбашок CO створює враження кипіння сталі, з чим і пов'язана її назва. Киплячі сталі досить дешеві, їх виробляють низьковуглецевими і практично без кремнію ($Si < 0,07\%$), але з підвищеною кількістю газових домішок.

Напівспокійні сталі за ступенем розкислення займають проміжне становище між спокійними і киплячими.

Леговані сталі виробляють спокійними, вуглецеві - спокійними, напівспокійними і киплячими.

► *За структурою в рівноважному стані* сталі діляться на:

- доевтектоїдні (у структурі - ферит і перліт);
- евтектоїдні (перліт);
- заевтектоїдні (перліт і цементит вторинний).

Вуглецеві сталі звичайної якості

Сталі звичайної якості (ГОСТ 380-2005) випускають у вигляді прокату (прутки, балки, листи, куточки, швелери тощо) в нормалізованому стані та залежно від призначення і комплексу властивостей підрозділяють на групи: А, Б, В.

Група А - це сталі, що поставляються за механічними властивостями без уточнення їхнього хімічного складу. Їх позначають літерами Ст (сталь) і цифрами, що позначають порядковий номер сталі, - 0, 1, 2, 3, ..., 6 (тобто Ст0, Ст1, Ст2, ..., Ст6). Що більша цифра, то більший вміст вуглецю і, отже, вища міцність і нижча пластичність.

Сталі групи А використовують у стані поставки для виробів, виготовлення яких не супроводжується гарячою обробкою. У цьому випадку вони зберігають структуру нормалізації та механічні властивості, гарантовані складом.

Група Б - це сталі, що поставляються з гарантованим хімічним складом, в позначенні марки сталей попереду ставиться буква Б (в основному регламентується вміст С, Mn, Si) - БСт0, БСт1, ..., БСт6. Механічні властивості при цьому не гарантуються. Чим більше число в марці, тим вищий вміст С і Mn.

Сталі цієї групи застосовують для виробів, що виготовляються із застосуванням гарячої обробки. Для таких сталей важливі відомості про хімічну підвищену якість. Їх постачають із гарантованим складом, необхідним для визначення режиму гарячої обробки.

Група В - це сталі з хімічним складом і механічними властивостями. В позначенні марки вводиться буква В (ВСт1, ..., ВСт5). Сталі групи В дорожчі, ніж сталі груп А і Б, їх застосовують для відповідальних деталей (для виробництва зварних конструкцій). У цьому разі важливо знати вихідні механічні властивості сталі, оскільки вони зберігаються незмінними на ділянках, що не піддаються нагріванню під час зварювання. Для оцінки зварюваності важливі відомості про хімічний склад.

При маркуванні сталей звичайної якості ступінь розкислення позначається додаванням індексів: у спокійних сталях – «сп», напівспокійних – «нс», киплячих – «кп», наприклад, Ст3сп, БСт3нс або ВСт4кп. Спокійними і напівспокійними виробляють сталі Ст1-Ст6, киплячими - Ст1-Ст4 всіх груп. Сталь Ст0 за ступенем розкислення не поділяють.

Вуглецеві сталі звичайної якості (всіх трьох груп) призначені для виготовлення різних металокопункцій, а також слабонавантажених деталей машин і приладів. Здатністю до зварювання і до холодної обробки тиском відповідають сталі груп Б і В номерів 1-4, тому з них виготовляють зварні ферми, різноманітні рами і будівельні металокопункції.

Сталі номерів 5 і 6, що володіють більшою міцністю, призначаються для рейок, залізничних коліс, а також валів, шківів, шестерень та інших деталей вантажопідіймальних машин, деякі деталі з цих сталей груп Б і В піддаються термічній обробці - загартуванню з подальшим високим відпуском.

До недоліків вуглецевих сталей звичайної якості можна віднести те, що вони часто не забезпечують необхідних якостей по холодостійкості. Істотним їхнім недоліком є і їхня мала міцність, що призводить до великої витрати металу і збільшення маси металокопункцій. Вирішуються ці проблеми

шляхом термічного зміцнення вуглецевих сталей і застосування низьколегованих сталей.

Вуглецеві якісні сталі

Якісні вуглецеві сталі виплавляють із дотриманням більш суворих умов щодо складу шихти і ведення плавки та розливання. До них висувають вищі вимоги за хімічним складом: вміст сірки не більш як 0,04 %, фосфору - 0,035 %, а також меншу кількість неметалевих включень, регламентовані макро- і мікроструктура. Маркують ці сталі (ГОСТ 1050-88) двозначними цифрами 05, 08, 10, 15, 20-75, 80, 85, що позначають середній вміст вуглецю в сотих частках відсотка. Наприклад, сталь 20 містить у середньому 0,20 % С, сталь 70 - 0,70 % С тощо.

Спокійні сталі маркують без індексу, напівспокійні та киплячі - з індексом відповідно «нс» і «кп». Киплячі сталі виробляють марок 05кп, 08кп, 10кп, 15кп, 20кп, напівспокійні – 08нс, 10нс, 15нс, 20нс.

Якісні сталі широко застосовуються в машинобудуванні та приладобудуванні, оскільки за рахунок різного вмісту вуглецю в них, а відповідно і термічної обробки, можна отримати широкий діапазон механічних і технологічних властивостей.

Низьковуглецеві сталі 05кп, 08кп, 10кп, 15кп, 20кп відрізняються малою міцністю і високою пластичністю в холодному стані. Ці сталі виробляють в основному у вигляді тонкого листа і використовують після відпалу або нормалізації для холодного штампування з глибоким витягуванням. Глибока витяжка з листа цих сталей застосовується під час виготовлення консервних банок, емальованого посуду та інших промислових виробів.

Спокійні сталі 08, 10 застосовують у відпаленому стані для конструкцій невисокої міцності - виготовлення ємностей, труб тощо.

Сталі 10, 15, 20 і 25 також належать до низьковуглецевих сталей, вони пластичні, добре зварюються і штампуються. Для збільшення поверхневої міцності цих сталей їх цементують (насичують поверхню вуглецем) і застосовують для виготовлення деталей невеликого розміру, наприклад, слабконавантажених зубчастих коліс, кулачків тощо.

Поверхневий шар із покриттям можна зміцнити загартуванням у воді з подальшим низьким відпуском. Серцевина ж через низьку прожарюваність цих сталей практично не зміцнюється.

Середньовуглецеві сталі 30, 35, 40, 45 і 50 у нормалізованому стані відрізняються підвищеною міцністю, але меншою в'язкістю і пластичністю. Залежно від умов роботи деталей із цих сталей до них застосовують різні види термічної обробки: нормалізацію, поліпшення, загартування з низьким відпуском, загартування ТВЧ тощо. Ці сталі застосовують для виготовлення невеликих валів, шатунів, зубчастих коліс і деталей, що зазнають циклічних навантажень. У великогабаритних деталях великих перетинів через погану прожарюваність механічні властивості значно знижуються.

Високовуглецеві сталі 60, 65, 70, 80 і 85 використовують здебільшого для виготовлення пружин, ресор, високоміцного дроту та інших виробів з високою пружністю і зносостійкістю. Їх піддають загартуванню і середньому відпуску на структуру троостит.

Оброблюваність різанням. Автоматні сталі

Більшість деталей, за винятком тих, що отримують з листа, тонкого дроту або каліброваних прутків, виготовляють *обробкою різанням*, хоча в даний час явно намічається тенденція переходу на інші безстружкові методи виготовлення деталей.

Поліпшення оброблюваності сталі - основного конструкційного матеріалу - має дуже важливе практичне значення.

Питання про зв'язок оброблюваності зі структурою і складом сталі теоретично ще повністю не вивчене.

Приблизно можна вважати, що підвищення твердості або міцності знижує оброблюваність (яка визначається за швидкістю різання) і в першому наближенні навіть мало залежить від складу сталі.

Однак за однакового значення твердості відмінності в структурі та складі можуть зумовити значні відмінності в оброблюваності.

Велике значення має теплопровідність сталі. Сталі з аустенітною структурою мають малу теплопровідність. Тепло, що виділяється під час різання, мало поглинається виробом, а здебільшого концентрується в точках різання і розігріває ріжучу кромку інструменту, що знижує його стійкість. Тому, незважаючи на низьку твердість, аустенітні сталі обробляються погано.

Розмір зерна в сталі, не впливаючи помітно на твердість, істотно впливає на оброблюваність. Грубозерниста сталь, маючи знижену в'язкість, краще обробляється різанням. Знижена в'язкість створює так звану «обробну крихкість», сприяє легшому відділенню й отриманню сипучої, недовгої стружки.

Щодо впливу складу сталі слід зазначити, що збільшення вмісту вуглецю в сталі внаслідок зміцнення призводить до зниження оброблюваності. Проте дуже низьковуглецеві сталі і технічне залізо обробляються погано внаслідок їхньої великої в'язкості та пластичності, крім того, під час їхньої обробки отримують довгу стружку, яка важко видаляється.

Особливу увагу слід звернути на вплив фосфору і сірки. Обидва ці елементи не тільки підвищують стійкість інструменту, а й сприяють отриманню обробленої поверхні кращої якості. Тому для виготовлення маловідповідальних деталей застосовують так звані автоматні сталі - низьковуглецеві сталі з підвищеним вмістом S і P. До недоліків сірчанофосфористих сталей відносяться не тільки знижена пластичність і в'язкість, а й підвищена схильність до корозії. Крім сірки, покращують оброблюваність сталі селен і телур. Автоматні сталі маркують буквою А (автоматна) і цифрами, що показують середній вміст вуглецю в сотих частках

відсотка (ГОСТ 1414-75). Якщо автоматна сталь легована свинцем, то позначення марки починається з поєднання букв «АС» (АС14).

Краще за всіх обробляється сіркофосфориста сталь А12 (0,08-0,16 % С; 0,7-1,0 % Мп; 0,15-0,35 % Si; 0,08-0,20 % S; 0,08-0,20 % Р).

З неї виготовляють невідповідальні деталі масового виробництва.

2.4 Чавуни

Чавуни - дешевший матеріал, ніж сталі. Вміст вуглецю в них більше 2,14 %. Вони мають знижену температуру плавлення і хороші ливарні властивості. Завдяки цьому з чавунів можна робити виливки складнішої форми, ніж зі сталей. Ливарні властивості сплавів тим вищі, чим менший їхній температурний інтервал концентрації. Отже, найвищими ливарними властивостями володіють сплави, що зазнають евтектичного перетворення. Завдяки поєднанню високих ливарних властивостей, достатньої міцності, зносостійкості, а також відносній дешевизні чавуни широко застосовуються в машинобудуванні. Деталі машин, отримані з чавунних виливків, значно дешевші, ніж деталі, виготовлені обробкою різанням з гарячекатаних сталевих профілів або з поковок і штампвок. Хороша рідинна плинність чавунів і їхня здатність до утворення малої усадочної раковини дають змогу одержувати з них досить якісні виливки складної форми навіть за малої товщини стінок.

Значна частина чавуну, що виплавляється, переплавляється в сталь за класичною схемою руда-чавун-сталь. У процесі переплавки з чавуну шляхом окислення видаляється деяка кількість сірки і фосфору.

Залежно від того, в якому вигляді і формі присутній вуглець у сплавах, розрізняють:

- білі;
- сірі;
- високоміцні;
- ковкі чавуни.

Білі чавуни

Таку назву вони отримали за видом зламу, який має матово-білий колір. Весь вуглець у цьому чавуні перебуває у зв'язаному стані у вигляді цементиту. Фазові перетворення в сплавах протікають згідно з діаграмою стану Fe-C (див. рисунок 3.1). Білі чавуни залежно від вмісту вуглецю можуть бути:

- ◆ доевтектичними (перліт + ледебурит + цементит вторинний);
- ◆ евтектичними (ледебурит);
- ◆ заевтектичними (ледебурит + цементит первинний).

Ці чавуни мають велику твердість (НВ 450-550) через присутність у них великої кількості цементиту; як наслідок цього, вони дуже крихкі і для виготовлення деталей машин не використовуються. Виливки з білого чавуну

служать для отримання за допомогою графітуючого відпалу деталей з ковкого чавуну.

Вибілені чавуни-виливки мають поверхневі шари (12-30 мм) зі структурою білого чавуну, а серцевина - сірого чавуну. Висока твердість поверхні такої вилівки дає змогу їй добре працювати проти стирання. Ці властивості вибіленого чавуну застосовують для виготовлення валків листових прокатних станів, коліс, куль для млинів, гальмівних колодок і багатьох інших деталей, що працюють в умовах зносу.

Вибілені чавуни-виливки мають поверхневі шари (12-30 мм) зі структурою білого чавуну, а серцевина - сірого чавуну. Висока твердість поверхні такої вилівки дає змогу їй добре працювати проти стирання. Ці властивості вибіленого чавуну застосовують для виготовлення валків листових прокатних станів, коліс, куль для млинів, гальмівних колодок і багатьох інших деталей, що працюють в умовах зносу.

Розрізняють також половинчастий чавун, у якому більша частина вуглецю (~ 0,8 %) перебуває у вигляді цементиту, а частина - у вільному вигляді - у вигляді графіту. Структура такого чавуну - перліт, ледебурит і пластинчастий графіт.

Сірі чавуни

Таку назву чавуни отримали за видом зламу, який має сірий колір. У структурі сірого чавуну (як і в структурі високоміцного і ковкого) практично весь вуглець перебуває у вільному стані - у вигляді графіту. У сірому чавуні графітові включення мають форму пластин.

Кристалізація графіту в сплавах заліза з вуглецем називається графітацією. Графіт може кристалізуватися з рідкої фази під час затвердіння чавуну і з твердої фази - аустеніту під час охолодження.

Процес графітації чавуну підпорядковується загальним законам кристалізації і зводиться до утворення центрів графітації і до зростання утворених зародків графіту. Для утворення зародків графіту потрібна значна дифузія атомів вуглецю. Це процес, що повільно протікає, оскільки необхідна ще самодифузія атомів заліза - відведення цих атомів від фронту кристалізації графіту.

Цементит менш стійка фаза, ніж графіт, і за високої температури розпадається $Fe_3C = 3Fe + C$. Якщо не створювати спеціальних умов кристалізації, з рідкого розплаву краще виділяється суміш цементиту з аустенітом. На процес графітації впливає хімічний склад, швидкість охолодження і наявність нерозчинних включень.

При повільному охолодженні графітація відбувається легше і повніше. Тому в тонких перерізах, де охолодження протікає швидше, графітація ускладнена.

Оскільки структура чавуну складається з металевої основи і графіту (у вигляді пластин), то і властивості його залежатимуть від цих двох складових.

Графіт порівняно зі сталями має низькі механічні властивості і тому в деякому наближенні можна вважати, що місця, які він займає, - це

порожнеча. Кількісне співвідношення основи і пустот впливає на механічні властивості чавуну, і зі збільшенням останніх властивості різко погіршуються. Що грубіші включення графіту, то, отже, більше роз'єднана металева основа, що негативно позначається на властивостях чавуну.

Сірі чавуни є сплавами складного складу, що містять залізо, вуглець, кремній, марганець, сірку, фосфор. Фосфор частково розчиняється у фериті і, крім того, входить до потрійної евтектики (Fe-C-P) з температурою плавлення 950 °С; це істотно покращує ливарні властивості чавуну. Ця евтектика дуже тверда і крихка, що збільшує зносостійкість, а хороші ливарні властивості використовуються і в художньому литті (до 1 % С).

Сірка - шкідлива домішка, знижує механічні та ливарні властивості чавунів і підвищує схильність до утворення тріщин.

Кремній входить до складу сірих чавунів (1-3 % С) як основний елемент і має сильну графітізуючу дію; збільшує виділення графіту під час затвердіння і розкладання цементиту, що виділився.

Марганець (0,2-1,1 % С) позитивно впливає на механічні властивості чавуну, але ускладнює процес графітізації або сприяє його відбілюванню. Таким чином, можна сказати, що ступінь графітізації безпосередньо залежить від кількості вуглецю (2,2-3,7 % С) і кремнію (1-3 % С) у чавуні.

► За структурою металевої основи сірі чавуни поділяють на три види.

1. Сірий перлітний зі структурою перліт + графіт (кількість зв'язаного вуглецю становить 0,8%).
2. Сірий ферито-перлітний із структурою ферит + перліт + графіт (кількість зв'язаного вуглецю < 0,8 %).
3. Сірий феритний зі структурою ферит + графіт (весь вуглець знаходиться у вигляді графіту).

Отже, механічні властивості сірого чавуну залежать від властивостей металевої основи та кількості, форми і розмірів графітних включень.

Марка сірого чавуну складається з літер СЧ (сірий чавун) та числа, що показує значення тимчасового опору при розтягуванні (кгс/мм²). Показниками механічних властивостей сірих чавунів відповідно до ГОСТ 1412-85 є міцність при статичному розтягуванні (таблиця 3.1).

Таблиця 2.1 – Механічні властивості сірих чавунів

Чавун	σ_b , МПа	НВ	Структура металевої основи
СЧ 15	150	163...229	Ферит
СЧ 25	250	180...250	Ферит + перліт
СЧ 40	400	207...285	Перліт
СЧ 45	450	229...289	Перліт

Графіт сприяє подрібненню стружки при обробці різанням і змащує дію, що підвищує зносостійкість чавуну.

Сірий чавун широко застосовується в автотракторному та сільськогосподарському машинобудуванні. Номенклатура виливків із сірого чавуну та їх маса різноманітні: від деталей у кілька грамів до 100 т і більше.

Феритні сірі чавуни марки СЧ 10, СЧ 15 використовуються для слабо-і середньонавантажених деталей: кришки, фланці, маховики, супорти, гальмівні барабани, диски зчеплення і т.д.

Ферито-перлітні сірі чавуни марки СЧ 20, СЧ 25 застосовуються для деталей, що працюють при підвищених статичних та динамічних навантаженнях: картери двигуна, поршні циліндрів, барабани зчеплення, станини верстатів та ін.

Перлітний чавун застосовують для відливання станин потужних верстатів та механізмів. Часто використовують перлітні сірі модифіковані чавуни, у яких завдяки проведеній модифікації лусочки графіту мають дрібнішу, завихрену форму, що збільшує міцність чавуну. Такі чавуни отримують при додаванні до рідкого чавуну спеціальних добавок-модифікаторів – феросиліцію або силікокальцію. До модифікованих чавунів відносяться чавуни СЧ 40 та СЧ 45. Ці марки чавунів застосовуються для виготовлення корпусів насосів, компресорів та гідроприводів.

Для деталей, що працюють при підвищених температурах, застосовують леговані сірі чавуни, що містять хром, нікель, молібден та алюміній.

Високоміцні чавуни

Високоміцними називають чавуни, в яких графіт має кулясту форму.

Високоміцні чавуни отримують модифікуванням рідкого чавуну невеликими добавками магнію. За вмістом інших елементів високоміцний чавун не відрізняється від звичайного сірого.

Під дією магнію графіт у процесі кристалізації набуває не пластинчастої, а кулястої форми. Кулястий графіт, що має мінімальну поверхню при даному обсязі, значно менше послаблює металеву основу чавуну, ніж пластинчастий графіт. Високоміцні чавуни мають більш високі механічні властивості, що не поступаються литій вуглецевій сталі, зберігаючи при цьому хороші ливарні властивості та оброблюваність різанням, високу зносостійкість і т.д. Звичайний склад чавуну: 2,7-3,7%; 1,6-2,7% Si; 0,5-0,6% Mn; $S \leq 0,10\%$ та $P \leq 0,10\%$.

Маркують високоміцний чавун літерами ВЧ, потім йдуть цифри, які показують середнє значення тимчасового опору при розтягуванні - σ_B (кгс/мм²). Чавуни ВЧ 50; ВЧ 60; ВЧ 70; ВЧ 80; ВЧ 100; ВЧ 120 мають перлітну металеву основу, чавуни ВЧ 45-5 – перлітно-феритну та ВЧ 38; ВЧ 42 - феритну.

З високоміцних чавунів виготовляють обладнання прокатних станів (прокатні валки вагою до 12 т), ковальсько-пресове обладнання, корпуси парових турбін, колінчасті вали та інші деталі, що працюють при циклічних навантаженнях та в умовах сильного зносу.

Іноді для покращення механічних властивостей застосовують термічну обробку виливків – загартування та відпустку при 500–600 °С; для збільшення пластичності – відпал, що сприяє сфероїдизації перліту.

Ковкі чавуни

Ковкими називають чавуни, в яких графіт має пластівцеву форму. Їх отримують в результаті спеціального відпалу, що графітизує, відливок доєвтектичного чавуну. Графіт у таких чавунах називають вуглецем відпалу. Ковкий чавун у порівнянні з сірим має більш високу міцність, що пов'язано з меншим впливом пластівцеподібної форми графіту на механічні властивості металевої основи.

При виробництві ковкого чавуну дуже важливо, щоб вилівки білого чавуну, що піддаються відпалу, були тонкостінними. В іншому випадку в серцевині при кристалізації виділятиметься пластинчастий графіт, і чавун стане непридатним для відпалу.

За структурою металевої основи ковани чавуни бувають феритними, перлітними та ферито-перлітними.

Для отримання феритних ковких чавунів вилівки з білого чавуну завантажують у спеціальні контейнери і засипають піском і сталевими стружками для захисту від окислення, потім повільно нагрівають (20-25 год) до температури 950-1000 °С (нижче евтектичної) і витримують 10-15 (рисунок 2.3 крива 1). За цей час відбувається перша стадія графітизації – розпад цементиту, що входить до складу ледебуриту (А+Ц), та встановлення стабільної рівноваги аустеніт+графіт. В результаті розпаду цементиту дифузійним шляхом утворюється пластівцевий графіт (вуглець відпалу).

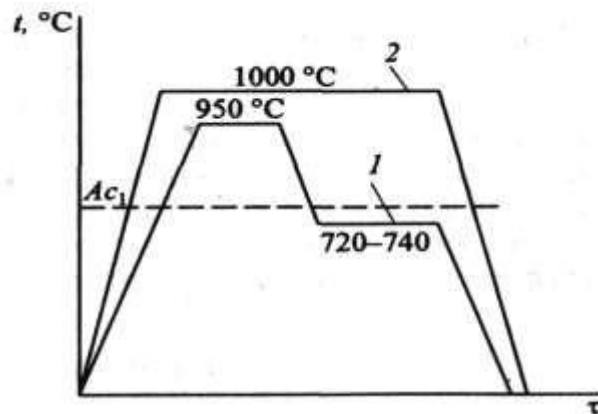


Рисунок 2.3 - Схема відпалу білого чавуну на кування

Потім вилівки охолоджують до температур, що відповідають інтервалу евтектоїдного перетворення. При охолодженні відбувається виділення з аустеніту вторинного цементиту, його розпад й у результаті зростання графітних включень. При досягненні евтектоїдного інтервалу температур охолодження різко уповільнюються або дають тривалу витримку при температурі трохи нижче цього інтервалу. У цей період протікає друга стадія графітизації: розпад аустеніту з утворенням ферито-графітної структури або

розпад цементиту, що входить до складу перліту, з утворенням фериту та графіту (у процесі витримки нижче евтектоїдних температур). Після закінчення другої стадії графітизації структура чавуну складається з фериту та пластівцевого графіту.

Перлитний ковкий чавун отримують з білого вагранкового чавуну шляхом відпалу в окислювальному середовищі (див. рисунок 2.3 крива 2). Збільшується як би тривалість першої стадії графітизації, після чого йде безперервне охолодження виливків до кімнатної температури і чавун набуває структури перліт + вуглець відпалу.

Повна відсутність ливарної напруги, яка знімається за рахунок тривалого відпалу, і роз'єднаність графітових включень зумовлюють високі механічні властивості чавунів.

Ковкий чавун маркують літерами КЧ та цифрами. Перші цифри марки показують середнє значення тимчасового опору при розтягуванні – σ_b (кгс/мм²), другі – відносне подовження – δ (%).

У таблиці 2.2 представлені властивості деяких ковких чавунів. З таблиці видно, що перлітні чавуни міцніші, а феритні - пластичніші.

Таблиця 2.2 – Механічні властивості ковких чавунів (ГОСТ 1215-79)

Чавун	σ_b , МПа	δ , %	НВ	Структура металевої основи
КЧ 30-6	300	6	100–163	Ферит
КЧ 37-12	370	12	110–163	Ферит
КЧ 60-3	600	3	200–269	Перліт
КЧ 80-1,5	800	1,5	270–320	Перліт

Виливки з ковких чавунів застосовують для деталей, що працюють при ударних та вібраційних навантаженнях (картери редукторів, фланці, муфти).

Спеціальні чавуни

До спеціальних відносяться зносостійкі, жаростійкі та корозійностійкі чавуни.

Зносостійкий чавун має високу опірність зношування. Залежно від умов роботи їх ділять на фрикційні, для поршневих кілець, антифрикційні та вибілені.

Антифрикційні чавуни призначені для роботи в підшипникових та інших вузлах тертя. Ці чавуни повинні мати хорошу прироблюваність при терті по металу. Як антифрикційні матеріали застосовуються сірі, високоміцні, ковкі нелеговані і легovanі чавуни марок АСЧ-1, АСЧ-2, АСЧ-3, АВЧ-1, АВЧ-2, АКЧ-1, АКЧ-2 та ін. (ГОСТ 1585-70).

Вибілений чавун на певну глибину з поверхні є білий або половинчастий чавун, а в серцевині - сірий. Такий чавун використовується для виготовлення деталей, що працюють на зношування. Вибілений шар на

чавунних виливках отримують прискореним охолодженням їх поверхонь, наприклад виливком в металеві форми.

Жаростійкі чавуни добре пручаються окисленню. Як жаростійкий застосовують чавун з високим вмістом алюмінію (ЖЧЮ-22) або з добавкою хрому (ЖЧХ-1,5; ЖЧХ-30).

Корозійно стійкі чавуни працюють в агресивних середовищах, їх легують алюмінієм, хромом, нікелем, міддю (ЧНХТ, ЧН15Д7Х2 та ін.).

Контрольні питання

- 2.1 Як впливає вуглець на фізичні та механічні властивості сталі?
- 2.2 Як впливають на властивості сталей марганець та кремній?
- 2.3 Перерахуйте шкідливі домішки у сталях та опишіть їх вплив на механічні властивості сталей.
- 2.4 Перелічіть чинники, якими класифікують вуглецеві сталі.
- 2.5 На які види ділять сталі за якістю?
- 2.6 На які групи ділять сталі за рівнем розкислення?
- 2.7 Які вуглецеві сталі загального призначення застосовують для виготовлення зварних конструкцій та чому?
- 2.8 Як впливає оброблюваність сталі вміст вуглецю у ній?
- 2.9 Які хімічні елементи покращують оброблюваність сталі?
- 2.10 У якому вигляді міститься вуглець у білих чавунах?
- 2.11 Чому обмежене промислове використання білих чавунів як конструкційних матеріалів?
- 2.12 Від чого залежить механічні властивості сірих чавунів?
- 2.13 Навіщо проводиться модифікація сірих чавунів?
- 2.14 Як одержують високоміцні чавуни?
- 2.15 Яким способом одержують ковкі чавуни?
- 2.16 Які чавуни можна використовувати як антифрикційні матеріали?
- 2.17 Якими елементами легують жаростійкі та корозійно-стійкі чавуни?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 2

АНАЛІЗ ДІАГРАМИ СТАНУ ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ

Мета заняття. Детально вивчити діаграму стану сплавів системи залізо-вуглець.

Завдання:

1. Вивчити літературу щодо залізовуглецевих сплавів.
2. Накреслити діаграму стану сплавів системи залізо-вуглець із зазначенням структурних складових кожної області діаграми. Назвати всі характерні точки та лінії діаграми.
3. Дати визначення всім фазам і структурним складовим залізовуглецевих сплавів із зазначенням можливого вмісту в них вуглецю.

Указати механічні властивості (міцність, твердість, пластичність) структурних складових.

4. Для сплаву заданої концентрації побудувати криву охолодження із застосуванням правила фаз. Описати перебіг процесу кристалізації та зміни фазового складу на кожній ділянці кривої охолодження.

5. Для сплаву в заданій точці діаграми визначити за допомогою правила коноди концентрацію та кількісне співвідношення фаз або структурних складових.

6. Користуючись альбомом мікроструктур, намалювати три схеми мікроструктур сплавів за завданням викладача.

Загальні вказівки

Діаграма системи *залізо-вуглець* дає уявлення про перебіг фазових перетворень у процесі кристалізації сплавів і про їхню будову та структуру після завершення процесу кристалізації.

Верхня частина діаграми від лінії *ліквідусу* АВСД до лінії *солідуса* АНЕССФ відображає перебіг первинної кристалізації сплавів.

Нижче лінії солідуса відбувається вторинна кристалізація сплавів. Вона викликана зміною поліморфного стану заліза і зміною розчинності вуглецю в γ -залізі.

Для кращого засвоєння перебігу всіх цих перетворень слід вивчати діаграму за окремими ділянками. Насамперед потрібно вивчити перебіг процесу кристалізації у верхньому лівому кутку, де має місце перитектичне перетворення. Потім з'ясувати суть процесів первинної кристалізації за вмісту вуглецю в сплавах до 2,14 % і вище. Також слід вивчити перебіг вторинної кристалізації. Потрібно чітко з'ясувати, які фази та структурні складові утворюються в результаті кристалізації сплавів і в чому суттєва відмінність між фазою та структурною складовою. Треба вміти давати визначення всім структурним складовим, знати, за яких умов вони утворюються і якими властивостями володіють.

Теоретичні відомості

Діаграма *залізо-вуглець* (див. рисунок 2.1) слугує основою для з'ясування процесів, що відбуваються під час нагрівання й охолодження залізобуглецевих сплавів (сталей і чавунів). У залізобуглецевих сплавах під час нагрівання та охолодження утворюються такі фази і структурні складові: ферит, аустеніт, цементит, перліт і ледебурит. У таблиці 2.3 наведено характеристики структурних складових залізобуглецевих сплавів.

Під час аналізу діаграми розглядають лінії і точки діаграми (табл. 2.4 і 2.5), застосовують правила фаз і відрізків.

Таблиця 2.3 - Характеристики фаз і структурних складових залізовуглецевих сплавів (сталей і чавунів)

Структура	Тип структури	Вміст вуглецю, %	Число фаз	Механічні властивості			Характеристики структури
				σ_B , кгс / мм ²	δ , %	НВ, кгс / мм ²	
Ферит	Твердий розчин вуглецю в α -залізі	От 0,006 (при 0 °С) до 0,02 (при 727 °С)	1	30	40	80–100	Пластична, але неміцна
Аустеніт	Твердий розчин вуглецю у γ -залізі	2,14 (при 1147°С)	1	60	60	180–200	Дуже пластична
Цементит	Хімічна сполука заліза з вуглецем (Fe ₃ C)	6,67	1	200	0	800	Дуже тверда і крихка
Перліт	Фізико-хімічна суміш фериту та цементиту	0,80	2	60	20	200	Середні міцність і пластичність
Ледебурит	Фізико-хімічна суміш аустеніту та цементиту	4,30	2	100	1 – 2	450–500	Тверда і крихка

Таблиця 2.4 - Фазові перетворення на лініях за діаграмою залізо-вуглець

Позначення ліній	Фазові перетворення на лініях (при охолодженні)	Перелік фаз	Кількість фаз	Число ступенів свободи
AB	Початок первинної кристалізації фериту з рідини	Рідина + ферит	2	1
АНJB	Кінець первинної кристалізації фериту з рідини	Рідина + ферит	2	1
НJB	Перитектичне перетворення $\Phi + L \rightarrow A$	Рідина + ферит + аустеніт	3	0
BC	Початок первинної кристалізації аустеніту з рідини	Рідина + аустеніт	2	1
JE	Кінець первинної кристалізації аустеніту з рідини	Рідина + аустеніт	2	1
CD	Початок первинної кристалізації цементиту (первинного) з рідини	Рідина + цементит	2	1
ECF	Утворення ледебуриту з рідини, лінія евтектичних перетворень	Рідина + аустеніт + цементит	3	0
GS	Початок виділення фериту з аустеніту	Аустеніт + ферит	2	1
PS	Кінець виділення фериту з аустеніту й утворення перліту з аустеніту	Аустеніт + ферит + цементит	3	0
PSK	Утворення перліту з аустеніту	Аустеніт + ферит + цементит	3	0
SE	Початок виділення цементиту (вторинного)	Аустеніт + цементит	2	1
SK	Кінець виділення цементиту (вторинного) з аустеніту і утворення перліту з аустеніту	Аустеніт + ферит + цементит	3	0
PQ	Початок виділення цементиту третинного з фериту	Ферит + цементит	2	1

Таблиця 2.5 - Фазові перетворення в точках на діаграмі залізо-вуглець

Точка	Фазові перетворення в точках	Вміст вуглецю, %	Відповідна точкам температура, °C	Перелік фаз	Кількість фаз	Число ступенів свободи
1	2	3	4	5	6	7
A	Температура плавлення і затвердіння чистого заліза	0	1539	Рідина + кристали заліза	2	0
B	Температура перитектичної реакції	0,5	1499	Рідина + ферит + аустеніт	3	0
C	Плавлення й утворення ледебуриту	4,30	1147	Рідина + аустеніт + цементит	3	0
D	Температура плавлення і затвердіння цементиту	6,67	1250	Рідина + цементит (первинний)	2	0
H	Максимальне розчинення вуглецю у високотемпературному α -залізі	0,10	1499	Рідина + ферит + аустеніт	3	0
J	Перитектична точка	0,16	1499	Рідина + ферит + аустеніт	3	0
N	Перетворення α -заліза на γ -залізо або γ -заліза в α -залізо	0	1392	α -залізо і γ -залізо	2	0

Закінчення таблиці 2.5

1	2	3	4	5	6	7
E	Максимальне розчинення вуглецю в аустеніті	2,14	1147	Рідина + аустеніт + цементит	3	0
S	Евтектоїдна точка (утворення перліту з аустеніту або аустеніту з перліту)	0,80	727	Аустеніт + ферит + цементит	3	0
G	Перетворення γ -заліза на α -залізо або α -заліза в γ -залізо	0	911	γ -залізо та α -залізо	2	0
P	Максимальне розчинення вуглецю в α -залізі	0,02	727	Аустеніт + ферит + цементит (вторинний)	3	0
Q	Мінімальне розчинення вуглецю в α -залізі	0,006	0	Ферит + цементит (третинний)	2	1
K	Немає фазових перетворень	6,67	727	Цементит первинний	1	-
F	Немає фазових перетворень	6,67	1147	Цементит первинний	1	-
M	Магнітне перетворення	0	768	Чисте залізо	1	-

Вище за лінію ABCD усі сплави перебувають у рідкому стані, і число ступенів свободи, що визначається за правилом фаз, $c = k - f + 1 = 2 - 1 + 1 = 2$, що означає, що сплави можна нагрівати й охолоджувати, змінювати їхню концентрацію, і вони залишаються рідкими в стані рівноваги. Між лініями ABCD і ANJESF сплави двофазні, складаються з твердої фази і рідини, і при цьому число ступенів свободи $c = 2 - 2 + 1 = 1$. З цього випливає, що для збереження рівноваги системи можна змінювати лише один фактор рівноваги: або температуру, або концентрацію. Дві фази й один ступінь свободи є також у всіх інших областях діаграми, крім аустенітної (NJESG) і двох феритних (AHN) і (GPQ), де система однофазна і має у своєму розпорядженні два ступені свободи $c = 2 - 1 + 1 = 2$. На горизонтальних лініях HJB, ECF і PSK система трифазна і число ступенів свободи $c = 2 - 3 + 1 = 0$.

На лінії HJB протікає перитектичне перетворення $L + \Phi \rightarrow A$, у результаті якого утворюється аустеніт.

На лінії ECF при охолодженні утворюється ледебурит, на лінії PSK - перліт. Нульовий ступінь свободи на цих лініях зумовлює строго постійні температури при утворенні ледебуриту (1147 °C) і перліту (727 °C).

Правилом коноди користуються для визначення кількісного співвідношення рідкої та твердої фаз або двох різних твердих фаз.

Форма звіту

Звіт має містити: відповіді на контрольні запитання, діаграму стану сплавів залізо-вуглець; опис фаз, структур залізобуглецевих сплавів та їхніх властивостей; дві криві охолодження для сталі та чавуну (вміст вуглецю задає викладач); опис на основі цих кривих фазових перетворень, які відбуваються у сплавах під час нагрівання та охолодження, із застосуванням правила фаз і коноди.

Контрольні питання

1. Які алотропічні форми заліза бувають?
2. Як поділяють групи сплавів за вмістом у них вуглецю?
3. Що називається сталлю?
4. Як поділяються сталі за вмістом у них вуглецю?
5. Які складові структур доєвтектоїдної, евтектоїдної та заєвтектоїдної сталей і як вони виглядають під мікроскопом?
6. Що називається чавуном?
7. Чим відрізняється сірий чавун від білого?
8. Які форми графітних включень бувають у різних чавунах і як вони виглядають під мікроскопом?
9. З яких складових складається металева основа сірих чавунів?

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДО ТЕМИ 2

1. Кількість вуглецю, що міститься в чавунах, більше:

- A) 0,02 %;
- B) 0,8 %;
- C) 2,14 %;
- D) 4,3 %.

2. Кількість вуглецю, що міститься в сталях, менше:

- A) 0,02 %;
- B) 0,8 %;
- C) 2,14 %;
- D) 4,3 %.

3. Структурна складова, що являє собою твердий розчин вуглецю в α -залізі:

- A) аустеніт;
- B) перліт;
- C) ферит;
- D) цементит.

4. Структурна складова, що являє собою твердий розчин вуглецю в γ -залізі:

- A) аустеніт;
- B) ледебурит;
- C) ферит;
- D) цементит.

5. Структурна складова, що являє собою карбід заліза (Fe_3C):

- A) аустеніт.
- B) ледебурит.
- C) ферит.
- D) цементит.

6. Структурна складова, що являє собою фізико-хімічну суміш фериту і цементиту:

- A) аустеніт;
- B) ледебурит;
- C) перліт;
- D) ферит.

7. Структурна складова, що являє собою фізико-хімічну суміш аустеніту і цементиту:

- A) аустеніт;

- B) ледебурит;
- C) перліт;
- D) ферит.

8. Ділянка діаграми стану системи сплавів залізо - вуглець, що відповідає протіканню евтектоїдної реакції:

- A) область QPSKL;
- B) область SECFK;
- C) лінія ECF;
- D) лінія PSK.

9. Ділянка діаграми стану системи сплавів залізо - вуглець, що відповідає перебігу евтектичної реакції:

- A) лінія ECF;
- B) область SECFK;
- C) область EJBC;
- D) лінія PSK.

10. Структурна складова залізобуглецевих сплавів, що має за кімнатної температури найбільшу пластичність:

- A) аустеніт;
- B) перліт;
- C) ферит;
- D) цементит.

11. Структурна складова залізобуглецевих сплавів із найбільшою твердістю:

- A) аустеніт;
- B) перліт;
- C) ферит;
- D) цементит.

12. Кількість вуглецю (C, %), яка міститься у вуглецевій заевтектоїдній сталі:

- A) $0,02 < C < 0,8$;
- B) $4,3 < C < 6,67$;
- C) $2,14 < C < 4,3$;
- D) $0,8 < C < 2,14$.

13. Кількість вуглецю (C, %), яка міститься у вуглецевій евтектоїдній сталі:

- A) $0,02 < C < 0,8$;
- B) $4,3 < C < 6,67$;
- C) 0,8;

D) $0,8 < C < 2,14$.

14. Кількість вуглецю (C, %), яка міститься у вуглецевій доєвтектоїдній сталі:

- A) $0,02 < C < 0,8$;
- B) $4,3 < C < 6,67$;
- C) $2,14 < C < 4,3$;
- D) $0,8 < C < 2,14$.

15. Структурний склад заєвтектоїдної сталі за температури нижче 727 °C:

- A) ледебурит + первинний цементит;
- B) ферит + третинний цементит;
- C) перліт + вторинний цементит;
- D) ферит + перліт.

16. Структурний склад доєвтектоїдної сталі за температури нижче 727 °C:

- A) ледебурит + первинний цементит;
- B) ферит + третинний цементит;
- C) перліт + вторинний цементит;
- D) ферит + перліт.

17. Структурний склад евтектоїдної сталі за температури нижче 727 °C:

- A) перліт;
- B) ферит + третинний цементит;
- C) перліт + вторинний цементит;
- D) ферит + перліт.

18. Зміна механічних властивостей у разі збільшення вмісту вуглецю в сталі:

- твердість і пластичність збільшуються;
- твердість зменшується, пластичність - збільшується;
- твердість збільшується, пластичність - зменшується;
- твердість і пластичність зменшуються.

19. Доповніть:

Структурна складова, що являє собою фізико-хімічну суміш аустеніту та цементиту, називається _____.

20. Доповніть:

Структурна складова, що являє собою твердий розчин вуглецю в α -залізі, називається _____.

21. Доповніть:

Структурна складова, що являє собою карбід заліза (Fe_3C), називається

_____.

22. Доповніть:

Сплави заліза з вуглецем, що містять понад 2,14 % C, називаються

_____.

23. Доповніть:

Сплави заліза з вуглецем, що містять менше 2,14 % C, називаються

_____.

24. Структурна складова, що являє собою пересичений твердий розчин вуглецю в α -залізі:

- A) аустеніт;
- B) мартенсит;
- C) ферит;
- D) цементит.

25. Марка сталі, що належить до заевтектоїдних:

- A) Ст1кп;
- B) У10А;
- C) 10пс;
- D) А11.

26. Марка сталі, що належить до доевтектоїдних:

- A) Ст1кп;
- B) У10А;
- C) 40;
- D) 80.

27. Марка сталі, що належить до евтектоїдних:

- A) Ст1кп;
- B) У10А;
- C) 40;
- D) 80.

28. Основний критерій для поділу сталей за якістю:

- A) ступінь розкислення сталі;
- B) ступінь легування сталі;
- C) вміст у сталі сірки та фосфору;
- D) міцність.

29. Клас, до якого належить сталь Ст6сп:

- A) високоякісні сталі;
- B) особливо високоякісні сталі;
- C) якісні сталі;
- D) сталі звичайної якості.

30. Клас, до якого належить сталь 08кп:

- A) високоякісні сталі;
- B) особливо високоякісні сталі;
- C) якісні сталі;
- D) сталі звичайної якості.

31. Клас, до якого належить сталь 45:

- A) високоякісні сталі;
- B) особливо високоякісні сталі;
- C) якісні сталі;
- D) сталі звичайної якості.

32. Клас, до якого належить сталь А20:

- A) вуглецеві інструментальні сталі;
- B) вуглецеві високоякісні конструкційні сталі;
- C) автоматні сталі з високою оброблюваністю різанням;
- D) конструкційна сталь, легована азотом.

33. Клас, до якого належить сталь У10А:

- A) високоякісна вуглецева конструкційна сталь;
- B) високоякісна вуглецева інструментальна сталь;
- C) автоматна сталь;
- D) конструкційна сталь, легована азотом.

34. Виріб, що виготовляється зі сталей марок 65, 70:

- A) шестерня;
- B) пружина;
- C) свердло;
- D) шарикопідшипник.

35. Виріб, що виготовляється зі сталі У96:

- A) шестерня;
- B) пружина;
- C) свердло;
- D) фреза.

36. Виріб, що виготовляється зі сталі 45:

- A) вал;
- B) пружина;

- C) свердло;
- D) фреза.

37. Домішка, яка спричиняє червоноламкість сталі:

- A) марганець;
- B) водень;
- C) сірка;
- D) фосфор.

38. Домішка, яка спричиняє холодноламкість сталі:

- A) марганець;
- B) водень;
- C) сірка;
- D) фосфор.

39. Домішка, яка призводить до утворення в сталі флокенів:

- A) марганець;
- B) водень;
- C) сірка;
- D) фосфор.

40. Середній вміст вуглецю в сталі 30 (%) становить:

- A) 30;
- B) 3;
- C) 0,3;
- D) 0,03.

41. Вуглецева сталь, у марці якої присутній індекс «сп»:

- A) кипляча;
- B) напівспокійна;
- C) спокійна;
- D) легована.

42. Вуглецева сталь, у марці якої присутній індекс «кп»:

- A) кипляча;
- B) напівспокійна;
- C) спокійна;
- D) легована.

43. Вуглецева сталь, у марці якої присутній індекс «пс»:

- A) кипляча;
- B) напівспокійна;
- C) спокійна;
- D) легована.

44. Середній вміст вуглецю в сталі 08 кп (%):

- A) 0,08;
- B) 0,8;
- C) 8;
- D) вуглець у сталі відсутній.

45. Середній вміст вуглецю в сталі У13 (%):

- A) 0,13;
- B) 1,3;
- C) 13;
- D) вуглець у сталі відсутній.

46. Сталь звичайної якості:

- A) 40ХН;
- B) У7А;
- C) сталь 30;
- D) Ст2пс.

47. Доповніть:

Вміст вуглецю в сталі 30 становить близько _____%.

48. Доповніть:

Вміст вуглецю в сталі У13 становить близько _____%.

49. Установіть відповідність домішки сталі її впливу на властивості сталі:

Домішка:

- 1) сірка;
- 2) марганець.

Вплив на властивості:

- A) збільшує крихкість за низьких температурах;
- B) розкислює шкідливі домішки;
- C) спричиняє червоноломкість.

1 - _____ ; 2 - _____.

50. Установіть відповідність класу сталі за призначенням її марці:

Клас:

- 1) конструкційна якісна;
- 2) інструментальна.

Марка:

- A) БСт6;
- B) 45;
- C) У10.

1 - _____ ; 2 - _____.

51. Установіть відповідність класу сталі за хімічним складом її марці:

Клас:

- 1) низьковуглецева;
- 2) середньовуглецева.

Марка:

- A) 10;
- B) 45;

С) У10.

1 - _____; 2 - _____.

52. Установіть відповідність класу сталі за якістю її марці:

Клас:

Марка:

- 1) загального призначення;
2) високоякісна.

- A) Ст5;
B) 45;
C) У10А.

1 - _____; 2 - _____.

53. Установіть правильну послідовність марок сталей, що відповідає зростанню їхньої твердості:

- A) 10кп;
B) У13А;
C) 30;
D) У10.

54. Форма графіту, що міститься в білому чавуні:

- A) пластівчаста;
B) у білому чавуні графіту немає;
C) куляста;
D) пластинчаста.

55. Форма графіту, який міститься в сірому чавуні:

- A) пластівчаста;
B) у білому чавуні графіту немає;
C) куляста;
D) пластинчаста.

56. Форма графіту, який міститься в ковкому чавуні:

- A) пластівчаста;
B) у білому чавуні графіту немає;
C) куляста;
D) пластинчаста.

57. Форма графіту, який міститься у високоміцному чавуні:

- A) пластівчаста;
B) у білому чавуні графіту немає;
C) куляста;
D) пластинчаста.

58. Вид чавуну (сірого, ковкого, високоміцного) визначають:

- A) за розміром графітних включень;
B) характером металевої основи;

- С) формою графітних включень;
- Д) кількістю графітних включень.

59. Форма графіту в чавуні марки КЧ35-10:

- А) пластинчаста;
- В) пластівчаста;
- С) у цьому чавуні графіту немає;
- Д) куляста.

60. Форма графіту в чавуні СЧ40:

- А) пластинчаста;
- В) пластівчаста;
- С) у цьому чавуні графіту немає;
- Д) куляста.

61. Форма графіту в чавуні ВЧ40-12:

- А) пластинчаста;
- В) пластівчаста;
- С) у цьому чавуні графіту немає;
- Д) куляста.

62. Число 10 у марці сплаву КЧ35-10:

- А) відносне подовження, %;
- В) ударна в'язкість, кДж/м²;
- С) тимчасовий опір (межа міцності), кг/мм²;
- Д) межа плинності, МПа.

63. Число 40 у марці сплаву СЧ40:

- А) границя плинності, МПа;
- В) границя міцності при вигині, кг/мм²;
- С) ударна в'язкість, кДж/м²;
- Д) тимчасовий опір (межа міцності при розтягуванні), кг/мм².

64. Позначення високоміцного чавуну:

- А) КЧ30-5;
- В) СЧ35;
- С) ВЧ50-2;
- Д) ЖЧЮ-22.

65. Позначення ковкого чавуну:

- А) КЧ30-5;
- В) СЧ35;
- С) ВЧ50-2;
- Д) ЖЧЮ-22.

66. Позначення сірого чавуну:

- A) КЧ30-5;
- B) СЧ35;
- C) ВЧ50-2;
- D) ЖЧЮ-22.

67. Чавун, який отримують шляхом модифікування рідкого розплаву магнієм або церієм:

- A) сірий;
- B) білий;
- C) високоміцний;
- D) ковкий.

68. Чавун, який отримують шляхом спеціального графітуючого відпалу виливків доєвтектичного чавуну:

- A) сірий;
- B) білий;
- C) високоміцний;
- D) ковкий.

69. Сплав, який краще використовувати для виготовлення блока циліндрів тракторів:

- A) сірий чавун;
- B) ковкий чавун;
- C) сталь;
- D) високоміцний чавун.

70. Вид вуглецю в білих чавунах за кімнатної температури:

- A) пластівчастий графіт;
- B) глобулярний графіт;
- C) цементит;
- D) пластинчастий графіт.

71. Мета модифікації чавуну під час виплавки:

- A) підвищення корозійної стійкості;
- B) зміна структури основи;
- C) подрібнення зерна;
- D) зміна форми графітових включень.

72. Відмінність білих чавунів від сірих:

- A) наявність аустенітної фази;
- B) наявність у структурі хімічно зв'язаного вуглецю у вигляді цементиту;
- C) високі пластичність і в'язкість;
- D) феритна структура основи.

ТЕМА 3. ОСНОВИ ТЕРМІЧНОЇ ТА ХІМІКО-ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ

План

- 3.1 Теорія і технологія термічної обробки сталі
- 3.2 Хіміко-термічна обробка

3.1 Теорія і технологія термічної обробки сталі

Перетворення переохолодженого аустеніту

Як було сказано вище, рівноважні перетворення залізовуглецевих сплавів, що описуються діаграмою залізо-вуглець, відбуваються під час безперервного і повільного охолодження (або нагрівання).

З підвищенням швидкості охолодження сплаву знижуються критичні точки перетворення і збільшується ступінь переохолодження аустеніту (рисунок 3.1).

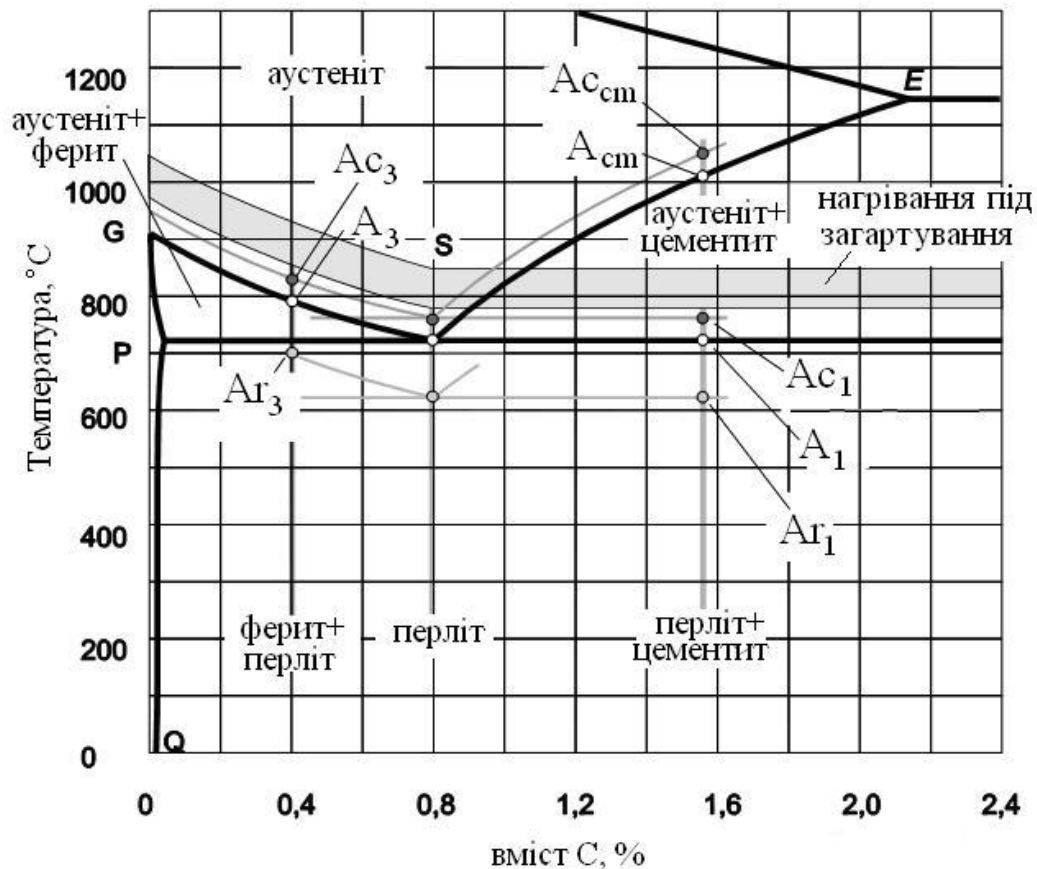


Рисунок 3.1 - Вплив швидкості охолодження на зниження критичних точок перетворення аустеніту та на структуру

За швидкості охолодження 150 град/с критична точка A_{g1} знижується з 727 до 500 °C. Аустеніт розпадається на механічну суміш фериту і цементиту, і що нижча температура розпаду аустеніту, то більш дисперсні пластинки цементиту у фериті. Залежно від дисперсності цементиту утворюються

структури *перліт* (A_{r1} вище 600 °С), *сорбіт* (A_{r1} від 600 до 550 °С), *троостит* (A_{r1} від 550 до 500 °С). Перехід від однієї структури до іншої відбувається поступово. Перліт має порівняно великі включення цементиту у фериті, сорбіт - дрібні. У трооститі дрібнодисперсну суміш можна розглядити тільки при збільшенні в 20000 разів і вище. З підвищенням ступеня дисперсності суміші збільшується міцність, твердість і знижується пластичність сталі (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – Зміна властивостей сплаву залежно від структури (0,8 % С)

Структура	Твердість НВ, МН/м ²	Міцність σ_b , МПа	Відносне подовження δ , %	Ступінь дисперсності, 10 ⁻³ мм
Перліт	2000	686	12	0,7
Сорбіт	3000	1176	5	0,25
Троостит	4000	1470	3	0,1
Мартенсит	6000	1764	0	-

За великих ступенів переохолодження (230 °С) весь вуглець, розчинений у γ -залізі, залишається в решітці α -заліза. Це відбувається в умовах, коли швидкість дифузії вуглецю дуже мала (бездифузійне перетворення). Оскільки α -залізо максимально розчиняє 0,02%С, а в початковій фазі - аустеніті може міститися до 2,14%С, то утворюється перенасичений твердий розчин в α -залізі, що називається *мартенситом*.

Мартенсит характеризується дуже високою твердістю НВ 5500-6500, МН/м², зносостійкістю і крихкістю. Це пояснюється тим, що при утворенні пересиченого твердого розчину кристалічна решітка α -заліза сильно спотворюється, до того ж збільшення об'єму при перетворенні аустеніту на мартенсит призводить до фазового наклепу, подрібнення блокової структури і зростання внутрішніх напружень.

Зміну структури металу залежно від ступеня переохолодження аустеніту використовують під час термічної обробки для отримання необхідних експлуатаційних і технологічних властивостей деталей машин.

Изотермические превращения аустенита

Перетворення аустеніту можна спостерігати під час охолодження сплаву нижче 727 °С і витримки за цієї температури в печі або у ванні з рідким розплавом. У початковий період (від часток секунд до кількох діб) аустеніт не зазнає жодних перетворень (це так званий інкубаційний період), потім він швидко перетворюється на структуру, яка відповідає ступеню його переохолодження. Подальша витримка не викликає жодних змін у структурі. Такі перетворення в аустеніті називаються *ізотермічними*. Для опису кінетики перетворення переохолодженого аустеніту на діаграму (рисунок 3.2) наносять точки початку Н і кінця К ізотермічних перетворень [3]. Поєднуючи відповідні точки, отримують С-подібні криві початку і кінця

перетворень. Зліва від кривої початку ізотермічних перетворень розташована зона інкубаційного періоду, H_1 і K_1 - початок і кінець розпаду аустеніту в перліт, H_2 і K_2 - у сорбіт, H_3 і K_3 - у троостит. Лінія M_{Π} (≈ 240 °C) відповідає початку, а M_K - кінцю мартенситного перетворення. Найменша швидкість охолодження, за якої утворюється мартенситна структура, називається **критичною** і позначається $V_{кр}$.

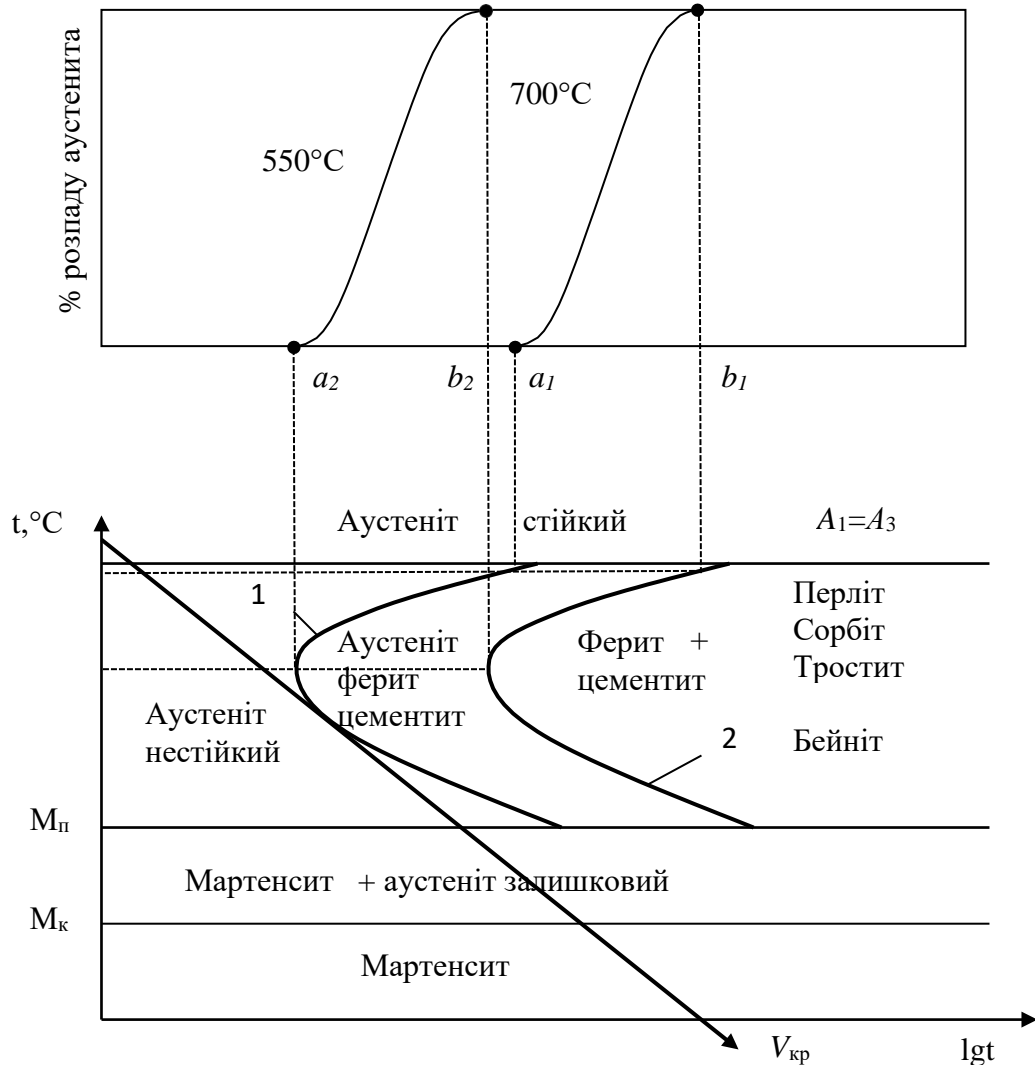


Рисунок 3.2 - Діаграма ізотермічного перетворення аустеніту в евтектоїдній сталі

Термічна обробка сталі

Термічною називають обробку, пов'язану з нагріванням і охолодженням металу з метою зміни його структури і властивостей.

Температурні режими термообробки сталей пов'язані з діаграмою Fe-Fe₃C. Рівноважні температури, що відповідають положенню ліній PSK , GS і SE діаграми, позначають A_1 , A_3 і A_m відповідно. Під час нагрівання рівноважні температури перетворень позначають:

- ◆ перліту в аустеніт - A_{c1} ;

♦ перетворень, пов'язаних з отриманням однофазної аустенітної структури, - $A_{с3}$ (для доевтектоїдних сталей), $A_{сm}$ (для заевтектоїдних).

За звичайних швидкостей нагрівання нерівноважні температури на 30-50 °С вищі за відповідні рівноважні.

Залежно від схильності аустенітного зерна під час нагрівання до зростання розрізняють:

- ♦ *спадково грубозернисті* (зерно схильне до зростання);
- ♦ *спадково дрібнозернисті* (зерно не схильне до зростання) сталі.

Властивості сталі, що виникли в результаті тієї чи іншої обробки, визначаються зерном, що реально утворилося - дійсним зерном. Спадкова зернистість має враховуватися під час призначення режимів обробки, що впливає на розмір одержуваного дійсного зерна, наприклад під час загартування, відпалу.

Охолодження сталі під час термічної обробки проводять з різною швидкістю (див. рисунок 3.3). При цьому аустеніт зазнаватиме перетворення залежно від ступеня переохолодження, що визначає вид термічної обробки.

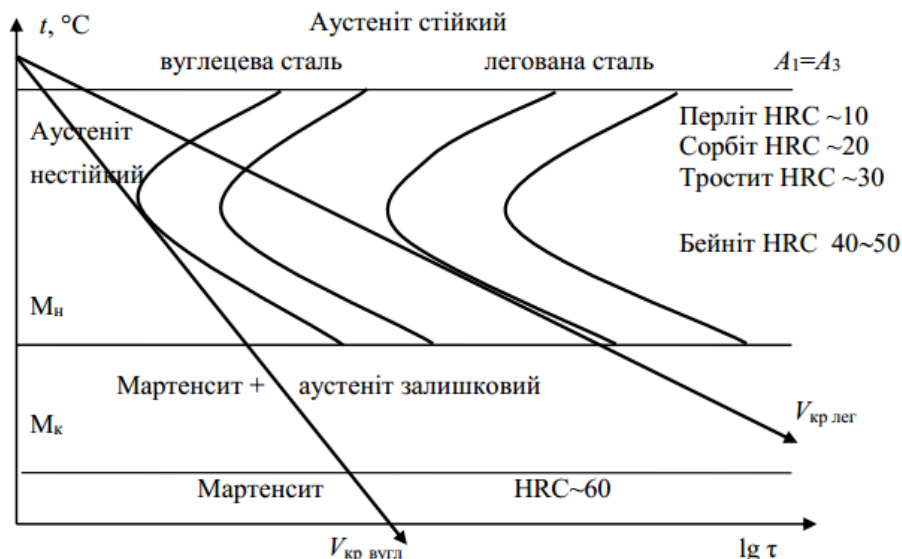


Рисунок 3.3 - Швидкості охолодження під час термічної обробки: v_1 - ізотермічний відпал; v_2 - нормалізація; v_3 - загартування в одному середовищі; v_4 - загартування у двох середовищах; v_5 - ступеневе загартування; v_6 - ізотермічне загартування; v_7 - неповне загартування; $v_{кр}$ - критична швидкість загартування.

Основними видами термічної обробки сталей є:

- ♦ відпал першого роду;
- ♦ відпал другого роду;
- ♦ нормалізація;
- ♦ гартування;
- ♦ відпуск (рисунок 3.4).

Відпал і нормалізація

Відпал (annealing) полягає в нагріванні металу, витримці та подальшому повільному охолодженні (разом із піччю). Відпал наближає метал до рівноваги.

Відпал першого роду проводять для отримання більш рівноважної, ніж вихідна, структури, не пов'язуючи цю мету з наявністю або відсутністю фазової перекристалізації. Прикладами відпалу першого роду є рекристалізаційний відпал, дифузійний відпал.

Під час рекристалізаційного відпалу деформаційно зміцнений метал нагрівають дещо вище за температурний поріг рекристалізації (рисунок 3.4).

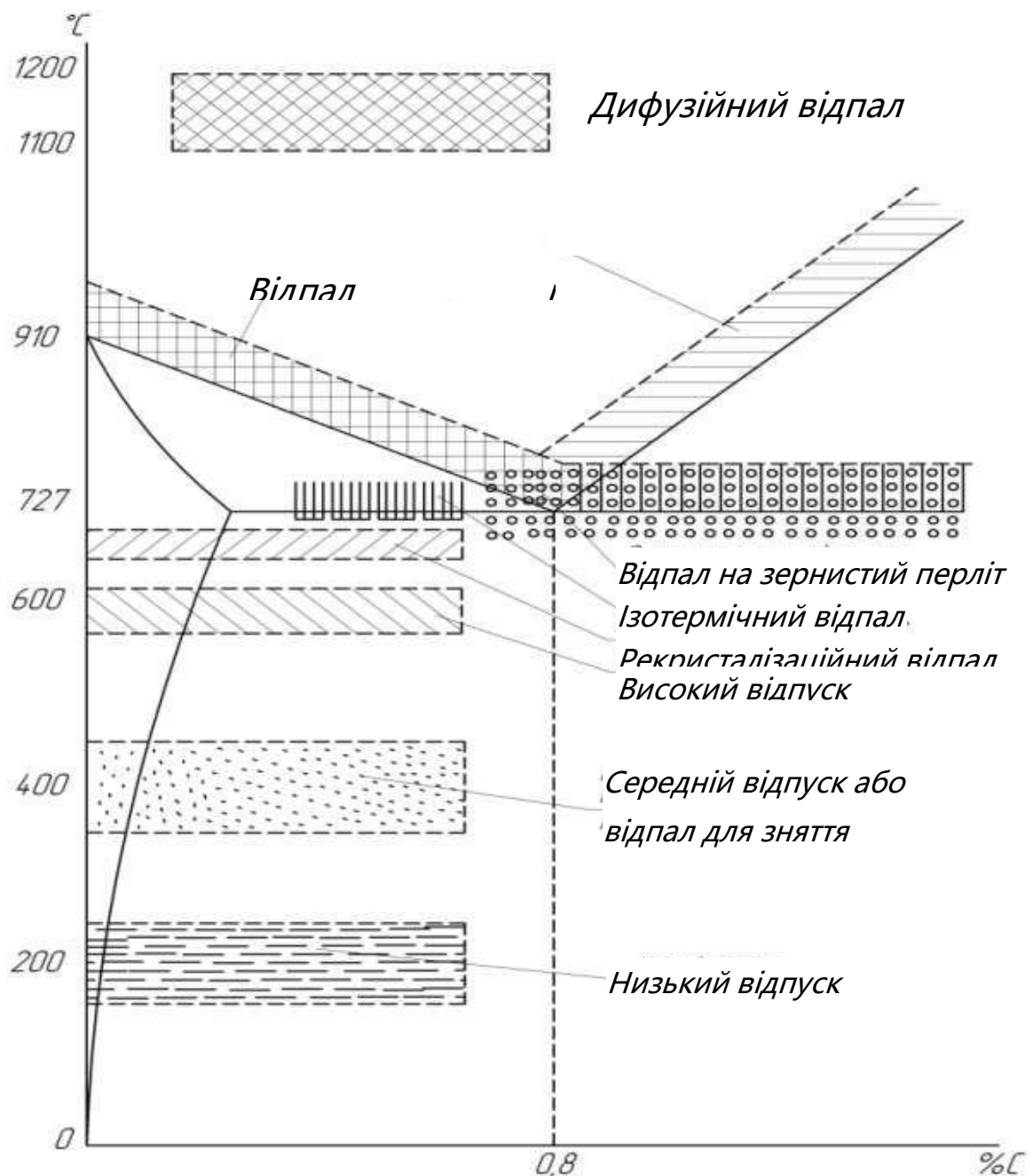


Рисунок 3.4 - Температура нагріву сталі при різних видах термічної обробки

У результаті відпалу матеріал набуває таких самих механічних властивостей, які він мав до деформації.

Дифузійний (гомогенізуючий) відпал проводять під час нагрівання до високих температур (0,8-0,9 $T_{пл}$), які передбачають інтенсивну дифузію атомів. Такому відпалу піддають, наприклад, виливки для усунення дендритної ліквіації (гомогенізації сплаву).

При **відпалі другого роду** неодмінно протікає, хоча б часткова, фазова перекристалізація. До відпалу другого роду належать неповний відпал, повний відпал.

При неповному відпалі нагрівання ведуть до температури A_{c1} (нижче A_{c3} або A_{cm}). Відбувається часткова перекристалізація сплаву (змінюється перлітна складова). Найчастіше неповний відпал застосовують для заевтектоїдних сталей (сфероїдизуючий відпал). У результаті неповного відпалу цементит набуває округлої або зернистої форми. Неповний відпал знижує твердість і покращує оброблюваність інструментальних сталей.

При повному відпалі доевтектоїдну сталь нагрівають до A_{c3} . Відбувається повна перекристалізація сплаву. У результаті повного відпалу виходить рівноважна, вільна від внутрішніх напружень, м'яка і в'язка структура.

При **нормалізації** сталь нагрівають до аустенітного стану (на 30-50 °С вище за лінію GSE), витримують і охолоджують на повітрі. Після нормалізації сталь набуває дрібнозернистої та однорідної структури. Нормалізацією знімають внутрішні напруження, підвищують механічні властивості сталей. Для низьковуглецевої сталі нормалізація може замінити відпал, а для середньо- і високовуглецевої сталі - загартування з високим відпуском. Вона є економічною і продуктивною операцією і широко поширена в машинобудуванні.

Гартування

Гартування полягає в нагріванні сплавів вище температур фазових перетворень і подальшому швидкому охолодженні з метою збереження нестійких (метастабільних) структур, поява яких спричиняє підвищення твердості та міцності.

Стосовно до сталей нагрівання під час гартування зазвичай ведуть до температури A_{c3} (доевтектоїдні сталі) і A_{c1} (заевтектоїдні сталі). Якщо нагрівання ведеться до температур A_{c3} або A_{cm} , то таке загартування називається **повним**, якщо до A_{c1} - **неповним**.

Для доевтектоїдної сталі найвищу твердість отримують при повному загартуванні. Неповне гартування, внаслідок наявності м'якого фериту в структурі сталі, не може забезпечити отримання високої твердості.

Для заевтектоїдної сталі найкращі результати отримують за неповного загартування, оскільки після охолодження утворюється структура мартенситу з включеннями вторинного цементиту, який підвищує твердість і зносостійкість сталі. Повне гартування для цих сталей (нагрівання вище за

лінію SE) спричиняє перегрівання і зайві термічні напруження, а твердість навіть знижується завдяки розчиненню цементиту і наявності залишкового аустеніту (рисунок 3.5) [3].

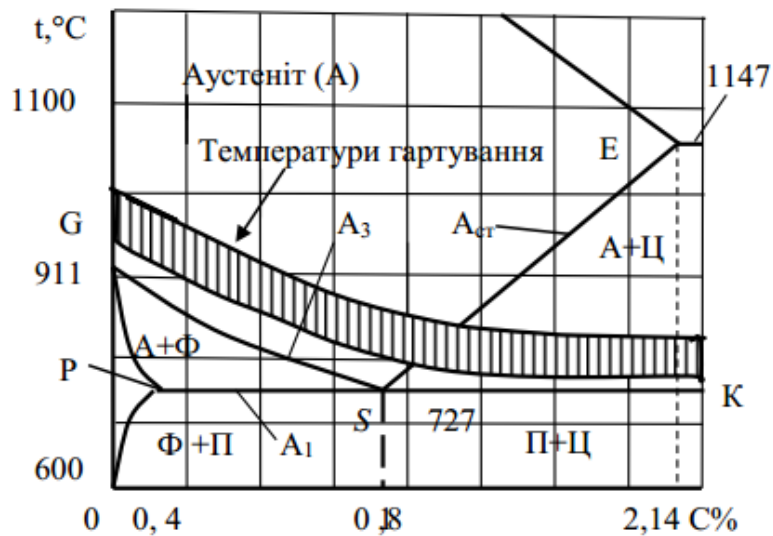


Рисунок 3.5 – Температурний інтервал нагрівання для гартування конструкційних сталей

Нагрівання сталі проводять у печах або у ваннах з розплавленими солями. Нагрівальне середовище має великий вплив на стан поверхневого шару деталі. Під час нагрівання в печі поверхневий шар сталі окислюється і знеуглецьовується. Для запобігання цьому нагрівання бажано проводити в штучно створюваній захисній атмосфері.

Залежно від швидкості охолодження існують два принципово різних способи гартування - загартування на феритно-цементитні суміші та загартування на мартенсит. Під час охолодження зі швидкістю нижче критичної, тобто такої мінімальної швидкості, яка необхідна для утворення мартенситу, виникають структури перлітного типу (перліт, сорбіт, троостит, бейніт). Сорбіт і троостит відрізняються від перліту і один від одного ступенем дисперсності (троостит дисперсніший за сорбіт, а останній - за перліт). Чим структура дисперсніша, тим вищі її механічні властивості.

Охолодження зі швидкістю, вищою за критичну, веде до перетворення аустеніту на мартенсит. Суть перетворення полягає в перебудові кристалічної решітки аустеніту (ГЦК) на решітку фериту (ОЦК). При цьому вуглець, розчинений в аустеніті, виявляється повністю в решітці фериту. Таким чином, мартенсит являє собою пересичений твердий розчин вуглецю у фериті. Кристалічна решітка мартенситу - тетрагональна (спотворена решітка фериту зі збільшеним параметром c).

Якщо при повному гартуванні (повному відпалі) охолодження нагрітої заготовки ведуть на спокійному повітрі, то така термічна обробка називається *нормалізацією*.

Більшість легувальних елементів, розчинених в аустеніті, підвищують його тимчасову стійкість, зрушуючи С-подібні криві ізотермічного перетворення аустеніту праворуч по координатній осі часу. При цьому критична швидкість загартування зменшується (у сталях мартенситного типу цього зменшення виявляється достатнім, щоб уже під час нормалізації отримати мартенситну структуру).

Мартенситне перетворення не захоплює всю аустенітну структуру. Частина аустеніту зберігається в загартованій сталі. Такий аустеніт називають залишковим. Кількість залишкового аустеніту визначається режимами термічної обробки і залежить від температур початку і кінця мартенситного перетворення.

Мартенсит - найтвердіша структура, що утворюється під час термообробки сталей. Чим більше в ньому вуглецю, тим він твердіший.

Температура початку мартенситного перетворення (M_n на рисунку 3.3) не залежить від швидкості охолодження, але визначається складом сплаву. Вуглець і більшість легувальних елементів зсувають точки початку і кінця мартенситного перетворення (M_k на рисунку 3.3) до нижчих температур.

Мартенсит - термодинамічно нестійка структура. Нагрівання, підвищуючи рухливість атомів, призводить до утворення стійкіших структур (трооститу, сорбіту, перліту). З підвищенням температури знижується твердість і зростає пластичність сплаву.

Охолодження при загартуванні проводять у різних середовищах: воді, розчинах солей у воді, мінеральному маслі, на спокійному повітрі. Найвищу охолоджувальну здатність мають сольові розчини і вода. Охолодження в олії відбувається значно повільніше. Охолоджувальне середовище впливає на загартовуваність і прожарюваність сталі цієї марки.

Гартування - це здатність металу підвищувати твердість під час загартування.

Прогартовуваність - це глибина, на яку поширюється загартована область. За наскрізної прогартовуваності властивості матеріалу однорідні та досить високі по всьому перерізу. Кількісно прогартовуваність оцінюють критичним діаметром, під яким розуміють найбільший діаметр прутка, що прогартовується наскрізь (у центрі виникає напівмартенситна структура, яка складається на 50 % з трооститу і на 50 % з мартенситу) в цьому охолоджувачі. Чим більша швидкість тепловідведення (охолодження), тим на більшу глибину прожарюється виріб. Тому критичний діаметр при охолодженні у воді більший, ніж у маслі, і тим більше більший, ніж на повітрі. Особливо сильно збільшують прожарюваність сталей легувальні елементи (крім кобальту), розчинені в аустеніті. Критичний діаметр залежить від критичної швидкості загартування. Чим швидкість менша, тим більший діаметр.

У практиці використовують різні способи гартування залежно від необхідних властивостей виробу і марки сталі. Вони відрізняються один від одного процесом охолодження.

Гартування в одному охолоджувачі - найпростіший спосіб охолодження і застосовується для деталей нескладної форми. Нагріту деталь занурюють у гартівну рідину, де вона залишається до повного охолодження. Для вуглецевих сталей діаметром понад 5 мм гартівним середовищем слугує вода, а для деталей менших розмірів - масло.

Гартування у двох середовищах застосовується для деталей складнішої форми. Нагріту деталь спочатку охолоджують у воді, а потім переносять в олію. При цьому мартенситний інтервал проходять при порівняно повільному охолодженні. Зазвичай цей спосіб використовують при гартуванні інструментів.

Гартування із самовідпуском проводиться в одному охолоджувачі й переривається, коли серцевина має ще значну кількість тепла. За рахунок цього тепла поверхневі шари нагріваються, і їхня в'язкість підвищується. Таке гартування застосовують для ударного інструменту (зубила, керни, ковальський інструмент тощо).

Ступеневе гартування виконується під час охолодження нагрітої деталі в охолоджувачі, що має температуру на 30-50 °С вищу за M_n , і витримки для вирівнювання температури по всьому перерізу виробу. Час витримки має бути меншим за час стійкості аустеніту за цієї температури. Після витримки (в розплаві солей або металів) деталь охолоджують повільніше, що сприяє зменшенню гартівних напружень. Цей спосіб застосовується для загартування виробів діаметром 10-30 мм.

Ізотермічне гартування відрізняється від ступінчастого витримкою в гартівному середовищі до закінчення перетворення аустеніту. У результаті ізотермічного розпаду аустеніту утворюється структура бейніт, сталь має меншу твердість і підвищену в'язкість.

У деяких випадках застосовують гартування, за якого високому нагріванню піддають лише поверхневий шар матеріалу (**поверхнєве гартування**). У результаті поверхневого гартування виріб набуває високої поверхневої твердості, серцевина ж залишається в'язкою. Широко застосовують гартування з індукційним нагріванням струмами високої частоти (ТВЧ). Що вища частота струму, то тонший шар, у якому індукуються струми, і тим тоншим виявиться гартований шар.

Переваги гартування ТВЧ:

- висока продуктивність;
- мінімальні викривлення;
- можливість регулювання глибини загартованого шару;
- повна автоматизація процесу.

Полум'яне поверхнєве гартування виконується при нагріванні поверхні деталі полум'ям газових або киснево-ацетиленових пальників. Цей метод застосовують головним чином для загартування виробів з великою поверхнею, під час індивідуального виробництва або ремонту. Товщина загартованого шару досягає 2-4 мм.

Відпуск (*tempering, drawback*)

Термічна обробка, що полягає в нагріванні загартованої сталі до температури нижче A_{c1} , витримці та подальшому охолодженні з довільною швидкістю, називається **відпуском**. Відпуск сталі виконується після загартування для часткового або повного усунення внутрішніх напружень, підвищення в'язкості та пластичності, зменшення її твердості та крихкості. Чим вище нагрівання, тим більшою мірою структура наближається до рівноважної. Розрізняють три види відпуску:

- ◆ низький ($t = 150-250 \text{ }^\circ\text{C}$);
- ◆ середній ($t = 350-450 \text{ }^\circ\text{C}$);
- ◆ високий ($t = 500-680 \text{ }^\circ\text{C}$).

При **низькому відпуску** загартовану сталь нагрівають до температур $150-200 \text{ }^\circ\text{C}$. За цих температур в окремих ділянках мартенситу виділяються найтонші пластини карбідів заліза. Однак при зазначеній температурі кристали не ростуть. Швидкість дифузії мала і концентрація не встигає вирівнюватися. Після відповідної витримки й охолодження в деталі отримують структуру *відпущеного мартенситу*, водночас частково знімаються внутрішні напруження. Низький відпуск застосовують для інструментальних сталей і деталей, які повинні зберегти поверхневу твердість після загартування.

Під час **середнього відпуску** сталь нагрівають до $350-400 \text{ }^\circ\text{C}$. Швидкість дифузії збільшується, і весь надлишковий вуглець виділяється з ґратки, карбідні частинки відокремлюються і починають рости. Утворена дрібнозерниста суміш фериту і цементиту називається *трооститом відпуску*.

Після такого відпуску у виробів виходить поєднання порівняно високої твердості (HRC 40-50) і міцності з хорошою пружністю і в'язкістю. Середньому відпуску піддають пружини, ресори, ударні інструменти.

При **високому відпуску** сталь нагрівають до температур $500-680 \text{ }^\circ\text{C}$. При цій температурі частинки карбиду ростуть і коагулюються. Така структура називається сорбітом відпуску. Високий відпуск застосовують для деталей машин, що працюють за знакозмінних і ударних навантажень.

Поєднання загартування і високого відпуску називають **поліпшенням**, а сталі, призначені для такої обробки (середньовуглецеві сталі), - **поліпшуваними**.

У деяких випадках нагрівання під час відпуску замінюють тривалою витримкою за нормальної температури. Така обробка називається **старінням**. Якщо старіння проводять з невеликим нагріванням, то його називають **штучним**.

Зазвичай за середнього відпуску утворюється трооститна структура, за високого - сорбітна. Від однойменних структур загартування троостит і сорбіт відпуску відрізняється тим, що цементитні частинки в них мають зернисту форму (у структурах загартування - пластинчасту).

До термічної обробки примикає так звана **термомеханічна обробка** сплавів. Термомеханічною обробкою (ТМО) називають процес зміни будови

і властивостей сплаву завдяки поєднанню пластичної деформації і термічної обробки. При цьому фазові перетворення в сплаві відбуваються під впливом попереднього наклепу проміжної метастабільної структури (аустеніту або мартенситу). ТМО підвищує характеристики міцності сталі за незначного зниження пластичності та ударної в'язкості. Залежно від температури, за якої деформують деталь, розрізняють високотемпературну (ВТМО) і низькотемпературну (НТМО) термомеханічну обробку.

3.2 Хіміко-термічна обробка

Хіміко-термічною обробкою (ХТО) називають процес зміни хімічного складу, структури і властивостей поверхневого шару сплавів. При цьому підвищується поверхнева твердість, зносостійкість, втомна міцність, жаростійкість і корозійна стійкість деталей.

В основі ХТО лежать процеси дисоціації, абсорбції та дифузії.

Дисоціація пов'язана з отриманням насичувального елемента в активному атомарному стані.

Абсорбція - накопичення поверхнею деталі атомів насичувального елемента.

У результаті **дифузії** відбувається переміщення атомів у глиб виробу.

До хіміко-термічної обробки належать:

- ◆ цементация;
- ◆ азотування;
- ◆ ціанування;
- ◆ дифузійна металізація.

Цементация сталі

Цементацияю називається процес насичення сталі вуглецем для отримання деталі з твердою поверхнею і в'язкою серцевиною. Цементують зазвичай вироби, що працюють одночасно на стирання й удар, виготовлені з вуглецевої та легованої сталі із вмістом вуглецю 0,15-0,35 % С.

Під час цементации деталь нагрівають у вуглецевмісних речовинах до аустенітного стану (880-1000 °С) і витримують тривалий час, щоб відбулася дифузія вуглецю з поверхні в глиб виробу. Насичують поверхневий шар до 0,8-1,2 % С на глибину до 3 мм. Середня швидкість цементации - 0,1 мм/год.

Після цементации поверхневий шар набуває структури евтектоїдної та заевтектоїдної сталі. Необхідне зміцнення шару досягається подальшим загартуванням і низьким відпуском. Після термообробки поверхневий шар виробу складається з високовуглецевого мартенситу, серцевина - з низьковуглецевого в'язкого мартенситу (за умови достатньої прожарюваності) або зберігає феритно-перлітну структуру доевтектоїдної сталі.

Речовини, що застосовуються для науглецювання, називаються **карбюризаторами**. Залежно від виду застосовуваного карбюризатора розрізняють газову і тверду цементацию.

Газова цементация - найбільш продуктивний і прогресивний метод вуглецювання сталі. Деталі нагрівають у герметичних печах в атмосфері вуглецевмісних газів (метан, природний газ, вуглекислий газ). При високій температурі відбувається дисоціація вуглецю ($\text{CH}_4 \rightarrow \text{C} + 2\text{H}_2$; $2\text{CO} \rightarrow \text{C} + \text{CO}_2$) і процес насичення аустеніту атомарним вуглецем.

Тверда цементация - старий метод ХТО. Деталі упаковують у металеві ящики, пересипаючи їх твердим карбюризатором - сумішшю деревного вугілля з активаторами (BaCO_3 , Na_2CO_3) і нагрівають у печі. За температури цементации вуглекислі солі легко розпадаються з виділенням вуглекислого газу $\text{BaCO}_3 \rightarrow \text{BaO} + \text{CO}_2$. Вуглекислий газ, вступаючи в реакцію з твердим вугіллям карбюризатора, утворює окис вуглецю $\text{CO}_2 + \text{C}_{\text{вуг}} \rightarrow 2\text{CO}$. Окис вуглецю в присутності заліза розкладається на атомарний вуглець і двоокис вуглецю $2\text{CO} \rightarrow \text{C} + \text{CO}_2$. Атомарний вуглець, що виділився, розчиняється в аустеніті й дифундує в глиб виробу.

Цементация твердим карбюризатором порівняно з газовою вимагає більше часу, трудомістка і погано піддається автоматизації. Однак простота здійснення робить цей метод доступним в умовах ремонтного виробництва.

Азотування сталі

Азотуванням називають процес насичення поверхневого шару сталі азотом з метою підвищення твердості, зносостійкості, втомної міцності та корозійної стійкості виробу. Цей процес заснований на здатності заліза за певних умов поглинати і розчиняти в собі атомарний азот. Азотуванню піддають леговану сталь, що містить хром, молібден, алюміній, вольфрам. Підвищення твердості та корозійної стійкості виробу досягається завдяки утворенню в його поверхневому шарі подрібнених нітридів - хімічних сполук азоту з металом. Азотування проводять у спеціальних герметичних печах за $500-520\text{ }^\circ\text{C}$, в атмосфері аміаку, який під час нагрівання дисоціює за реакцією $2\text{NH}_3 = 2\text{N} + 6\text{H}$.

Атомарний азот поглинається поверхнею і дифундує в глиб деталі, утворюючи тверді розчини і хімічні сполуки - нітриди (AlN , MoN та ін.).

Глибина азотованого шару $0,3-0,6\text{ мм}$, при цьому твердість поверхневого шару досягає $\text{HV } 10000-12000\text{ МН/м}^2$. Швидкість азотування становить близько $0,01\text{ мм}$ за годину витримки.

Азотування проводять після загартування, високого відпуску та остаточної механічної обробки.

Азотування має низку переваг порівняно з цементацией: забезпечує вищу твердість, яка зберігається за вищих температур ($600-650\text{ }^\circ\text{C}$); підвищує границю втоми. Однак азотований шар вирізняється значною крихкістю.

Азотуванню піддають шийки валів, клапани, шестерні, шаблони тощо. У харчовому машинобудуванні застосовують азотування найчастіше для того, щоб отримати корозійно стійкий поверхневий шар, при цьому не ставлять за мету підвищення його твердості. Такому азотуванню можуть піддаватися вироби зі звичайної вуглецевої сталі. Це так зване антикорозійне

азотування. Воно здійснюється зазвичай на глибину 0,02-0,04 мм за більш високих температур і значно менших витримок.

Під час антикорозійного азотування високовуглецевих сталей поєднують процес азотування і загартування. Після витримки за температури азотування вироби загартовують у воді або олії, а потім відпускають.

Ціанування сталі

Ціануванням називають процес одночасного насичення поверхні сталі вуглецем і азотом з метою підвищення твердості, зносостійкості, втомної міцності та корозійної стійкості. Цей вид ХТО займає проміжне місце між цементацією та азотуванням. Спільна дифузія вуглецю й азоту відбувається швидше, ніж кожного елемента окремо.

Ціанування буває високотемпературним (за 800-950 °С) і низькотемпературним (за 540-560 °С).

При високотемпературному ціануванні поверхня насичується до 0,8-1,2 % С і 0,2-0,3 % N на глибину 1-2 мм за 5-6 годин. Після ціанування виріб піддають загартуванню і низькому відпуску. На відміну від цементації при цьому підвищується і корозійна стійкість виробу.

При низькотемпературному ціануванні поверхню насичують головним чином азотом на глибину 0,01-0,03 мм (витримка до однієї години). Процес застосовують для обробки інструменту зі швидкорізальної сталі, що пройшла термічну обробку. При цьому значно підвищується стійкість різального інструменту.

Ціанування проводять у рідких або газових середовищах.

Рідке ціанування виконують у ваннах із розчином ціаністих солей (NaCN, KCN, Ca(CN)₂ та ін.). За температури протікання процесу ці солі розкладаються, виділяючи активні атоми С і N, які дифундують у метал. Ціаністі солі дуже отруйні, що є недоліком рідкого ціанування.

Газове ціанування (нітроцементацию) проводять у суміші газів, що вуглецюють і азотують (вуглецевмісні гази й аміак).

Дифузійна металізація

Дифузійною металізацією називається процес поверхневого насичення шару сталі різними металами з метою підвищення зносостійкості, корозійної стійкості та жаростійкості виробу. Найбільшого застосування набули процеси:

- алітування;
- борування;
- силіціювання;
- дифузійного хромування.

Алітування (насичення алюмінієм) застосовують головним чином для підвищення окалинотійкості деталей з низьковуглецевих сталей, що працюють за підвищеної температури (газовідвідні труби двигунів, камери тощо). Товщина алітованого шару досягає 0,4 мм за 6 годин. Висока

окалиностійкість пояснюється утворенням на поверхні міцної плівки окису алюмінію.

Борування (насичення бором) застосовують для підвищення твердості, зносостійкості, теплостійкості та корозійної стійкості виробу. На поверхні утворюється шар товщиною до 0,2 мм (за витримки 6-8 годин), що складається з боридів заліза і твердого розчину бору у фериті. Твердість борованого шару на вуглецевій сталі досягає HV 20000 (Мн/м²).

Силіціювання (насичення кремнієм) застосовують для підвищення жаростійкості, корозійної стійкості, опору зносу. Процес насичення кремнієм протікає при 1000-1200 °С, час витримки 2-12 годин, товщина дифузійного шару досягає 1 мм.

Хромування (насичення хромом) застосовують для підвищення кислотостійкості та корозійної стійкості низьковуглецевих сталей і для збільшення твердості та зносостійкості середньо- і високовуглецевої сталі. Процес хромування ведуть протягом 6-12 годин за 1000-1500 °С, твердість отриманого шару досягає HV 20000 Мн/м².

У промисловості хромування застосовують для зміцнення лопаток газових турбін, деталей форсунок, насосів, поршневих кілець, ріжучого інструменту тощо.

Як і при інших видах ХТО, дифузійну металізацію можна проводити в твердих, рідких і газоподібних середовищах.

Під час твердої дифузійної металізації металізатором є феросплав із додаванням хлористого амонію (NH₄Cl). Унаслідок реакції металізатора з HCl або Cl₂ утворюється летка сполука хлору з металом (AlCl₃; CrCl₂; SiCl₄ тощо), яка в результаті контакту з металевою поверхнею дисоціює з утворенням вільних атомів.

Рідку дифузійну металізацію проводять зануренням деталі в розплавлений метал.

Газову дифузійну металізацію проводять у газових середовищах, що є хлоридами різних металів.

Дифузійна металізація є дорогим процесом. Тільки особливі властивості шару і можливість економії легувальних елементів зумовлюють застосування цього методу в промисловості.

Контрольні питання

3.1 Як збільшується міцність, твердість і знижується пластичність сталі зі зміною дисперсності ферито-цементитних сумішей?

3.2 Що позначають символи $M_{\text{п}}$ і $M_{\text{к}}$ на лініях діаграми ізотермічного розпаду аустеніту?

3.3 Що таке мартенсит?

3.4 Яку кристалічну решітку має мартенсит?

3.5 Яка мета термічної обробки сплавів?

3.6 Перелічіть види відпалу.

3.7 Яка мета відпалу?

- 3.8 Як змінюється структура сталі після нормалізації?
- 3.9 Який вид загартування рекомендований для доевтектоїдних сталей, а який - для заевтектоїдних і чому?
- 3.10 Що таке критична швидкість охолодження під час загартування?
- 3.11 У яких охолоджувальних середовищах можна проводити гартування вуглецевих і легированих сталей?
- 3.12 Дайте визначення загартовуваності та прожарюваності сталей.
- 3.13 Який вид загартування рекомендується проводити для отримання високої твердості поверхневого шару зі збереженням в'язкої серцевини? Яка технологія цього виду загартування?
- 3.14 Яка мета відпуску загартованих сталей?
- 3.15 Перелічіть види відпуску та відмінності технології їх проведення.
- 3.16 Що таке старіння сталі?
- 3.17 Що таке термомеханічна обробка сплавів? Як змінюються механічні властивості сплавів під час її проведення?
- 3.18 Назвіть цілі хіміко-термічної обробки сплавів.
- 3.19 Які хімічні процеси лежать в основі ХТО?
- 3.20 Що таке дисоціація?
- 3.21 Що таке дифузія?
- 3.22 Яких властивостей набуває сталь після її цементації?
- 3.23 Які сталі піддають цементації?
- 3.24 Яку термічну обробку необхідно проводити після цементації сталі?
- 3.25 Які сталі піддають азотуванню і з якою метою?
- 3.26 Як здійснюють процес азотування?
- 3.27 Яка термічна обробка супроводжує процес азотування?
- 3.28 Які деталі піддають азотуванню?
- 3.29 Що таке ціанування сталі?
- 3.30 У чому переваги та недоліки ціанування порівняно з цементацією та азотуванням?
- 3.31 У яких середовищах проводять тверду, рідку та газову дифузійну металізацію?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 3

ТЕРМІЧНА ОБРОБКА ВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ

Мета заняття. Ознайомитися з обладнанням і методикою термічної обробки вуглецевих сталей, вивчити зміну структури і властивостей вуглецевої сталі в результаті термічної обробки.

Прилади, інструменти та матеріали

1. Шахтна електрична піч.

2. Металографічний мікроскоп ЛабоМет-1.
3. Твердомір HBRV-187,5.
4. Кліщі.
5. Загартовувальне середовище.
6. Зразки вуглецевої сталі.
7. Альбом із фотографіями мікроструктур.
8. Стенди та плакати.

Теоретичні відомості

Термічною обробкою сталі називається технологічний процес, що складається з її нагрівання до певної температури, витримки за цієї температури та подальшого охолодження із заданою швидкістю. Під час термічної обробки отримують необхідні властивості сталі, змінюючи її структуру без зміни хімічного складу.

Відпал сталі

Відпалом сталі називають термічну обробку, за якої доєвтектоїдну сталь нагрівають вище за критичну точку A_{c3} , а заєвтектоїдну - вище за A_{c1} на 30-50 °С (див. рисунок 3.4) і після витримки повільно охолоджують у печі. При цьому отримують найбільш рівноважні структури: ферит з перлітом, перліт і перліт з цементитом. Основне призначення відпалу - переорганізація зерна сталі, зниження твердості та зняття внутрішніх напружень.

Нормалізація сталі

Нормалізацією сталі називають нагрівання доєвтектоїдних сталей вище за критичну точку A_{c3} , евтектоїдних і заєвтектоїдних сталей - вище за критичну точку A_{c1} на 30-50 °С з нетривалою витримкою та подальшим охолодженням на повітрі. Після нормалізації вуглецеві сталі мають ту саму структуру, що і під час відпалу, але перлітні суміші виходять більш дисперсними, оскільки розпад аустеніту відбувається за великих ступенів переохолодження. *Мета нормалізації* - переорганізація зерна сталі, зняття внутрішніх напружень, підготовка сталі до подальшої пластичної деформації, механічної або термічної обробки. *Нормалізація* - дешевий і простий вид термічної обробки вуглецевих сталей, що містять менше ніж 0,5-0,6% С, при підготовці їх до обробки різанням може замінити відпал. У заєвтектоїдних сталях нормалізація з температурою вище A_{cm} призначена для усунення цементитної сітки.

Гартування сталі

Гартуванням сталі називається термічна обробка, що складається з нагрівання доєвтектоїдних сталей вище за критичну точку A_{c3} , евтектоїдних і еаевтектоїдних сталей вище за A_{c1} на 30-50 °С, витримки за такої температури та подальшого охолодження зі швидкістю, більшою за критичну, тобто мінімальною швидкістю охолодження, що забезпечує перетворення переохолодженого аустеніту на мартенсит. За швидкості охолодження, більшої за критичну, вуглець не встигає виділитися з кристалічної ґратки (відповідно до її перебудови з γ -заліза в α -залізо), унаслідок чого утворюється однофазний пересичений твердий розчин вуглецю в α -залізі, голчаста структура, що дістала назву мартенситу (рисунок 3.6).

При цьому спостерігаються значні спотворення просторової решітки, створюється висока щільність дислокацій, у сталі накопичується значна внутрішня потенційна енергія. Сталь набуває високої твердості, але її пластичність при цьому знижується.



Рисунок 3.6 – Мікроструктура загартованої сталі (мартенсит), $\times 500$

Вибір режимів термічної обробки сталі

Вибір режимів зводиться до визначення температури нагріву сталі, часу нагріву в печі, до вибору охолоджувального середовища (швидкості охолодження).

Температура нагріву сталі під *відпал*, *нормалізацію* і *повне гартування* ($T_{т.о}$) визначається:

для доевтектоїдних сталей із виразу

$$T_{т.о} = A_{с3} + (30-50), \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (3.1)$$

для звтектоїдної та заевтектоїдних сталей, а також у разі неповного загартування з виразу

$$T_{т.о} = A_{с1} + (30-50) \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (3.2)$$

Значення $A_{с3}$, $A_{с1}$ і $A_{сm}$ визначаються за діаграмою стану Fe-C залежно від вмісту вуглецю в сталях.

Час нагріву сталі під час відпалу, нормалізації та загартування складається з часу прогрівання зразків до заданої температури і часу витримки при цій температурі.

Час на прогрів 1 мм товщини зразка наводиться в таблиці 3.2.

Час витримки після досягнення встановленої температури береться рівним 1-2 хв.

Час нагріву під час термообробки (τ_n) визначається з виразу

$$\tau_n = \tau_{\text{прогр.}} + \tau_{\text{вид.}} = \tau_{\text{пит.}} \cdot d + \tau_{\text{вии.}}, \quad (3.3)$$

де $\tau_{\text{пит}}$ - питомий час, що припадає на одиницю розміру зразка;

d - діаметр зразка, мм;

$\tau_{\text{вии}}$ - час витримки в печі; $\tau_{\text{вии}} = 1-2$ хв.

Таблиця 3.2- Орієнтовна тривалість нагрівання виробів в електропечі

Температура нагріву, $^\circ\text{C}$	Форма виробу в перерізі		
	Коло	Квадрат	Пластина
	Тривалість нагріву в хвиликах		
	на 1 мм діаметра	на 1 мм товщини	на 1 мм товщини
600	2,0	3,0	4,0
700	1,5	2,2	3,0
800	1,0	1,5	2,0
900	0,8	1,2	1,6
1000	0,4	0,6	0,8

Вибір швидкості охолодження

Швидкість охолодження сталі визначається в основному отриманням необхідної структури. Під час відпалу сталь охолоджується повільно, разом із піччю. При нормалізації сталь охолоджується на спокійному повітрі. При загартуванні швидкість охолодження має бути більшою, і тому вдаються до використання рідин. Охолоджувальна здатність основних гартівних середовищ наведена в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Характеристика гартівних середовищ

Охолоджувальні середовища	Швидкість охолодження, °C/с, в інтервалі	
	від $T_{зак}$ до $M_{п}$	від $M_{п}$ до 20 °C
Вода при $t = 20$ °C	600	200
Вода при $t = 28$ °C	500	200
10 % розчин NaCl при $t = 18$ °C	1100	300
Мінеральне масло	120	30
Розплавлені солі при $t = 300$ °C	150	–
Спокійне повітря	3	1

Приклад розрахунку швидкості охолодження зразка сталі марки 45

Рішення: для сталі 45 за діаграмою Fe-C визначаємо температуру нагрівання для загартування $A_{с3}$, яка становить 830-860 °C. Температуру в точках $M_{п}$ і $M_{к}$ визначаємо за графіком залежності положення цих точок від концентрації вуглецю в сталі (рисунок 3.7).

$$M_{п} = 320 \text{ °C}; M_{к} = 90 \text{ °C}.$$

$$M_{н} = 320 \text{ °C}; M_{к} = 90 \text{ °C}.$$

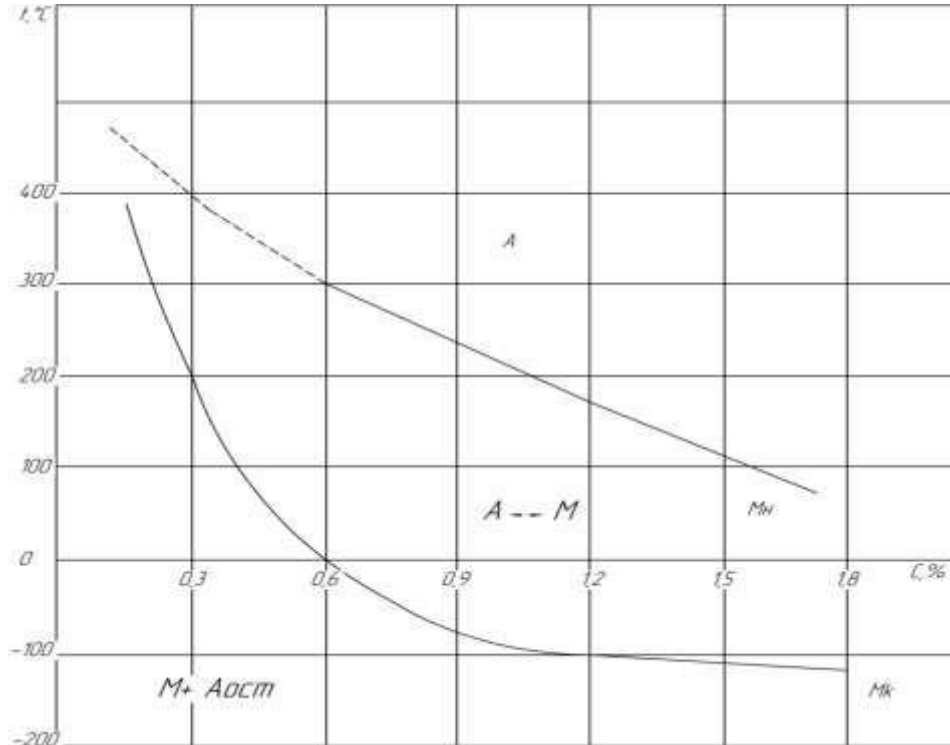


Рисунок 3.7 – Вплив вмісту вуглецю на температуру початку ($M_{п}$) і кінця ($M_{к}$) мартенситного перетворення

Виділяємо два температурні діапазони:

I - від $T_{\text{зак}}$ до $M_{\text{п}}$ (від $850\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $320\text{ }^{\circ}\text{C}$);

II - від $M_{\text{п}}$ до $t_{\text{кімн.}}$ (від $320\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $20\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Як охолоджувальне середовище вибираємо воду при $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Для цього охолоджувального середовища час охолодження в першому температурному діапазоні дорівнює

$$\frac{850 - 320}{600} = \frac{530}{600} = 0,9 \text{ с,}$$

де $600\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$ - швидкість охолодження (таблиця 3.3).

Час охолодження в другому температурному діапазоні дорівнює:

$$\frac{320 - 20}{200} = \frac{300}{200} = 1,5 \text{ с,}$$

Якщо при нанесенні на С-подібну діаграму кривої охолодження остання перетне С-подібну криву початку розпаду аустеніту, то розрахунок проводять наново для більш інтенсивного охолоджувального середовища.

Режим термообробки відображається графіком у координатах температура-час (рисунок 3.8).

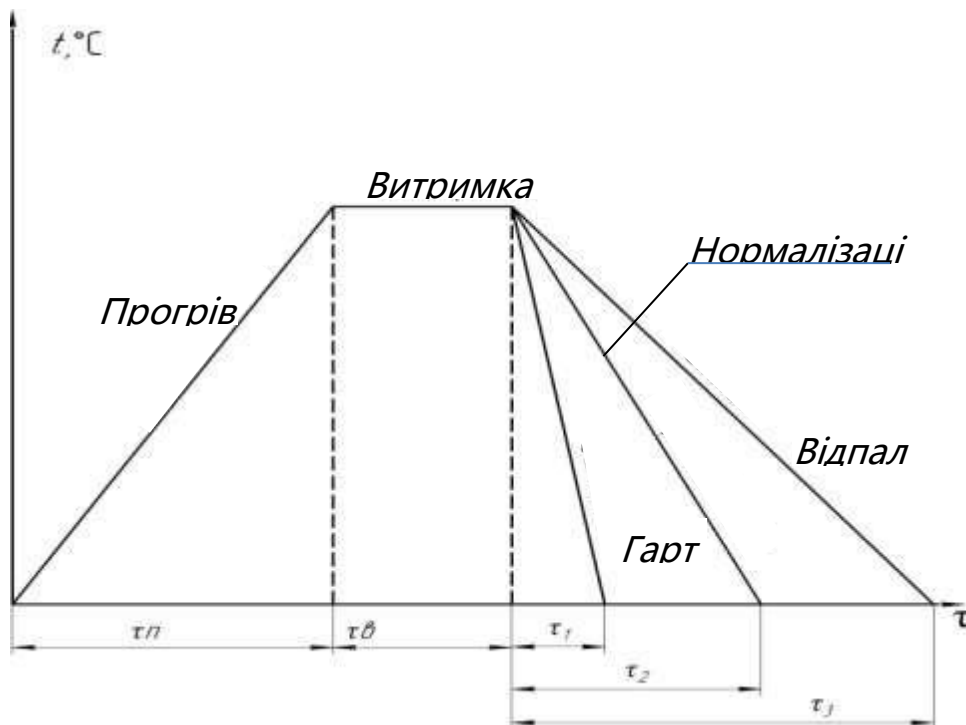


Рисунок 3.8 – Графік різних видів термічної обробки:

$\tau_{\text{п}}$ - час прогрівання; $\tau_{\text{в}}$ - час витримки; τ_1 - час охолодження під час загартування; τ_2 - час охолодження під час нормалізації; τ_3 - час охолодження під час відпалу.

Порядок виконання роботи

Отримані у викладача зразки сталі, напилком і наждачним папером зачистити їхні поверхні і штангенциркулем заміряти розміри зразків, записавши їх у протокол (таблиця 3.4).

Виміряти твердість отриманих і підготовлених зразків до термічної обробки на одному з приладів Брінелля або Роквелла, дані занести в протокол.

Визначити за довідниками або за діаграмою Fe-C параметри режиму термічної обробки зразків.

Завантажити зразки в піч і після заданої витримки послідовно помістити в охолоджувальне середовище.

Після повного охолодження виміряти твердість зразків на одному з приладів. Отримані результати порівняти з даними, що передують термообробці.

Зміст звіту

До звіту необхідно включити: опис видів термообробки та їхнє практичне застосування; ділянку діаграми стану залізо-вуглець для сталей і вказати на ній ділянку оптимальних температур нагріву для термічного оброблення; протокол результатів випробувань; графік термічного оброблення в координатах температура - час; висновок, зазначивши вплив швидкості охолодження та температури загартування на твердість сталі; креслення структури зразків сталі до і після загартування.

Контрольні питання

1. Що називається термічною обробкою?
2. Які операції термічної обробки застосовуються?
3. Що таке відпал, нормалізація та загартування?
4. Чим відрізняються повне і неповне загартування?
5. Що називається критичною швидкістю загартування?
6. Як здійснюється ізотермічне загартування і коли воно застосовується?
7. Які середовища під час загартування найчастіше застосовуються? Назвіть їхні характеристики.
8. Як впливає швидкість охолодження під час загартування на структуру і властивості сталі?
9. Що називається мартенситом? Його властивості.
10. Які дефекти виникають у сталі під час загартування і як їх усувають?

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДО ТЕМИ 3

1. Структурна складова, що являє собою пересичений твердий розчин вуглецю в α -залізі:

- A) аустеніт;
- B) мартенсит;
- C) ферит;
- D) цементит.

2. Термічна обробка сталі, що полягає в нагріванні її до аустенітного стану, витримці та подальшому швидкому охолодженні:

- A) відпал;
- B) повне загартування;
- C) неповне загартування;
- D) нормалізація.

3. Температура, з якою проводять загартування вуглецевих заевтектоїдних сталей:

- A) на 30-50 °C вище A_1 ;
- B) на 30-50 °C нижче лінії ECF діаграми Fe-C;
- C) на 30-50 °C вище евтектичної температури;
- D) на 30-50 °C вище A_1 .

4. Температура загартування сталі 50 становить:

- A) 600-620 °C;
- B) 810-830 °C;
- C) 740-760 °C;
- D) 1030-1050 °C.

5. Температура загартування сталі У12 становить:

- A) 760-780 °C;
- B) 600-620 °C;
- C) 1030-1050 °C;
- D) 820-840 °C.

6. Загартовуваність:

- A) глибина проникнення загартованої зони;
- B) процес утворення мартенситу;
- C) здатність металу швидко прогріватися на всю глибину;
- D) здатність металу підвищувати твердість при загартуванні.

7. Термічна обробка, що полягає в нагріванні загартованої сталі нижче A_1 , витримці та подальшому охолодженні на повітрі:

- A) відпал;
- B) загартування;

- C) відпуск;
- D) нормалізація.

8. Вид відпуску, за якого загартований виріб набуває найбільшої пластичності:

- A) низький відпуск;
- B) високий відпуск;
- C) пластичність сталі є її природною характеристикою і не залежить від виду відпуску;
- D) середній відпуск.

9. Термічна обробка, що складається із загартування і високого відпуску:

- A) нормалізація;
- B) поліпшення;
- C) сфероїдизація;
- D) повне загартування.

10. Термічна обробка сталі, що полягає в нагріванні її до аустенітного стану, витримці та подальшому охолодженні разом із піччю:

- A) неповний відпал;
- B) повний відпал;
- C) рекристалізаційний відпал;
- D) низький відпал.

11. Термічна обробка сталі, що полягає в нагріванні її до аустенітного стану і подальшого охолодження на спокійному повітрі:

- A) істинне загартування;
- B) поліпшення;
- C) неповний відпал;
- D) нормалізація.

12. Виріб, для якого рекомендовано загартування і середній відпуск:

- A) свердло;
- B) мітчик;
- C) вал;
- D) пружина.

13. Виріб, для якого рекомендовано загартування і низький відпуск:

- A) свердло;
- B) ресора;
- C) вал;
- D) пружина.

14. Виріб, для якого рекомендовано загартування і високий відпуск:

- A) свердло;
- B) ресора;
- C) вал;
- D) пружина.

15. Операції термообробки знову виготовленої шпильки головки блока:

- A) високий відпуск;
- B) загартування;
- C) відпал;
- D) загартування і високий відпуск.

16. Сталь, яка не зміцнюється під час загартування:

- A) 20;
- B) 45;
- C) 65;
- D) У12.

17. Кристалічна решітка, яку має мартенсит:

- A) кубічна;
- B) ГПУ;
- C) тетрагональна;
- D) ГЦК.

18. Критична швидкість охолодження при загартуванні:

- A) максимальна швидкість охолодження, за якої ще протікає розпад аустеніту на структури перлітного типу;
- B) мінімальна швидкість охолодження, необхідна для отримання мартенситної структури;
- C) мінімальна швидкість охолодження, необхідна для фіксації аустенітної структури;
- D) мінімальна швидкість охолодження, необхідна для загартування виробу по всьому перерізу.

19. Лінія діаграми стану залізо-вуглець, на якій розташовані критичні точки A_m :

- A) PSK;
- B) SE;
- C) ECF;
- D) GS.

20. Лінія діаграми стану залізо-вуглець, на якій розташовані критичні точки A_3 :

- A) PSK;
- B) SE;

- C) ECF;
- D) GS.

21. Лінія діаграми стану залізо-вуглець, на якій розташовані критичні точки A_1 :

- A) PSK;
- B) SE;
- C) ECF;
- D) GS.

22. Структурний склад, якого набуває доевтектоїдна сталь після загартування від температури вище A_{c1} , але нижче A_{c3} :

- A) мартенсит + вторинний цементит;
- B) мартенсит + ферит;
- C) ферит + перліт;
- D) перліт + вторинний цементит.

23. Фактор, що не дає змоги застосовувати неповне загартування для доевтектоїдних сталей (на відміну від заевтектоїдних):

- A) утворюється мартенсит із малим ступенем пересичення вуглецем;
- B) утворюються структури немартенситного типу (сорбіт, троостит);
- C) виріб прожарюється на недостатню глибину;
- D) у структурі, поряд із мартенситом, залишаються включення фериту.

24. Вплив температури відпуску на твердість виробів із вуглецевої сталі:

- A) вплив температури відпуску на твердість неоднозначний;
- B) чим вища температура нагріву, тим вища твердість;
- C) чим вища температура нагрівання, тим нижча твердість;
- D) твердість не залежить від температури.

25. Поліпшення сталі:

- A) загартування на мартенсит і подальший високий відпуск на сорбіт;
- B) відпал на перліт;
- C) загартування на троостит;
- D) загартування на мартенсит і низький відпуск.

26. Операція термічної обробки, яку проводять для зменшення кількості залишкового аустеніту у вуглецевих сталях після загартування:

- A) гомогенізуючий відпал;
- B) обробка холодом;
- C) низький відпуск;

D) високий відпуск.

27. Операція термічної обробки, яку використовують для усунення грубозернистої структури сталі:

- A) нормалізація;
- B) гомогенізуючий відпал;
- C) поліпшення;
- D) загартування.

28. Фактор, який впливає на загартовуваність сталі:

- A) ступінь розкислення;
- B) вміст домішок;
- C) вміст вуглецю;
- D) вміст легуючих домішок.

29. Структурна складова, на яку перетворюється мартенсит під час середнього відпуску вуглецевих сталей:

- A) сорбіт відпуску;
- B) перліт відпуску;
- C) мартенсит відпуску;
- D) троостит відпуску.

30. Температури, за яких проводять неповний відпал заевтектоїдних сталей:

- A) 750-780 °C;
- B) 660-680 °C;
- C) 160-180 °C;
- D) 1100-1200 °C.

31. Операція термічної обробки, яку використовують для отримання зернистого перліту в структурі заевтектоїдних сталей:

- A) неповний відпал;
- B) нормалізація;
- C) повний відпал;
- D) гомогенізуючий відпал

32. Ферито-цементитна суміш, яка має найбільшу твердість:

- A) сорбіт;
- B) зернистий перліт;
- C) пластинчастий перліт;
- D) троостит.

33. Установіть відповідність виду відпуску температурі нагрівання:

- | | |
|---------------|-------------------------|
| Вид відпуску: | Температура нагрівання: |
| 1) низький; | A) 150-200 °C; |

- C) ціанування (нітроцементация);
- D) модифікування.

42. Сталі, які піддаються цементации:

- A) високовуглецеві (понад 0,7 % C);
- B) високолеговані;
- C) низьковуглецеві (0,1-0,25 % C);
- D) середньовуглецеві (0,3-0,5 % C).

43. Обробка, яка застосовується для зміцнення вала, виготовленого зі сталі 18ХГТ:

- A) об'ємне загартування;
- B) цементация, загартування, низький відпуск;
- C) загартування струмами високої частоти;
- D) ступеневе загартування.

44. Сталі, які піддаються цементации:

- A) 40ХНЗМА, 30ХГСА;
- B) Х12М1, У10;
- C) 15ХФ, 20;
- D) 65, ШХ15.

45. Сталі, які піддаються азотуванню:

- A) 40ХНЗМА, 30ХГСА;
- B) Х12М1, У10;
- C) 15ХФ, 20;
- D) 65, ШХ15.

46. Обробка, що полягає в насиченні поверхні сталі азотом:

- A) азотування;
- B) поліпшення;
- C) ціанування (нітроцементация);
- D) модифікування.

47. Обробка, що полягає в насиченні поверхні сталі вуглецем:

- A) азотування;
- B) поліпшення;
- C) ціанування (нітроцементация);
- D) цементация.

48. Обробка, що полягає в насиченні поверхні сталі алюмінієм:

- A) алітування;
- B) хромування;
- C) борування;
- D) силіціювання.

49. Обробка, що полягає в насиченні поверхні сталі кремнієм:

- A) алітування;
- B) хромування;
- C) борування;
- D) силіціювання.

50. Карбюризатор:

- A) речовина, що слугує джерелом вуглецю під час цементації;
- B) карбід легуючих елементів;
- C) пристрій для отримання паливоповітряного середовища;
- D) металевий ящик із речовиною, що науглерожує.

51. Хіміко-термічна обробка металів:

- A) обробка поверхні металу хімічно активними речовинами з метою видалення з поверхні оксидних плівок;
- B) коригування хімічного складу сталі в процесі виплавки шляхом введення в розплав легуючих елементів;
- C) обробка, що проводиться для підвищення механічних властивостей;
- D) термічна обробка металів у хімічно активному середовищі, що змінює склад і властивості поверхневого шару виробу.

52. Операції, які проводять після цементації деталі:

- A) загартування і низький відпуск;
- B) загартування і високий відпуск;
- C) нормалізація і відпал;
- D) додаткова термообробка.

53. Мета азотування:

- A) отримання дрібнозернистої структури серцевини;
- B) збільшення пластичності поверхневого шару;
- C) підвищення окалиностійкості;
- D) підвищення твердості, зносостійкості, корозійної стійкості поверхневого шару.

54. Доповніть:

Процес насичення поверхневого шару сталі вуглецем називається_____ .

55. Доповніть:

Поверхнєве насичення сталі хромом називається _____.

56. Послідовність операцій під час цементації деталей:

- A) загартування;
- B) цементація;
- C) низький відпуск.

МОДУЛЬ 2. МАШИНОБУДІВНІ МАТЕРІАЛИ

ТЕМА 4. ЛЕГОВАНІ СТАЛІ ТА СПЛАВИ. КОЛЬОРОВІ МЕТАЛИ ТА СПЛАВИ

План

- 4.1 Класифікація та маркування легованих сталей
- 4.2 Конструкційні сталі
- 4.3 Інструментальні та штампувальні сталі та сплави
- 4.4 Сталі з особливими властивостями
- 4.5 Кольорові метали та сплави
- 4.6 Алюміній та його сплави
- 4.7 Мідь та її сплави
- 4.8 Титан і його сплави
- 4.9 Антифрикційні сплави

Легованими називають сталі, в які для отримання необхідних властивостей спеціально вводять легувальні елементи (л.е.).

Легуванням покращують механічні та змінюють фізичні, хімічні й технологічні властивості. Це відбувається внаслідок дії легувальних елементів на алотропічні властивості заліза.

Усі легувальні елементи за впливом на температуру алотропічних перетворень заліза можна розділити на дві групи.

Перша група: Ni, Mn, C, N, Cu та ін. - збільшують стійкість аустеніту, тобто підвищують точку A_4 і знижують точку A_3 .

Друга група: Si, Cr, Al, Mo, W, V, Ti, B та ін. - збільшують стійкість фериту, тобто знижують точку A_4 і підвищують точку A_3 .

Понад певну кількість елементів першої групи γ -стан є стабільним від кімнатної температури до температури плавлення. Такі сталі називають **аустенітними**. При вмісті в сплаві елементів другої групи стабільним буде α -стан. Такі сталі називають **феритними**.

На відміну від інших залізовуглецевих сплавів аустенітні та феритні сталі не мають перетворень під час нагрівання та охолодження.

Впливають легувальні елементи і на положення точок M_n і M_k (початку і кінця мартенситного перетворення). Більшість л.е. знижують температуру початку мартенситного перетворення M_n і, отже, збільшують кількість залишкового аустеніту (за винятком Al, Co, Si).

У легованих сталях легувальні елементи можуть розчинятися у фериті, аустеніті та цементиті або утворювати спеціальні карбіди.

Легувальні елементи, розташовані в періодичній системі правіше від заліза (нікель, кремній, мідь, кобальт тощо), не утворюють карбідів, вони тільки розчиняються у фериті або аустеніті; елементи, розташовані лівіше (титан, ванадій, хром, марганець, цирконій, ніобій, молібден, вольфрам), частково розчиняються у фериті або аустеніті й утворюють карбіди. Чим далі віддалений елемент від заліза, тим стійкіші його карбіди і тим важче

вони дисоціюють і розчиняються в аустеніті. Невеликі присадки карбідоутворювальних елементів розчиняються в цементиті, утворюючи легований цементит $(\text{Fe,Cr})_3\text{C}$, $(\text{Fe,W})_3\text{C}$ тощо. При збільшенні вмісту елемента утворюються спеціальні карбіди: Cr_7C_3 , Cr_{23}C_6 , TiC , WC , VC тощо. Усі карбіди мають високу твердість, наявність їх у структурі особливо важлива для інструментальних і зносостійких сталей.

У конструкційних сталях основними л.е. є хром, нікель, кремній і марганець.

Нікель збільшує пластичність і в'язкість сталі, знижує температуру порога холодноламкості, підвищує прожарюваність.

Хром підвищує жаростійкість, корозійну стійкість і прожарюваність сталі, збільшує її електричний опір і зменшує коефіцієнт лінійного розширення.

Кремній широко використовується при виплавці сталі як розкислювач. Легування кремнієм вуглецевих і хромистих сталей збільшує їхню жаростійкість.

Марганець, подібно до нікелю, знижує критичну швидкість охолодження, але на відміну від останнього зменшує і в'язкість фериту. Марганець часто служить заміником нікелю, оскільки дешевший за нього.

Вольфрам, молібден, ванадій, титан, бор та інші вводять у сталь спільно з хромом, нікелем і марганцем для додаткового поліпшення її властивостей.

Молібден і вольфрам підвищують прожарюваність сталі (особливо в присутності нікелю), сприяють подрібненню зерна і придушенню відпускнуї крихкості. Легування сталі молібденом призводить до значного поліпшення її механічних властивостей після цементації і нітроцементації.

Ванадій, титан, ніобій і цирконій тільки в невеликих кількостях (до 0,15 %) покращують властивості сталі (подрібнюють зерно, знижують поріг холодноламкості). За великої кількості вони спричиняють зниження прожарюваності та опору сталі крихкому руйнуванню.

Добавки **бору** є корисними (підвищують прожарюваність і міцність) тільки при мікролегуванні ним (0,001-0,005 %). При підвищенні вмісту бору він виділяється по межах зерен у вигляді боридів, сильно крихкоутворюючи сталь.

4.1 Класифікація та маркування легованих сталей

Леговані сталі можуть бути класифіковані за чотирма ознаками.

► *За складом* леговані сталі поділяють на:

- низьколеговані (до 3 % л.е.);
- середньолеговані (від 3 до 10 % л.е.);
- високолеговані (понад 10 % л.е.).

Відповідно до легуючих елементів сталі отримують назви: нікелеві, хромисті, хромонікелеві тощо.

► *За призначенням* сталі поділяють на:

- конструкційні (наприклад, цементовані, поліпшувані);
- інструментальні та з особливими властивостями. До останніх відносять пружинні, автоматні, шарикопідшипникові, зносостійкі, жаростійкі, жароміцні, електротехнічні, корозійно стійкі та інші сталі.

► *За рівноважною структурою* (у відпаленому стані) леговані сталі діляться:

- на доевтектоїдні сталі, що мають у структурі надлишковий ферит;
- евтектоїдні сталі, що мають перлітну структуру;
- заевтектоїдні сталі, що мають у структурі надлишкові (вторинні) карбіди;
- ледебуритні сталі, що мають у структурі первинні карбіди, які виділилися з рідкої сталі. У литому вигляді карбіди спільно з аустенітом утворюють евтектику - ледебурит, який під час кування або прокатки розбивається на відокремлені карбіди й аустеніт.

Відповідно до діаграми Fe-C доевтектоїдні вуглецеві сталі містять менш як 0,8 % C, евтектоїдні - 0,8 % C, заевтектоїдні 0,8-2,14 % C.

Більшість л.е. зсуває точки S і E (див. рисунок 2.1) у бік меншого вмісту вуглецю (ліворуч), тому границя між доевтектоїдними та заевтектоїдними сталями лежить за меншого вмісту C, ніж у вуглецевих.

Ледебуритні сталі за структурою можуть бути віднесені до білих чавунів, але їх зараховують до сталей з урахуванням меншого, ніж у чавунів, вмісту вуглецю (<2% внаслідок зсуву точок SE вліво) і можливості піддавати їх пластичній деформації.

► *За структурою* після охолодження на повітрі леговані сталі поділяють на п'ять класів:

- перлітні;
- мартенситні;
- аустенітні;
- феритні;
- карбідні.

Для позначення марок сталі розроблена система, прийнята в ГОСТах. Позначення марки містить цифри і букви, що вказують на приблизний склад сталі. Кожен легувальний елемент позначається буквою: А - азот, Б - ніобій, В - вольфрам, Г - марганець, Д - мідь, Е - селен, К - кобальт, Н - нікель, М - молібден, П - фосфор, Р - бор, С - кремній, Т - титан, Ф - ванадій, Х - хром, Ц - цирконій, Ч - рідкісноземельні елементи, Ю - алюміній. Перші дві цифри в позначенні показують середній вміст вуглецю в сотих частках відсотка (наприклад, 12ХН3А). У високовуглецевих інструментальних сталей - у десятих частках відсотка. Наступні після літери цифри вказують приблизний вміст (у цілих відсотках) відповідного легувального елемента (у разі вмісту 1-1,5 % і менше цифра відсутня, наприклад 30ХГС). Високоякісні сталі позначаються літерою А, а особливо високоякісні - літерою Ш, поміщеними в кінці марки (30ХГСА, 30ХГСШ). Якщо буква А розташована в середині марки (14Г2АФ), то це

свідчить про те, що сталь легована азотом. При позначенні автоматних сталей з підвищеною оброблюваністю різанням буква А ставиться на початку марки (А20, А40Г). Якщо автоматна сталь легована свинцем, то позначення марки починається з поєднання букв АС (АС35Г2, де число 35 позначає середній вміст вуглецю в сотих частках відсотка). На початку позначення марки швидкорізальних сталей стоїть буква Р, за якою йде цифра, що показує концентрацію вольфраму (Р18, Р6М5). Маркування шарикопідшипникової сталі починається з букви Ш (ШХ15, де 15 - середній вміст хрому в сотих частках відсотка).

4.2 Конструкційні сталі

Конструкційна сталь - це сталь, що застосовується для виготовлення машин, будівельних конструкцій та інших споруд.

Конструкційна сталь повинна мати цілий комплекс високих механічних властивостей. Матеріал, що йде на виготовлення деталей, які піддаються великим навантаженням, повинен добре чинити опір таким навантаженням і поряд з високою міцністю володіти в'язкістю, щоб чинити опір динамічним і ударним впливам. Іншими словами, матеріал повинен мати міцність і надійність.

У деталях, що зазнають знакозмінних навантажень, метал повинен володіти високим опором втоми, а деталі, що труться, - опором зносу. У багатьох випадках потрібен гарний опір корозії, повзучості та іншим постійним впливам. Це означає, що деталі мають бути довговічними.

Таким чином, конструкційна сталь має бути міцним, надійним і довговічним матеріалом.

Ефективним способом підвищення механічних характеристик сталі є спільний вплив термічної обробки та легування.

Конструкційні сталі поділяють на:

- ◆ *цементовані* (що піддаються цементації);
- ◆ *полішувані* (що піддаються загартуванню і високому відпуску).

Цементовані сталі

Для цементації (нітроцементації) застосовують сталі з низьким вмістом вуглецю (0,1-0,25 % С) для того, щоб після цементації, загартування і низького відпуску отримати твердий поверхневий шар і в'язку серцевину. Твердість поверхні після такої обробки буде близько HRC60, а серцевини - близько HR С15-30.

Цементовані сталі поділяють на три групи:

- 1. *Вуглецеві сталі* з незміцнюваною серцевиною (вуглецеві сталі слабо прожарюються).
- 2. *Низьколеговані сталі* зі слабозміцнюваною серцевиною.
- 3. Відносно *високолеговані сталі* з серцевиною, що сильно зміцнюється під час термічної обробки. Сталі цієї групи іноді називають *високоміцними цементованими сталями*. До них відносять також сталі з

порівняно невисоким вмістом легуючих елементів, але з підвищеним вмістом вуглецю (0,25-0,30 % С).

Розглянемо найпоширеніші конструкційні цементовані сталі:

Хромисті сталі

Хром - порівняно дешевий елемент, широко використовується для легування сталі. У конструкційних сталях він частково розчинений у фериті, частково в цементиті, утворюючи карбід $(Fe, Cr)_3C$. У хромистих сталях під час загартування з охолодженням у маслі, що виконується після цементації, серцевина виробу має бейнітну структуру, внаслідок чого хромисті сталі порівняно з вуглецевими мають вищі міцнісні властивості за дещо меншої пластичності в серцевині та кращу міцність цементованого шару. Приклади хромистих сталей - 15Х, 20Х.

Хромованадієві сталі.

Легування хромистої сталі 0,1-0,2 % V покращує її механічні властивості: у серцевині деталі $\sigma_b = 750-800$ МПа; $\delta = 13$ %; $\psi = 50$ %. Крім того, хромованадієві сталі менш схильні до перегріву. Через малу прожарюваність їх використовують тільки для порівняно невеликих виробів (поршневі пальці, розподільні валики тощо).

Хромонікелеві сталі.

Ці сталі застосовуються для виготовлення великих деталей відповідального призначення, що зазнають в експлуатації значних динамічних навантажень.

Одночасне легування хромом і нікелем підвищує прожарюваність, міцність, пластичність і в'язкість серцевини і цементованого шару. Загартування - з охолодженням у маслі, іноді й на повітрі. Приклади описуваних сталей - 12ХН3А, 20ХН3А.

Легування хромонікелевих сталей вольфрамом (або молібденом) додатково підвищує стійкість переохолодженого аустеніту, а отже, і прожарюваність. Зі сталей 18Х2Н4МА і 18Х2Н4ВА виготовляють великі важко навантажені деталі.

Хромомарганцеві сталі.

Марганець - дешевий елемент, застосовується як заміник у сталі нікелю. Як і хром, марганець розчиняється у фериті та цементиті. Підвищуючи стійкість аустеніту, марганець знижує $v_{кр}$ і підвищує прожарюваність сталі.

Хромомарганцеві сталі застосовують у багатьох випадках замість дорогих хромонікелевих, однак ці сталі менш стійкі проти перегріву і мають меншу в'язкість. Введення невеликої кількості титану зменшує схильність хромомарганцевих сталей до перегріву.

Хромомарганцевонікелеві сталі.

Підвищення прожарюваності та міцності хромомарганцевих сталей досягається додатковим легуванням їх нікелем.

Сталі, леговані бором.

Для цементації використовують сталі, що містять 0,01-0,05 % бору. Бор підвищує стійкість переохолодженого аустеніту і тому збільшує прожарюваність сталі.

У промисловості для деталей, що працюють в умовах зносу при терті, застосовують сталі 20ХГР. Додаткове легування сталі нікелем підвищує її прожарюваність, пластичність і в'язкість.

Поліпшуванні сталі

Поліпшуванні сталі містять 0,3-0,4 % С і різну кількість легуючих елементів (Cr, Ni, Mo, W, Mn, Si) у сумі не більше 3-5 % і часто близько 0,1 % подрібнювачів зерна (V, Ti, Nb, Zr).

Звичайна термічна обробка цих сталей - загартування з 820-880 °С в олії (великі деталі охолоджують у воді) і високий відпуск при 500-600 °С. При такій обробці структура сталі - сорбіт відпуску.

Чим більше в сталі легуючих елементів, тим більша її прожарюваність. Чим більший перетин деталі, тим більш леговану сталь слід вибирати.

Існує кілька типів поліпшуваних сталей.

- **Хромисті сталі** 30Х, 38Х, 40Х, 50Х. Зі збільшенням вмісту вуглецю зростає міцність, але знижується пластичність і в'язкість.

Прожарюваність хромистих сталей невелика.

Сталь 30Х рекомендується для виготовлення деталей невеликих розмірів (осі, валики, важелі, болти, гайки). Сталі 38Х і 40Х мають підвищену міцність, їх застосовують для колінчастих валів, осей, шестерень, а сталі 45Х і 50Х - для виробів, що працюють на знос без значних ударних навантажень (великі шестерні).

Введення бору (0,002-0,005 %) підвищує прожарюваність, але дещо підвищує межу холодноламкості (сталі 35ХР, 40ХР).

Введення 0,1-0,2 % ванадію (40ХФА) підвищує механічні властивості хромистих сталей (в'язкість). Ці сталі застосовують для виробів, що працюють за підвищених динамічних навантажень (шатуни, шестерні).

- **Хромомарганцеві сталі.**

Спільне легування хромом і марганцем дає змогу отримати сталі з досить високою міцністю і прожарюваністю. Сталі 40ХГ і 40ХГР застосовують для виготовлення деталей перетином 30-40 мм. Однак хромомарганцеві сталі мають знижену в'язкість, підвищений поріг холодноламкості (від +20 до -60 °С). Для зменшення схильності сталі до перегріву в неї додають титан.

- **Хромокремнемарганцеві сталі** - хромансил - сталі 20ХГС, 25ХГС і 30ХГС мають високу міцність і хорошу зварюваність. Їх застосовують у вигляді листів і труб для відповідальних зварних конструкцій.

- **Хромонікелеві сталі** вирізняються високою прожарюваністю, хорошою міцністю і в'язкістю. Для важконавантажених деталей з діаметром перерізу до 70 мм використовують хромонікелеві сталі 40ХН, 45ХН і 50ХН, які мають високі механічні властивості.

- **Хромонікелемолібденові сталі.** Для запобігання відпускній крихкості сталі додатково легують молібденом (40ХН2МА) або вольфрамом.

- **Хромонікелемолібденованадієві сталі.** Нерідко в хромонікелеву сталь крім молібдену (вольфраму) додають ванадій, який сприяє отриманню дрібнозернистої структури (38ХН3МФ, 36Х2Н2МФА). Ці сталі мають високу міцність, пластичність і в'язкість, низький поріг холодноламкості. Цьому сприяє високий вміст нікелю. Молібден, присутній у сталі, підвищує її теплостійкість. Ці сталі можна використовувати за 400-450 °С.

4.3 Інструментальні та штампувальні сталі та сплави

Ці матеріали призначені для виготовлення різального, вимірювального інструменту і штамсів.

Сталі для різального інструменту

Найважливіша властивість, якою повинні володіти ці сталі, це **червонотійкість (теплостійкість)**, тобто здатність зберігати високу твердість і різальну здатність за тривалого нагрівання; не руйнуватися під час ударних впливів; мати високу зносостійкість в умовах сухого тертя. Задовольняють цим вимогам троостомартенситна (для ударних інструментів), мартенситна і мартенситна з дрібними карбідами структури.

Інструментальні сталі класифікують за теплостійкістю:

- нетеплостійкі;
- напівтеплостійкі;
- теплостійкі (швидкорізальні).

До **нетеплостійких сталей** відносяться вуглецеві та низьколеговані інструментальні сталі марок У7-У13, У7А-У13А, 7ХФ, 8ХФ, 9ХФ, 11Х, 13Х та ін.

Зі сталей У7, У7А, 7ХФ виготовляють інструмент для обробки дерева (пилки, долота) і ударний інструмент (зубила, крейцмейселі, керни). Сталі У9-У13, 9ХФ, 11Х, 13Х використовують для виготовлення свердел, мітчиків, плашок, розгортки, напилків, ножівкових полотен. Необхідні ріжучі властивості інструменту отримує після загартування і відпуску. Для доевтектоїдних сталей призначають повне загартування, для евтектоїдних і заевтектоїдних - неповне, охолоджують у маслі або воді.

Температуру відпуску вибирають залежно від призначення інструменту. Для ударного інструменту призначають середній відпуск з HRC 50-55 з метою збільшення в'язкості сталі. Інструменти, що вимагають

максимальної твердості та зносостійкості ріжучої кромки, відпускають за 150-200 °С для зняття внутрішніх напружень.

До *напівтеплостійких сталей* належать леговані інструментальні сталі марок Х, 9ХС, ХВГ, ХВГ, 9ХВГ, 9Х5ВФ із вмістом до 5 % легувальних елементів. З них виготовляють ударний і ріжучий інструмент (ножі для холодного різання металів, пилки, свердла, мітчики, шабери тощо).

Термічна обробка цих сталей полягає в загартуванні за 800-850 °С в олії та низького відпуску за 150-200 °С до НРС 60-65. Для ударних інструментів для збільшення в'язкості підвищують температуру відпуску до 300 °С.

Швидкорізальні (теплостійкі) сталі являють собою високолеговані інструментальні сплави ледебуритного класу. Для підвищення структурної однорідності литу сталь піддають гарячій обробці тиском, що дробить сітку евтектики. У структурі прокованої і відпаленої сталі проглядаються великі первинні карбіди - уламки ледебуритної евтектики, дрібні вторинні карбіди, які виділилися в литій сталі з аустеніту під час охолодження сплаву в інтервалі температур між евтектичним та евтектоїдним перетвореннями, і дуже дрібні евтектоїдні карбіди, які входять до сорбітного фону.

Висока теплостійкість (червоностійкість) швидкорізальних сталей досягається термічною обробкою з отриманням високолегованого мартенситу, здатного чинити опір відпуску аж до 600-650 °С і, отже, зберігати до цих температур високу твердість, міцність, зносостійкість. Ступінь легованості мартенситу визначається складом вихідного аустеніту. Що вища температура нагріву, то більше легувальних елементів (W, Mo, V), що входять до складу вторинних карбідів, розчиняється в аустеніті. Тому швидкорізальні сталі нагрівають при загартуванні до 1200-1300 °С. Первинні карбіди в аустеніті не розчиняються, але стримують зростання аустенітних зерен, блокуючи їхні межі. Швидкорізальні сталі мають вельми низьку теплопровідність, тому їх нагрівання до температури загартування ведуть ступінчасто з однією-двома температурними зупинками, що дає змогу запобігти появі тріщин. Висока легованість аустеніту зумовлює досить низькі температури початку і кінця мартенситного перетворення, що зумовлюють, зі свого боку, збереження під час загартовування значних кількостей (понад 30 %) залишкового аустеніту, який знижує ріжучі властивості сталі. Зменшення вмісту залишкового аустеніту досягається дво-триразовим високим відпуском.

Під час відпустки із залишкового аустеніту виділяються карбіди легуючих елементів, що тягне за собою підвищення температури мартенситного перетворення, і під час охолодження аустеніт перетворюється на мартенсит. Для зменшення кількості залишкового аустеніту іноді загартовану сталь охолоджують в область негативних температур (-80 °С), що також сприяє збільшенню кількості мартенситу.

Швидкорізальну сталь застосовують для виготовлення різального інструменту, що працює за високих швидкостей різання.

Тверді сплави

Інструменти, виготовлені з твердих сплавів, мають робочу температуру різання 800-1000 °С, тоді як для інструменту зі швидкорізальної сталі розігрів ріжучої кромки вище 650 °С неприпустимий.

Отже, маючи інструмент із твердих сплавів, можна працювати на більш високих швидкостях різання, ніж з інструментом зі швидкорізальної сталі, хоча при меншій подачі.

Нині для швидкісного різання металів застосовують інструмент, оснащений твердими сплавами.

Тверді сплави - це інструментальні матеріали, що виготовляються методом порошкової металургії, які складаються з частинок карбідів тугоплавких металів (WC, TiC, TaC), об'єднаних металевим сполучним компонентом (кобальтом). Тверді сплави мають високу твердість (до 90-92 HRA), зносостійкість, червоностійкість (900-1100 °С).

Існують сплави таких груп:

- вольфрамові;
- титановольфрамові;
- титанотанталовольфрамові.

Вольфрамові сплави, наприклад ВК2, ВК8, ВК15, ВК25, складаються з карбідів вольфраму і металевого кобальту (число, яке стоїть у марці сплаву після літери К, вказує на процентний вміст кобальту). Чим більше в сплаві карбиду вольфраму, тим сплав твердіший, але тим більш він крихкий. В'язкість сплаву, що дає можливість сприймати ударні навантаження, забезпечується кобальтом. Сплав ВК2, що містить лише 2 % кобальту, має досить низьку в'язкість. Ним можна вести лише чистову обробку, що не супроводжується динамічними навантаженнями. Твердість же і зносостійкість сплаву настільки високі, що дають змогу обробляти загартовані сталі. Сплав ВК8 більш в'язкий, але менш твердий, менш зносостійкий і червоностійкий.

Титановольфрамові сплави, наприклад Т5К10, Т15К6, Т3ОК4, виготовляють з карбідів титану, карбідів вольфраму і металевого кобальту. У марці сплаву число, що стоїть після букви Т, вказує на вміст у шихті сплаву карбиду титану у відсотках; число, що стоїть після К, - вміст кобальту. Вміст карбиду вольфраму визначають за різницею. Так, у шихті твердого сплаву Т5К10 міститься 5 % TiC, 10 % Co і 85 % WC. Карбід титану має ще більш високу твердість, ніж карбід вольфраму. Чим більше в сплаві TiC (точніше твердого розчину карбиду вольфраму в карбіді титану), тим більшою твердістю і зносостійкістю володіє сплав. Найбільш твердий сплав Т3ОК4. Сплави з великим вмістом кобальту (Т15К6, Т5К10) менш

тверді, але мають більшу експлуатаційну міцність. Застосовують титановольфрамкові сплави головним чином для обробки сталей.

Титанотанталовольфрамкові сплави виготовляють з карбідів титану, карбідів танталу, карбідів вольфраму і металевого кобальту. Наприклад, шихта сплаву ТТ7К12 містить 7 % карбідів титану і танталу, 8 % карбіду вольфраму і 12 % кобальту. Застосовують титанотанталовольфрамкові сплави для чорнової (наприклад, сплав ТТ7К12) і чистової (наприклад, сплав ТТ8К6) обробки важкооброблюваних матеріалів (жароміцних сталей, титанових сплавів тощо).

Штамповий інструмент

Штампові сталі призначені для виготовлення штампового інструменту (штампів, матриць тощо), що слугує під час холодної та гарячої обробки металів тиском.

Штампи для холодного деформування працюють на знос і сприймають ударні навантаження, тому вони повинні мати високу зносостійкість, міцність, в'язкість, опір деформації. Кращою для інструменту буде трооститна структура. Для виготовлення штампів застосовують вуглецеву інструментальну сталь марок У10, У11, У12 і

марок 15, 20, 38ХМЮА тощо. Після загартування інструмент піддають стабілізуючому низькому відпуску, старінню (нагрівання до 120-170 °С і витримка 10-30 годин).

4.4 Сталі з особливими властивостями

Корозійно стійкі сталі

Корозією називається процес руйнування металу і сплаву під дією навколишнього середовища. Корозія призводить до скорочення терміну служби виробу і безповоротних втрат металу. Розрізняють *хімічну* та *електрохімічну* корозію.

Хімічна корозія відбувається внаслідок окислення металу в газовому середовищі.

Електрохімічна корозія виникає під час взаємодії металу з електролітом.

Електролітами можуть бути водні розчини солей, кислот і лугів. Для процесу електрохімічної корозії необхідна наявність різниці потенціалів на поверхні зіткнення металу з електролітом. Здатність металу до розчинення в електролітах характеризується електродним потенціалом (В). Його визначають по відношенню до водневого потенціалу, прийнятого за нуль. Потенціали елементів розташовуються в такій послідовності:

Au	Ag	Cu	H	Pb	Ni	Fe	Cr	Zn	Ti	Al
+1,5	+0,79	+0,34	0	-0,12	-0,22	-0,44	-0,51	-0,76	-1,21	-1,66

Метали, розташовані після водню, мають більшу розчинність зі збільшенням негативного потенціалу. Метали з позитивним потенціалом відрізняються слабкою розчинністю.

Атмосферна корозія поєднує в собі особливості хімічної та електрохімічної корозії. Під час конденсації вологи на поверхні виробу виникає електрохімічний процес. Вуглекислий, сірчистий та інші гази, пил прискорюють корозійне руйнування металу.

Корозія залежить від хімічного складу і будови металу. Однофазні сплави більш стійкі до електрохімічної корозії, оскільки зерна мають однаковий електродний потенціал. Корозійна стійкість збільшується з підвищенням класу шорсткості поверхні виробу, різні вади і дефекти на поверхні деталі, тріщини, подряпини слугують осередками початку корозії.

Від корозії метал оберігають легуванням, захисними плівками, металевими і неметалевими покриттями, електрохімічними методами тощо.

Легуванням досягається утворення на поверхні виробу захисної плівки або отримання однофазної структури. Наприклад, при легуванні сталі хромом на поверхні виробу утворюється щільна плівка окису хрому, яка оберігає метал від корозії. Захисні плівки можуть утворюватися в природних або штучних умовах. Зазвичай це окисні плівки. Широкого

поширення в промисловості набули процеси оксидування та анодування поверхні виробу.

Оксидування - це хімічна обробка металу в сильних окислювальних середовищах. Чорні метали для оксидування обробляють у розплавлених азотнокислих солях або в концентрованому розчині їдкого натру з добавкою азотнокислого натрію. При цьому деталі покриваються магнітним закисом-окисом заліза (Fe_3O_4), і поверхня набуває синього або чорного кольору (вороніння). Можна деталь змастити мінеральним маслом і нагріти до 500-600 °С. Оксидування міді та її сплавів проводять у розчині персульфату калію і їдкого натру.

Анодування - це електрохімічний процес утворення окисної плівки на поверхні виробу. Анодують деталі з алюмінію та його сплавів електролітичною обробкою у сірчаній кислоті. Анодом є деталі, а катодом свинцеві пластини. У процесі анодування кисень, що виділяється на поверхні виробу, окислює метал. Для підвищення окисних властивостей окисної плівки покривають її емаліями або лаками.

Залізовуглецеві сплави одержують достатню корозійну стійкість після покриття плівкою, що складається з фосфорнокислих солей марганцю та заліза. Такий процес називається **фосфатуванням**.

Металеві покриття широко застосовуються для захисту поверхні деталі від корозії. Якщо метал покриття розташований за електродним потенціалом лівіше за метал виробу, то таке покриття називають катодним, правіше – анодним.

При руйнуванні **катодного покриття** відбувається корозія виробу. Тому такі покриття мають бути суцільними та міцними. Анодні покриття оберігають вироби від корозії та за наявності оголених ділянок (у цьому випадку руйнуватиметься метал покриття), тому що утворюються короткозамкнуті елементи і основний метал відіграє роль катода, а покриття – анода.

У промисловості широке застосування мають вироби з цинком, оловом, кадмієм, алюмінієм, хромом та іншими металами.

Для залізовуглецевих сплавів хром, цинк і кадмій є анодними покриттями, а олово, мідь і нікель - катодними.

Неметалеві покриття для захисту металів від корозії мають найширше застосування у виробництві та побуті. До них відносять покриття емаліями, лаками і фарбами, гумою, пластичними масами, мастилами тощо.

Склоемалі за хімічним складом являють собою нерозчинні силікати або боросилікати лужних або лужноземельних сполук свинцю, алюмінію, цинку та інших металів. Додаючи різні сполуки (оксиди олова, сурми, титану тощо), фарбують емалі в різні кольори. Емалі застосовують для покриття хімічного та харчового посуду, санітарної техніки, труб тощо, що дає змогу замінити дорогі леговані сталі.

В основу **лакофарбових покриттів** входять плівкоутворювачі та розчинники (які після нанесення випаровуються). Плівкоутворювальними

елементами слугують рослинні олії, природні та синтетичні смоли, ефіри, целюлози, каучук. Їхні розчини в органічних розчинниках (скипидарі, бензині, уайт-спіриті, толуолі, етиловому і бутиловому спиртах тощо) називаються *лаками*.

Для еластичності плівки в лакофарбові матеріали додають пластифікатори: складні ефіри, поліхлорвініл, рицинову олію тощо. Колір лакофарбові матеріали набувають завдяки введенню різних барвників - пігментів (охри, сурику залізного, ультрамарину, окису хрому та ін.).

Знаходять застосування *покриття плівковими матеріалами*. Для цього використовують полівінілхлоридні, поліетиленові, поліамідні та інші плівки.

Гумові покриття (гумування) - облицювання поверхні виробу каландрованою сумішшю, яку прикочують або вулканізують.

Захисні мастила зазвичай використовуються для захисту деталей від корозії під час транспортування і тривалого зберігання, зазвичай це мінеральне масло, парафін, церезин тощо.

Нержавіюча сталь

Сталь, стійку проти атмосферної корозії, називають *нержавіючою*. Нержавіючі сталі мають однофазну структуру: аустеніт, ферит або мартенсит. При цьому не протікає електрохімічна корозія, що виникає завдяки двом і більше фазам з різними електродними потенціалами. Однофазну структуру отримують легуванням сталі та термічною обробкою. Високу корозійну стійкість мають хромисті та хромонікелеві сталі.

У хромистих сталях (08X13, 12X13, 15X25T, 30X13 та ін.) корозійна стійкість підвищується в результаті розчинення хрому в залізі та утворення на поверхні захисної плівки оксиду Cr_2O_3 (за вмістом хрому понад 12,5 %). Вуглець у цих сталях сприяє отриманню двофазної структури і збіднює твердий розчин хромом, знижуючи корозійні властивості.

Хромисті сталі піддають загартуванню з 1000-1100 °С і відпуску. Для сталей феритного класу (08X13, 12X13) відпуск проводять при 700-750 °С. Вони мають підвищену пластичність і використовуються для виготовлення деталей, що сприймають ударні навантаження (турбінні лопатки, предмети домашнього вжитку тощо). Для сталей мартенситного класу (30X13, 40X13) відпуск проводять при 200-250 °С. Їх використовують для виготовлення виробів, від яких потрібна висока твердість і міцність (вимірювальний і медичний інструмент тощо).

Хромонікелеві сталі (12X18H9T, 17X18H9, 04X18H10 та ін.) належать до нержавіючих сталей аустенітного класу. Структура аустеніту виходить після загартування за 1050 °С у воді. Ці сталі добре піддаються обробці тиском, зварюванню. Можливе зміцнення хромонікелевих сталей

холодною пластичною деформацією. З них виготовляють деталі для хімічної, нафтової та харчової промисловості.

Жароміцні сталі

Жароміцні сталі мають здатність чинити опір пластичній деформації і руйнуванню за високої температури. Розрізняють дві групи таких сталей: тепломіцні, що працюють до 350-500 °С, і жароміцні, що працюють понад 600 °С. До тепломіцних належать леговані сталі перлітного і феритного класу. Жароміцні сталі бувають перлітного й аустенітного класу. До перлітних належать котельні сталі (15ХГС, 12ХМ, 15ХМФ та ін.) і сильхроми. Аустенітні жароміцні сталі використовують для виготовлення парових котлів високого тиску, лопаток турбін, соплового апарату реактивних двигунів та інших деталей.

Жаростійкі сталі

Жаростійкі сталі чинять опір газовій корозії за високих температур тривалий час. Для цієї мети сталь легують хромом, алюмінієм, кремнієм, які утворюють на поверхні виробу щільні оксиди Cr_2O_3 , Al_2O_3 . Усі нержавіючі сталі та деякі жароміцні є жаростійкими.

Зносостійкі сталі

Зносостійкими називають сталі, що чинять опір зношуванню в абразивному середовищі. До них відносять графітізовані та високомарганцевисті сталі. Графітізовані сталі марок ЕІ293, ЕІ336 містять до 1,75 % С і 1,6 % Si. Вуглець після графітізуючого відпалу виділяється у вигляді графіту. Структура таких сталей складається з перліту і дрібних округлених графітових включень. Графітізовану сталь застосовують для виготовлення штампів, колінчастих валів та інших виробів.

Високомарганцевисті сталі мають структуру аустеніту. З них виготовляють ланки гусениці трактора, зуби ковшів екскаваторів та інші деталі.

У процесі роботи на поверхні утворюється наклепана структура, і аустеніт перетворюється на мартенсит. Це різко підвищує твердість і зносостійкість сталі.

Ресорно-пружинні сталі

Робота пружин, ресор і тому подібних деталей характеризується тим, що в них використовують тільки пружні властивості сталі. Велика сумарна величина пружної деформації пружини (ресори) визначається її конструкцією - числом і діаметром витків, довжиною пружини. Оскільки виникнення пластичної деформації в пружині не допускається, то від матеріалу подібних виробів не вимагається високої ударної в'язкості і високої пластичності. Головна вимога полягає в тому, щоб сталь мала

високу границю пружності (текучості). Це досягається загартуванням з 800-850 °С в олії з подальшим середнім відпуском (400-450 °С) на твердість HRC 35-45.

Сталі для пружин і ресор зазвичай легують кремнієм і марганцем іноді в поєднанні з іншими елементами (хром, ванадій). Введення кремнію затримує розпад мартенситу під час відпуску. Кремній і марганець зміцнюють ферит і збільшують прожарюваність сталі.

Пружини з вуглецевих, марганцевих, крем'янистих сталей працюють при температурах не більше 200 °С. При нагріванні до 200 °С використовують важко навантажені пружини відповідального призначення зі сталі 50ХФА, а при більш високих температурах - з більш теплостійких сталей: до 500 °С - зі сталі 3Х2В8Ф, до 600 °С - зі сталі Р18. Для роботи в агресивних середовищах пружини виготовляють із хромистих корозійно стійких сталей типу 40Х13, 95Х18 тощо.

Підшипникова сталь

Підшипникова сталь насамперед повинна мати високу твердість, тому застосовують високовуглецеві сталі типу інструментальної (іноді низьковуглецеві в цементованому стані). Щоб підшипникова сталь легко приймала загартування (тобто мала низьку $v_{\text{крит.}}$) і якості загартовувального середовища для неї можна було б застосовувати олію, сталь легують (зазвичай хромом).

Сталь ШХ4 зазвичай використовують для виготовлення кульок діаметром 13,5 мм і роликів до 10 мм; ШХ15 - кульок діаметром 22,5 мм, роликів - 15 мм; ШХ15СГ - кульок діаметром до 30 мм. При виготовленні роликів більшого діаметра застосовують сталь ШХ20СГ. Підшипники, що використовуються для роботи в агресивних середовищах, виготовляють із нержавіючої сталі 95Х18.

Довговічність сферичних підшипників значною мірою визначається відхиленням від сферичної форми, що призводить до биття. Ці відхилення ретельно контролюються.

До сталей висувають високу вимогу щодо неметалевих включень, оскільки вони спричиняють передчасне втомне руйнування.

Термічна обробка деталей підшипника (кульки, ролики, кільця) складається з двох основних операцій: загартування за температури 830-840 °С з подальшим відпуском (150-160 °С), що забезпечує твердість не нижче HRC 62. Структура - дрібногочастий відпущений мартенсит з рівномірною розподіленими надлишковими карбідами.

Застосування залізобуглецевих і легованих сталей і сплавів у сільськогосподарському машинобудуванні

Залізобуглецеві сплави і леговані сталі є основними конструкційними матеріалами для виготовлення деталей автомобілів, тракторів і сільськогосподарських машин.

Сталі зі зниженим вмістом вуглецю (0,1-0,25 % C) мають високу пластичність, добре чинять опір ударним навантаженням. Ці сталі практично не гартуються, тому для підвищення твердості їх слід цементувати, а потім проводити термічну обробку.

Середньовуглецеві сталі (0,3-0,6 % C) добре зміцнюються після термічної обробки по всьому об'єму. Загартування і високий відпуск істотно покращують комплекс механічних властивостей цих сталей. Додавання хрому і нікелю підвищує прожарюваність сталі, її міцність і корозійну міцність.

Високовуглецеві сталі (0,6-0,7 % C) часто з добавками марганцю і кремнію, мають високу міцність. У цих сталях переважає структура перліту, тому її зміцнення загартуванням значно збільшує твердість і зносостійкість металу. Структури трооститу і сорбіту, отримані після термічної обробки, підвищують у цих сталях границю пружності.

Леговані сталі X9C2, X10CM, 40CX10MA та інші мають жароміцність і корозійну стійкість.

Підшипникові сталі марок ШХ6, ШХ9, ШХ15, ШХ15СГ та інші після термічної обробки набувають високої міцності, твердості та здатності чинити опір втомному викришуванню.

Високолегована сталь Г13Л, що містить 1,0-1,4 % C і 11-14 % Mn, після загартування має структуру аустеніту. При роботі в умовах стирання з ударними впливами ця сталь набуває високої зносостійкості (поверхня деталі піддається наклепу). На стирання добре працюють графітізовані сталі. Включення графіту, виконуючи роль мастила, запобігають схоплюванню металу під час тертя.

Сірі, ковкі та високоміцні чавуни мають нижчі механічні властивості, ніж сталі. Наявність у їхній структурі графіту надає чавунам малої чутливості до надрізів і здатності поглинати вібрації. Високі ливарні властивості дають змогу відливати з чавунів складні за конфігурацією вироби. Ковкі та високоміцні чавуни здатні сприймати ударні навантаження. Для підвищення зносостійкості чавуни зміцнюють загартуванням. У деяких випадках використовують чавунні деталі з вибіленою поверхнею. Хромування та інші дифузійні покриття збільшують твердість, корозійну стійкість і покращують припрацьовуваність чавунів.

Вибір матеріалу і способу зміцнення залежно від характеру роботи деталі

Обґрунтований вибір матеріалу і способу зміцнення деталі визначає її працездатність, довговічність і надійність в експлуатації.

Матеріал необхідно вибирати залежно від умов роботи деталі. При цьому треба враховувати характер і величину прикладеного навантаження, температурний режим, властивості агресивних середовищ, вид тертя і зносу та інші чинники.

Метал слід вибирати з урахуванням економічних чинників. Деталі, які повинні мати високу зносостійкість за порівняно невисокої міцності, можна виготовляти з цементованих маловуглецевих сталей, вартість яких у 1,2-1,3 рази нижча за вартість хромованих цементованих сталей і в 2,0-2,5 рази - хромонікелевих сталей. До найдешевших належать середньовуглецеві сталі. Легувальні добавки збільшують їхню вартість.

Матеріал після зміцнення повинен мати необхідну міцність, твердість, пластичність, в'язкість, необхідні для надійної і тривалої роботи. Одночасно слід враховувати технологічні властивості матеріалу (штампуваність, оброблюваність різанням, зварюваність тощо).

Нижче наводяться рекомендації щодо вибору матеріалу і способу зміцнення залежно від характеру роботи деталей сільськогосподарських машин, тракторів і автомобілів.

Деталі, що працюють в умовах абразивного впливу ґрунту. В абразивному середовищі працюють лемеші плугів, лапи культиваторів, диски сівалок і луцильників, ножі бульдозерів і скреперів, ланки гусениць та інші деталі.

Абразивні частинки ґрунту зрізують метал деталі та інтенсивно зношують і затуплюють ріжучу кромку. Зазначені деталі в експлуатації можуть зазнавати ударних навантажень.

Опираються зношуванню в абразивному середовищі краще ті матеріали, які мають високу твердість і міцність.

Для деталей, що працюють на зношування і виконують функцію ріжучого елемента, *краща структура мартенситу* на поверхні робочої частини. Для їх виготовлення вибирають сталі марок 55, 60, 65, 70, 65Г, 70Г, для лемеша - Л53, Л65 та інші.

Термічна обробка - загартування ріжучої кромки (зазвичай струмами високої частоти) і низький відпуск (HRC 55-60) для зняття внутрішніх напружень.

Для виготовлення деталей, що сприймають великі ударні навантаження за високого питомого тиску, *краща аустенітна структура*, яка в поверхневому шарі в процесі роботи виробу наклепується і частково перетворюється на мартенсит. Такі деталі виготовляють з аустенітної сталі марки Г13. Термічна обробка - загартування у воді.

Деталі, що працюють в умовах знакозмінних навантажень. Змінне навантаження в роботі сприймають шатуни, шатунні болти, вали та інші деталі. Періодичні навантаження від сил тиску газів та інерції рухомих мас, що спричиняють змінні напруження, можуть призвести до втомного зламу деталі. Тому метал повинен мати високу границю втомної міцності.

Для деталей, що зазнають у роботі знакозмінні навантаження, *краща структура зернистого сорбіту*. Для їх виготовлення обирають сталі марок 40, 45, 50, 40Х, 45Х, 40ХН тощо. Добавки легуючих елементів підвищують межу втомної міцності металу.

Структуру зернистого сорбіту отримують загартуванням і високим відпуском сталі до твердості НВ 180-220. Для менш відповідальних деталей можна обмежитися нормалізацією.

Деталі, що працюють в умовах тертя ковзання. У таких умовах працює велика група деталей: колінчасті та кулачкові вали, шестерні, осі ковзаник, гільзи тощо. Під час роботи в умовах рідинного тертя деталі зазнають окислювального і теплового зносу. У процесі роботи в мастило потрапляють абразивні частинки, які сприяють зносу частин, що труться. Зношуванню при терті краще чинять опір матеріали, що мають мартенситну структуру. Легувальні елементи (хром, нікель) знижують окислювальне зношування і підвищують міцність деталей.

Для деталей, що працюють в умовах рідинного тертя і відчувають знакозмінне навантаження, обирають сталі марок 40, 45, 40Х, 45Х, 40ХН та ін. Необхідних властивостей деталі набувають, якщо їхній поверхневий шар має структуру мартенситу, а серцевина - сорбіту. Таке поєднання структур отримують загартуванням, високим відпуском сталі, подальшим поверхневим загартуванням (зазвичай ТВЧ) і низьким відпуском до твердості НРС 45-50. Можливий режим нормалізації та подальшого загартування ТВЧ.

Для деталей, що працюють в умовах рідинного тертя і зазнають ударного навантаження (поршневі палець), обирають маловуглецеві сталі марок 20, 30, 20Х, 25Х, 18ХГТ та ін. Високу твердість і зносостійкість поверхневого шару деталей набуває після цементації та подальшого загартування і низького відпуску до твердості НРС 55-65. У цьому випадку серцевина зберігає пластичну структуру маловуглецевої сталі і деталь витримує ударні навантаження без руйнування.

Деталі, що працюють на тертя за підвищеної температури (гільзи двигунів), виготовляють із сірих, високоміцних і легованих чавунів перлітної основи марок СЧ21, СЧ24, СЧ28, ВЧ45-5 та інших і азотованих сталей 35ХМЮА, 38ХМЮА. Робочі поверхні деталей гартують ТВЧ або азотують.

В умовах сухого тертя ковзання працюють ріжучі сегменти сінокосарок та інші деталі.

Деталі, що працюють в агресивному середовищі за високої температури. До таких деталей належать випускні та впускні клапани, колектори двигунів внутрішнього згоряння та інші деталі. Клапани зазнають динамічних навантажень, омиваються горючими газами, що рухаються з великими швидкостями. За таких умов відбувається зношування і пригорання тарілки клапана і знос інших дотичних частин деталі.

Опираються зношуванню в агресивних середовищах за підвищеної температури сталі, леговані кремнієм, хромом, молібденом, - 40Х9С2, Х10СМ, 40СХ10МА, 40Х та ін.

Для отримання високої твердості деталі гартують і відпускають до твердості НРС 55-60 з метою отримання мартенситної структури. Для

вихлопних колекторів використовують сірі та леговані чавуни марок СЧ24, СЧ28, ВЧ45-4 без термічної обробки.

Деталі, що працюють в умовах пружної деформації. До таких деталей належать пружини, ресори, шайби пружинні тощо. Під час роботи в деталях можуть з'явитися втомні тріщини, що призводять до втрати пружності. Ресорно-пружинні сталі повинні мати високу границю пружності, витривалості, достатню в'язкість. Структури трооститу і сорбіту забезпечують поєднання цих властивостей. Для виготовлення пружин і ресор рекомендуються сталі марок 50, 55, 60, 60Г, 60Г, 65Г, 55Х, 55С2 тощо. Марганець, кремній, хром та інші елементи покращують пружні властивості сталі і збільшують міцність пружин і ресор. Структуру троостита і сорбіту отримують загартуванням виробу в олії і середнім відпуском до твердості HRC 40-45.

Деталі, що працюють в умовах складних навантажень

Підшипники кочення. Підшипники кочення в роботі сприймають складні за характером навантаження. Метал руйнується за рахунок роботи сил тертя кочення і ковзання, втомного руйнування, окисного і теплового зносу тощо.

Метал для виготовлення підшипників повинен володіти високою міцністю, витривалістю, зносостійкістю і корозійною стійкістю. Переважна для підшипників троостомартенситна структура. Для кульок, роликів і обойм підшипників кочення рекомендують леговану сталь марок ШХ6, ШХ9, ШХ15 тощо. Термічна обробка - гарт і відпуск до твердості HRC 45-55.

Корпусні деталі та рами. До корпусних деталей належать блоки циліндрів, картери, корпуси коробок передач тощо. Ці деталі мають бути міцними, гасити вібрацію рухомих частин механізму. Зазвичай корпусні деталі мають складну форму, тому їх виготовляють литтям. Сплави, які застосовують для цих деталей, повинні мати високі ливарні властивості.

Для виготовлення корпусних деталей застосовують сірі чавуни марок СЧ15, СЧ18, СЧ21, СЧ28 тощо. Рами зазвичай виготовляють зі сталі марок Ст 3, Ст 4. Вони повинні мати певну міцність і зберігати свою форму та розміри на весь період експлуатації механізму. Метал використовується в стані поставки без термічної обробки.

Деталі, виготовлені глибокою витяжкою. Глибокою витяжкою з листового металу виготовляють кабіни автомобілів і тракторів, фари, картери та інші деталі. Для цих цілей використовують листову сталь марок 05кп, 08кп, 10 тощо. Структура металу має бути феритною з однорідними за розміром зернами. Листовий матеріал на металургійних заводах у процесі виготовлення проходить відпал або нормалізацію для отримання пластичної феритної структури.

У таблиці 4.1 наведено рекомендації щодо застосування залізо-вуглецевих сплавів залежно від характеру роботи деталей.

Таблиця 4.1 - Застосування залізовуглецевих і легованих сплавів залежно від характеру роботи деталей

Характер роботи деталі	Найменування деталі	Основні види пошкодження в експлуатації	Переважна структура	Матеріал для виготовлення деталі	Спосіб зміцнення
1	2	3	4	5	6
Абразивний вплив і тиск ґрунту	Лемеші плугів, лапи культиваторів, диски сівалок і луцильників. Ланки гусениць, зуби ковшів екскаваторів Шатун, шатунний болт Колінвал, вали Гільзи двигунів внутрішнього згоряння	Зношування, затуплення ріжучих крайок	Мартенсит	Л53, Л65, 65, 70, 65Г, 70Г	Загартування і відпустка, наплавлення
Змінні напруги		Втомні злами,	на робочій кромці аустеніт	40,45, 35Х, 40Х, 45Х, 40ХН	на лезо твердого сплаву (сормайт).
Тертя ковзання		деформація	Сорбіт зернистий	40, 45, 40Х,45Х	Загартування у воді
Тертя ковзання		Зношування, овальність, деформація	Робоча поверхня - мартенсит.	СЧ24, СЧ28, СЧ32, ВЧ45-6, спеціальні чавуни, 35ХМЮА, 38ХМЮА	Загартування

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6
Тертя ковзання й удар	Поршневий палець, кулачковий валик, шестерні коробок передач	Зношування, поломка зубів	Мартенсит на робочій поверхні	15, 20, 25, 15Х, 20Х, 25Х, 18ХГТ, 20ХГНР, 30ХГТ	Цементация, нітроцементация з подальшим загартуванням і відпусткою
Тертя ковзання та удар	Поршневе кільце	Зношування, поломка, зниження пружності	Перліт, карбіди та графіт	СЧ18, СЧ21, СЧ28, спеціальні леговані чавуни	Хромування
Сухе тертя ковзання	Ріжучі сегменти сінокосарок, пальці гусениць	Зношування, затуплення	Мартенсит	Сталь Х12М, 65, 70, 65Г, 70Г	Загартування і відпустка
Пружна деформація	Пружини, ресори	Втрата пружності, втомні	Троостит, сорбіт	50, 55, 60, 65, 60Г, 65Г, 55Х	Загартування і відпустка, поверхневий
Підшипники кочення	Кульки, ролики, внутрішні та зовнішні кільця	злами	Троосто-мартенсит	ШХ10, ШХ15, ШХ15СГ	наклеп
Агресивне середовище за високої температури	ружні кільця	Зношування, втомне викришування	Мартенсит	Для випускних клапанів 40Х9С2, Х10СМ, 40СХ10МА. Для впускних клапанів 40, 40Х, 40ХН, 40Х9С2	Загартування і відпустка

4.5 Кольорові метали та сплави

У практиці сільськогосподарського та автотракторного машинобудування широке застосування знайшли сплави на основі кольорових металів - міді та алюмінію. Кольорові метали і сплави можна обробляти тиском, різанням і зварювати. Для зміни їхніх властивостей застосовують термічну обробку. Деталі з кольорових металів і сплавів виготовляють литтям і пластичним деформуванням. Застосування кольорових металів необхідно економічно виправдовувати, оскільки вони дорогі й дефіцитні порівняно з чорними металами.

4.6 Алюміній та його сплави

Алюміній - легкий метал (густина 2700 кг/м^3) білого кольору з гранецентрованою кристалічною решіткою. Температура плавлення Al $660 \text{ }^\circ\text{C}$. Порівняно із залізом, у якого густина 7800 кг/м^3 , а $t_{пл} = 1536 \text{ }^\circ\text{C}$, алюміній має майже втричі нижчу густину, унаслідок чого цей метал і його сплави широко застосовують там, де мала густина і велика питома міцність (σ_b/ρ) мають важливе значення.

Характерні властивості алюмінію - висока пластичність і мала міцність. Прокатаний і відпалений алюміній високої чистоти має такі механічні властивості: $\sigma_b = 58 \text{ МПа}$; $HB25$; $\psi = 85 \%$; $\delta = 40 \%$. Алюміній не має алотропічних модифікацій, має високу електро- і теплопровідність, високу хімічну активність і водночас виняткову корозійну стійкість, що пояснюється утворенням на поверхні тонкої міцної безпориистої оксидної плівки Al_2O_3 , яка надійно захищає метал від подальшого окислення. Чим чистіший алюміній і чим він вільніший від різних домішок, тим вища його корозійна стійкість.

Найчистіший алюміній - алюміній особливої чистоти, містить $99,999 \%$ Al , а сума всіх домішок становить не більше $0,001 \%$. Його застосовують переважно для лабораторних дослідів. У промисловості залежно від вимог застосовують алюміній високої чистоти ($99,995\text{-}99,95 \%$ Al) і технічної чистоти ($99,85\text{-}99,0 \%$ Al).

Сплави на основі алюмінію мають малу щільність, високі питомі механічні властивості, високу корозійну стійкість, зварюваність тощо.

Алюмінієві сплави класифікують на:

- ◆ *такі, що деформуються* (в їхній структурі відсутня евтектика), ливарні (сплави з евтектикою);
- ◆ *які не зміцнюються термічною обробкою* (нагрівання таких сплавів не супроводжується фазовими перетвореннями у твердому стані),
- ◆ *які зміцнюються термічною обробкою* (сплави з твердофазними перетвореннями).

Крім того, сплави поділяють на жароміцні, високоміцні, кувальні, сплави для заклепок тощо.

Деформівними сплавами, що не зміцнюються термообробкою, є сплави на основі системи $Al\text{-}Mg$ (*магналії*), наприклад AMg_2 , AMg_3 , AMg_6 ; сплави системи $Al\text{-}Mn$, наприклад AMn (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 - Типові механічні властивості деяких деформівних алюмінієвих сплавів, що деформуються, після загартування і старіння

Сплав	Вміст елементів (за масою), %					$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ , %
	Cu	Mg	Mn	Si	Інші			
Дуралюміні								
Д1	3,8–4,8	0,4–0,8	0,4–0,8	0,7	–	250	410	15
Д16	3,8–4,5	1,2–1,8	0,3...0,9	0,5	–	380	520	11
Сплав авіаль								
АВ	0,2–0,6	0,45–0,9	0,15–0,35	0,5–1,2	–	120	220	22
Високоміцні алюмінієві сплави								
В95	1,4–2,0	1,8–2,0	0,2–0,6	0,5	5–7 Zn; 0,1–0,2 Cr	540	580	8
В96	2,2–2,8	2,5–3,2	0,2–0,5	–	8–9 Zn	630	670	7
Кувальні алюмінієві сплави								
АК6	1,8–2,6	0,4–0,8	0,4–0,8	0,7–1,2	–	300	420	13
АК8	3,9–4,8	0,4–1,0	0,4–1,0	0,6–1,2	–	380	480	12
Жароміцні алюмінієві сплави								
АК4-1	1,9–2,5	1,4–1,8	–	0,35	0,8–1,5 Fe; 1,0–1,5 Ni; 0,02–0,1 Ti	80	430	13
Д20	6–7	–	0,4–0,8	0,3	0,1–0,2 Ti; ~ 0,27 Zr	250	400	12

Найважливішими деформівними сплавами, що зміцнюються термічною обробкою, є:

- ◆ сплави на основі системи Al-Cu-Mg (дуралюміні), наприклад Д1, Д16, ВД17, Д18, Д19, В65 (сплав ВД17 - жароміцний, Д18 і В65 - сплави для заклепок);

- ◆ сплави на основі системи Al-Mg-Si (авіалі), наприклад АВ, АД31, АД35;

- ◆ кувальні сплави на основі системи Al-Mg-Si-Cu, наприклад, АК6, АК8; на основі системи Al-Cu-Mg з добавками Fe і Ni, наприклад АК4-1 (сплав жароміцний);

- ◆ високоміцні сплави на основі системи Al-Zn-Mg-Cu, наприклад В93, В95, В96Ц.

Ці сплави добре обробляються тиском (штампуванням у холодному стані, гнуттям тощо). Їх широко застосовують у будівельних конструкціях, при виготовленні баків для бензину, трубопроводів тощо. З дуралюміну Д16 також виготовляють обшивки, силові каркаси, кузови вантажних автомобілів. Дуралюмін, виготовлений у листах, для захисту від корозії піддають

плакуванню, тобто покриттю тонким шаром алюмінію високої чистоти. Товщина шару становить 4 % від товщини листа.

Термічне зміцнення алюмінієвих сплавів досягається загартуванням і подальшим старінням. Обґрунтувати режими термообробки таких сплавів, як дуралюміни, можна в першому наближенні, розглядаючи їх як сплави системи Al-Cu (у дуралюмінах мідь - головний легувальний елемент). Свіжозагартовані сплави мають досить низьку твердість і міцність, високу пластичність. Під час тривалого перебування загартованого сплаву за нормальної температури (природне старіння) або за порівняно нетривалого нагрівання (штучне старіння) атоми легувальних елементів (у сплавах системи Al-Cu - атоми міді), розташовані у свіжозагартованому сплаві випадково, збираються в певних місцях кристалічної решітки, утворюючи ділянки підвищеної концентрації - зони Гінье-Престона. У результаті природного старіння утворюються зони товщиною 0,5-1 і протяжністю 3-6 нм (їх називають зони ГП-1), викликаючи зміцнення сплаву.

Якщо природно зістарений сплав піддати короткочасному нагріванню до 250-270 °С, то зони ГП розчиняються і сплав повертається до свіжозагартованого стану з характерними для нього властивостями (низькою твердістю і високою пластичністю). Це явище отримало назву повернення. Після повернення сплав може бути знову зміцнений при природному або штучному старінні.

За штучного старіння зони Гінье-Престона укрупнюються, досягаючи 1-4 за товщиною і 20-30 нм за протяжністю (зони ГП-2). Концентрація міді в них наближається до стехіометричного співвідношення в сполуці CuAl_2 . Подальший розвиток процесів штучного старіння призводить до утворення метастабільних когерентно пов'язаних із твердим розчином, а потім стабільних, відокремлених від розчину фаз. Швидкість штучного старіння залежить від температури. Підвищення температури прискорює процес. Однак у сплавах системи Al-Cu з 3-5 % міді одержувана при цьому максимальна міцність тим нижча, чим вища температура старіння. Найбільше зміцнення отримують при природному старінні в результаті утворення зон ГП-1.

Для підвищення міцності дуралюміни піддаються загартуванню з 500 °С у воді та старінню. Процес природного старіння триває 4-5 діб. Відпалюють дуралюміни при 340-370 °С.

Не завжди максимум міцності досягається природним старінням, більш того, у багатьох високоміцних сплавах (В93, В95 та ін.) природне старіння не протікає взагалі (зміцнення за тривалої витримки при нормальній температурі не відбувається). Термічна обробка цих сплавів полягає в загартуванні за 510-520 °С у воді та штучного старіння за 120-140 °С.

Стан деформівних сплавів, що відображає термічний і термомеханічний вплив, має позначення:

М - м'який, відпалений;

Т - загартований і природно зістарений;

T1 - загартований і штучно зістарений на максимальну міцність;

H - нагартований (деформація 1-7 %);

H1 або HH - посилено нагартований;

TH - загартований, природно зістарений і нагартований.

Наприклад, АК6Т1 - позначення загартованого і штучно зістареного деформівного (кувального) алюмінієвого сплаву АК6, АМг2Н1106 - позначення посилено нагартованого деформівного незміцнюваного термічною обробкою сплаву АМг2.

Ливарними сплавами є сплави на основі систем Al-Si (силуміни), наприклад АК12 (АЛ2), АК7 (АЛ9); Al-Cu, наприклад АЛ19, АЛ33; Al-Mg, наприклад АЛ8, АМгЮ (АЛ27). Механічні властивості деяких ливарних сплавів алюмінію наведено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 - Механічні властивості деяких ливарних алюмінієвих сплавів

Сплав	Вміст (по масі), %					σ_B	$\sigma_{0,2}$	$\delta, \%$
	Mg	Si	Mn	Cu	інші			
Сплави Al-Si (силуміни)								
АЛ2	–	11–13	–	–	–	180	90	5
АЛ4	0,17–0,3	0–10,5	0,25–0,5	–	–	180	140	2
АЛ9	0,2–0,4	6–8	–	–	–	220	160	3
Сплави Al-Cu								
АЛ7	–	–	–	4–5	–	240	160	7
АЛ19	–	–	0,6–1,0	4,5–5,3	0,25–0,45 Ti	320	180	9
Сплави Al-Mg								
АЛ8	9,5–11,5	–	–	–	–	350	170	10
АЛ27	0,5–11,5	–	–	–	до 0,15 Ti до 0,2 Zr до 0,15 Be	360	180	18
Жароміцні сплави								
АЛ1	1,3–1,8	–	–	3,8–4,5	1,8–2,3Ni 0,2–0,3Cr	260 220	200 180	0,6 1,2
АЛ20	0,7–1,2	1,5–2,0	0,2–0,3	3,6–4,5	1,3–1,5Fe до 0,1 Ti	300 230	230 180	0,8 0,8
АЛ21	0,8–1,3	–	0,2–0,3	4,6–6,0	2,6–3,6Ni 0,1–0,3Cr	210 220	– 200	1,2 1,5

Відповідно до нової цифрової системи маркування Al сплавів одиниця, що стоїть на початку марки, характеризує основу сплаву - алюміній. Друга цифра позначає основний легуючий елемент або групу елементів. Третя або третя і друга цифри ті самі, що і в старому маркуванні. Непарне число або нуль, що стоять на четвертому місці, позначають деформівний сплав. У

ливарних сплавів четверта цифра парна. За такого маркування сплав Д16, наприклад, позначається 1160.

Чистота сплавів за контрольованими домішками (Fe, Si та ін.) позначається буквами: *пч* (практично чистий), *ч* (чистий), *дч* (дуже чистий), які стоять після марки сплаву, наприклад АМг5дч.

Ливарні алюмінієві сплави застосовують для виготовлення деталей машин і приладів литтям. Вони мають хороші ливарні властивості: високу рідкотекучість у розплавленому стані, високі механічні властивості. Крім того, вони добре обробляються різанням.

Сплави Al-Si називають **силумінами**. Їх маркують літерами АЛ і порядковою цифрою: АЛ2, АЛ4, АЛ9 тощо.

У сплаві АЛ2 (11-13 % Si) кремній під час затвердіння сплаву виділяється у вигляді великих кристалів голчастої форми. Це знижує механічні властивості сплаву. Для подрібнення структури й усунення надлишкових кристалів кремнію силуміни модифікують натрієм (0,05-0,08 % Na). У структурі замість надлишкового кремнію з'являються кристали α -розчину, а евтектика набуває тоншої будови і складається з дрібних кристалів Si і α -твердого розчину. У процесі затвердіння кристали кремнію обволікаються плівкою силіциду натрію (Na_2Si), що ускладнює їхній ріст. Сплави АЛ2 піддають відпалу за 300 °С протягом 5-10 год для зняття внутрішніх напружень.

Сплави Al-C (АЛ7, АЛ19) володіють високими механічними властивостями, гарною оброблюваністю різанням, проте мають низькі ливарні властивості (велика усадка, схильність до утворення гарячих тріщин тощо). Сплави піддають загартуванню за 535-545 °С з охолодженням у гарячій воді та штучному старінню (2-3 год) за 175 °С. Зміцнення відбувається внаслідок виділення частинок CuAl_2 і $\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$.

Сплави Al-Mg (АЛ8, АЛ27) мають низькі ливарні властивості, але хорошу корозійну стійкість і оброблюваність різанням. Ці сплави застосовують для виливків, що працюють у вологій атмосфері. Термічна обробка полягає в загартуванні за 430 °С протягом 12-20 год (для розчинення частинок Al_3Mg_2 в α -твердому розчині) і охолодженні в олії.

Жароміцні сплави АЛ1, АЛ20 застосовують для виготовлення поршнів, головок циліндрів та інших деталей, що працюють за 275-300 °С. Структура сплаву АЛ1 складається з α -твердого розчину, що містить Cu, Mg, Ni, і надлишкових фаз Al_2CuMg і $\text{Al}_6\text{Cu}_3\text{Ni}$.

Поршні піддають загартуванню при 525 °С і старінню при 290 °С.

4.7 Мідь та її сплави

Мідь - метал червонуватого кольору з гранецентрованою кристалічною решіткою. Густина Cu дорівнює 8890 кг/м³. При 1083 °С мідь плавиться.

За властивостями мідь близька до срібла і золота. Останні на повітрі не окислюються і тому називаються благородними металами. Мідь окислюється слабо, тому її називають напівблагородним металом.

Чиста мідь має низку цінних технічних властивостей. Завдяки високій пластичності, високій електро- і теплопровідності, малій окиснюваності цей метал широко використовується в промисловості.

Висока електропровідність міді зумовлює її переважне застосування в електротехніці як провідникового металу. Усі домішки зменшують електропровідність міді. Наклеп також знижує електропровідність міді. Тому, якщо дроти не повинні бути особливо міцними, то застосовують відпалену мідь. Для підвісних же проводів (де потрібна міцність) застосовують нагартовану мідь або мідь з невеликими добавками активних зміцнювачів (наприклад, з добавкою 1 % Cd).

Механічні властивості чистої міді наведено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 - Механічні властивості чистої міді

Стан	σ_B , МПа	δ , %
Лита	150–2	15–25
Прокатана і відпалена	250–270	40–50
Нагартована	400–450	1–2

Шляхом електролізу вдається отримати мідь досить високої чистоти. Для наукових цілей можна приготувати мідь 99,999 %-ї чистоти, але технічна мідь звичайної чистоти містить 0,1-0,5 % домішок (таблиця 4.5).

Таблиця 4.5 - Склад технічної міді (ГОСТ 859-78), %

Марка	Cu	Домішки (не більше)			Марка	Cu	Домішки (не більше)		
		Bi	Pb	$\Sigma_{\text{прим}}$			Bi	Pb	$\Sigma_{\text{прим}}$
M000	99,99	0,0005	0,001	0,01	M2	99,7	0,002	0,01	0,3
M1	99,9	0,001	0,005	0,1	M3	99,5	0,003	0,05	0,5

У техніці поряд із чистою міддю широко використовують її сплави. Найбільшого поширення набули сплави міді з цинком, звані *латунями*, і сплави з іншими елементами (Sn, Si, Al, Be тощо), що отримали назву *бронзи*.

Латуні мають високі механічні та технологічні властивості і мають високу корозійну стійкість. У системі мідь-цинк (рисунок 4.1) утворюються шість твердих розчинів: α , β , γ , δ , ϵ , η . За вмісту цинку до 39 % латунь має структуру однофазного α -твердого розчину цинку в міді. Такі латуні мають високу пластичність, добре деформуються за низьких і високих температур. Однак в інтервалі 200-600 °C з'являється крихкість, пов'язана з утворенням у домішках свинцю, сурми, вісмуту крихких міжкристалітних прошарків. З підвищенням температури ці прошарки розчиняються, і пластичність латуні збільшується. Чим більше в α -латуні цинку, тим вища міцність і пластичність сплаву.

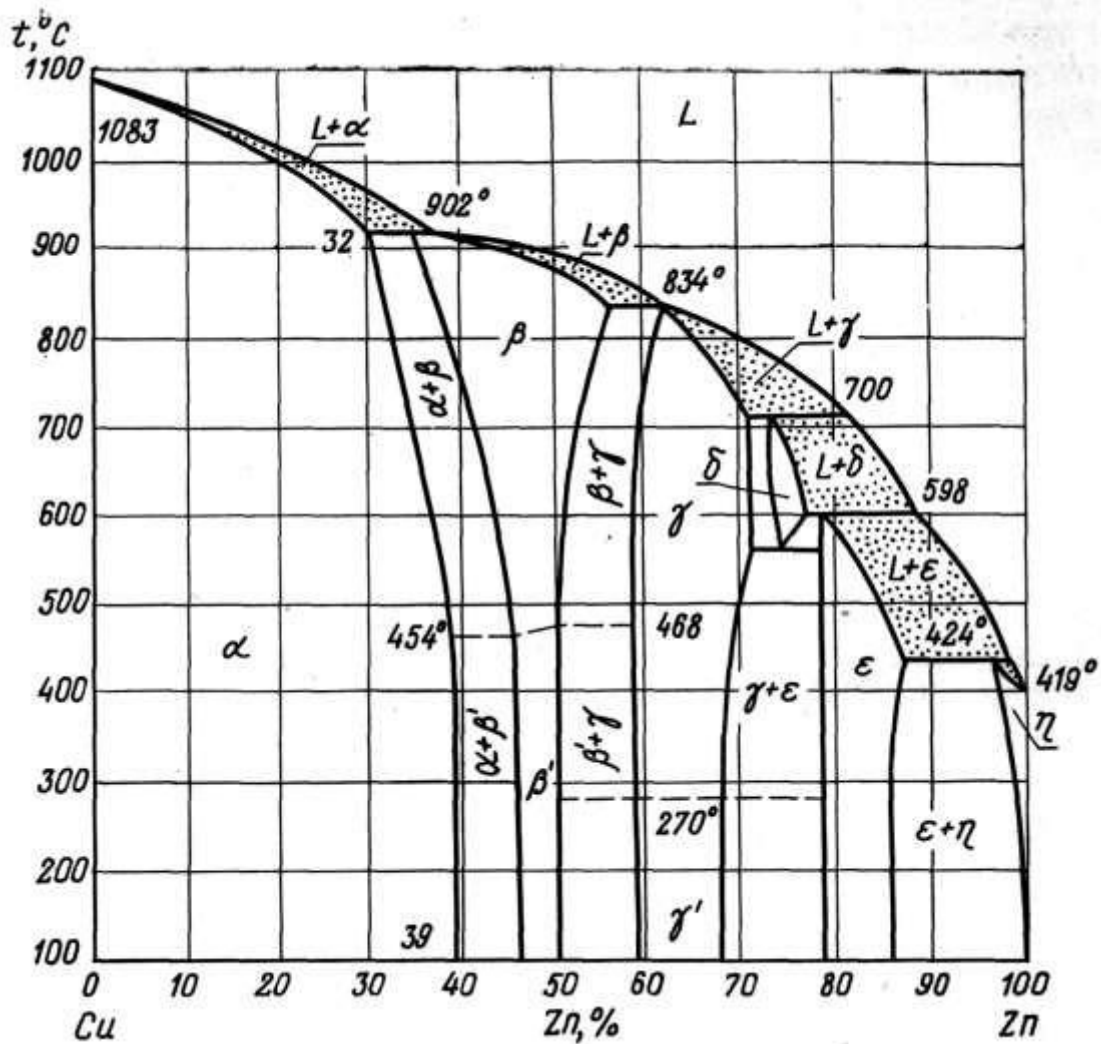


Рисунок 4.1 - Діаграма стану Cu-Zn

За вмісту цинку понад 39 % у структурі латуні з'являється β' -фаза - впорядкований твердий розчин на базі електронної сполуки CuZn. Двофазні ($\alpha + \beta'$) латуні мають підвищену міцність і твердість, меншу пластичність. Вище 700 °С, коли структура стає однофазною і β -фаза має неупорядковане розташування атомів, пластичність латуні збільшується.

За концентрації Zn понад 45 % сплав стає однофазним твердим розчином β .

Практичне застосування в техніці мають латуні з вмістом цинку до 43 %.

Під час холодної обробки тиском латуні отримують значний наклеп, який знімається рекристалізаційним відпалом. Для отримання дрібного зерна в α -латунях температуру відпалу призначають у межах 350-450 °С. Латуні, що містять 20 % цинку, схильні до розтріскування під час вилежування у вологій атмосфері (особливо тій, що містить сліди аміаку). Це відбувається внаслідок корозії по межах зерен.

Крім основних компонентів (Cu і Zn), латунь може містити легувальні елементи (Al, Fe, Pb, Sn тощо). Олово, марганець і алюміній збільшують

міцність і корозійну стійкість латуні; кремній покращує її ливарні властивості.

Деформовані латуні маркують літерою Л і наступними за нею позначеннями легуючих елементів, якщо такі є. Потім йдуть групи чисел, перше з яких вказує на концентрацію міді, а кожне з наступних - на вміст відповідного легувального елемента. Концентрація цинку визначається за різницею. Наприклад, сплав Л62 містить 62 % Cu і 38 % Zn; ЛАН59-3-2 містить 59 % Cu, 3 % Al, 2 % Ni і 36 % Zn.

У марках ливарних латуней у явній формі вказується вміст цинку (вміст міді визначають за різницею). Числа, що відповідають відсотковій концентрації цинку і легуючих елементів, слідують безпосередньо за буквеними символами. Наприклад, сплав ЛЦ40МцЗА містить 40 % Zn, 3 % Мп, 1 % Al і 56 % Cu.

Латуні застосовують для виготовлення стрічок, труб, смуг, дроту, гайок, шестерень, підшипників ковзання, втулок, прокладок, корозійно стійких у воді деталей тощо.

Бронзи залежно від легувального елемента бувають олов'янисті, алюмінієві, крем'янисті, баррілієві тощо. Вони мають хороші ливарні властивості. Деякі бронзи мають високу пластичність і корозійну стійкість.

Принципи маркування бронз загалом близькі з маркуванням латуні. Відмінності полягають у тому, що на першому місці в марці пишуть не Л, а Бр, крім того, ні в деформівних, ні в ливарних сплавах не вказують у явній формі концентрацію міді, маючи на увазі, що вона завжди є основою сплаву. Наприклад, сплав БрОЦС 4-4-17 - деформівна бронза, що містить 4 % Sn, 4 % Zn, 17 % Pb, основа сплаву - мідь; сплав БрОЗЦ12С5 - ливарна бронза, що містить 3 % Sn, 12 % Zn, 5 % Pb, основа сплаву Cu.

Олов'янисті бронзи (БрОЦСН 3-7-5-1, БрОЦС 3-7-5 та ін.) мають хороші металічні, антифрикційні та технологічні властивості, а також корозійну стійкість. Вони мають високі ливарні властивості, добре сприймають пайку і зварювання, не дають іскри під час ударів, немагнітні і морозостійкі.

Алюмінієві бронзи (БрАЖ 9-4, БрАЖМц 10-3-1.5 та ін.) мають хороші технологічні та механічні властивості і не містять дефіцитних елементів. Бронзи, що містять понад 10 % Al, можна піддавати загартуванню (нагрівання до 900 °С і охолодження у воді) для збільшення твердості та міцності. З алюмінієвих бронз виготовляють зубчасті колеса, сальники, втулки, деталі турбін тощо.

Крем'янисті бронзи (БрКМц3-1, БрКН1-3 та ін.) мають високу пластичність і хороші ливарні властивості. Їх застосовують як замітники олов'янистих бронз. Ці бронзи зміцнюють термічною обробкою - загартуванням з 850-875 °С у воді та подальшим відпуском - старінням при 410-475 °С. З кремнистих бронз виготовляють втулки, пружини та інші деталі.

Берилієві бронзи (БрБ2) мають високу міцність, корозійну стійкість, хорошу зварюваність. Їх використовують у приладобудуванні для виготовлення відповідальних пружин, мембран та інших деталей. Для отримання потрібних властивостей бронзу піддають загартуванню з 780 °С у воді та старінню при 300 °С протягом 3 годин.

4.8 Титан і його сплави

Титан існує у двох алотропічних модифікаціях. Нижче 882 °С існує α -титан, що має ГПУ кристалічну решітку. За вищих температур аж до температури плавлення (1665 °С) Ті існує в модифікації β з ОЦК решіткою. Титан може бути віднесений як до тугоплавких металів (температура плавлення вища, ніж у Fe), так і до легких (густина Ті - 4500 кг/м³). За хімічною стійкістю він не поступається корозійностійким (нержавіючим) сталям, а в деяких випадках перевершує їх.

Титанові сплави найширше застосовують в авіації та ракетній техніці для виготовлення деталей, що працюють за температур 250-550 °С, коли легкі алюмінієві сплави вже не можуть працювати, а сталі та нікелеві сплави поступаються їм за питомою міцністю.

Для підвищення міцності титанові сплави легують марганцем, залізом, алюмінієм, молібденом, хромом, ванадієм, оловом та іншими елементами. Елементи, що розширюють сферу існування α -модифікації титану і підвищують температуру $\alpha \rightarrow \beta$ переходу, називають *α -стабілізаторами*. Найважливішим елементом цієї групи є Al. Елементи, що розширюють сферу існування β -модифікації титану і знижують температуру поліморфного перетворення, називають *β -стабілізаторами*. Найважливішими з них є Mo, V, Cr, Mn, Fe, Ni тощо. Здатність β -фази до переохолодження лежить в основі термічної обробки титанових сплавів.

Елементи, що практично не впливають на температуру поліморфного перетворення, називають *нейтральними*. Найбільше практичне значення з них мають Sn і Zr.

За структурою у відпаленому стані титанові сплави поділяють на п'ять груп:

- α -сплави (BT1-0, BT5 та ін.);
- псевдо α -сплави (OT4, BT4, BT18 та ін.);
- ($\alpha + \beta$)-сплави (BT6, BT3-1, BT22 та ін.);
- псевдо β -сплави (BT15, TC6 та ін.);
- β -сплави (4201 та ін.).

Титанові сплави можна зміцнювати термічною обробкою в печах із захисною атмосферою.

4.9 Антифрикційні сплави

Сплави кольорових металів широко застосовуються як антифрикційні (підшипникові) матеріали. Вони мають гетерогенну структуру, що складається з м'якої основи з рівномірно розподіленими включеннями

твердих частинок (бабіти, низка сплавів на основі міді, цинкові антифрикційні сплави) або з твердої основи і м'яких включень (свинцевиста бронза, олов'янистий алюміній).

Бабіти, наприклад Б83, Б16, БКА, - сплави на основі олова (Б83) або свинцю (Б16 - з добавкою Sn, БКА - безолов'янистий). Застосовують бабіти для виготовлення вкладишів підшипників ковзання швидкохідних важконавантажених машин (Б83, Б88), автомобільних моторів (Б16), підшипників вагонів (БКА, БК2).

Широке застосування мають олов'янисті бабіти Б83 (11 % Sb, 6 % Cu, 83 % Sn). Структура олов'янистих бабітів складається з твердого скелета голок Cu_6Sn_5 і в'язкої основи потрійної евтектики - твердого розчину сурми та міді в олові й частинок Cu_6Sn_5 і SnSb. Вал під час роботи зношує в'язку основу сплаву і спирається на тверді частинки, що виступають. Це сприяє утриманню мастила в западинах підшипника.

Алюмінієві підшипникові сплави, наприклад АО9-2, АО20-1, працюють в умовах високої енергонапруженості (за високих тисків і швидкостей ковзання).

Дещо поступається за антифрикційними властивостями алюмінієвим сплавам свинцевиста бронза БрСЗО. Бронзу БрО5Ц5С5, латунь ЛЦ16К4 та ін. застосовують як антифрикційні матеріали за невисоких швидкостей ковзання (1-3 м/с).

Контрольні питання

4.1 Як впливають легувальні елементи на механічні властивості та прожарюваність легованих сталей?

4.2 За якими ознаками класифікують леговані сталі?

4.3 Які леговані сталі належать до сталей з особливими властивостями?

4.4 Які вимоги за властивостями висувають до конструкційних сталей і чому?

4.5 Перелічіть леговані сталі, що належать до конструкційних цементованих.

4.6 Перелічіть леговані сталі, що належать до конструкційних поліпшуваних.

4.7 Яку термічну обробку призначають для цементованих сталей, а яку - для поліпшуваних?

4.8 Що таке червоність матеріалу?

4.9 Де застосовують швидкорізальну сталь?

4.10 Яким методом виготовляють тверді сплави? Який їхній склад?

4.11 Який легувальний елемент вводять у сталь для підвищення її зносостійкості?

4.12 Яка термічна обробка ресорно-пружинних сталей?

4.13 Як впливають домішки на електропровідність міді?

4.14 Як маркуються латуні, що деформуються?

4.15 Якими механічними, фізичними та технологічними властивостями володіють бронзи?

4.16 Де в харчовому машинобудуванні застосовують алюміній і його сплав?

4.17 Якими методами обробляються алюмінієві сплави, що деформуються? Назвіть приклади таких сплавів.

4.18 Назвіть групи алюмінієвих сплавів.

4.19 Якій термічній обробці піддають дюралюміні?

4.20 З яких компонентів складається сплав силумін?

4.21 Які властивості титанових сплавів роблять їх перспективними для застосування в харчовій промисловості?

4.22 Які сплави кольорових металів застосовують як антифрикційні?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 4

ВИВЧЕННЯ МІКРОСТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ ЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ

Мета заняття. Вивчити мікроструктуру легованих сталей різних структурних класів; установити зв'язок між їхньою структурою, термообробкою та властивостями.

Обладнання, інструменти, матеріали

1. Твердомір HBRV-187,5.
2. Мікроскоп марки ЛабоМет-1.
3. Набір мікрошліфів легованих сталей.
4. Альбом мікроструктур.

Теоретичні відомості

Багато деталей машин працюють в умовах високих швидкостей, великих тисків, підвищених температур, агресивних середовищ (кислот, лугів, газів, що роз'їдають, тощо). Такі умови роботи вимагають застосування матеріалів високої міцності та пластичності, зносостійкості, жароміцності, корозійностійкості. Цими властивостями володіють леговані сталі, що містять, крім постійних домішок, один або кілька так званих легувальних елементів: нікель, хром, вольфрам, молібден, ванадій, титан тощо.

За вмістом легувальних елементів леговані сталі поділяють на низько-, середньо- і високолеговані з відповідним вмістом легувальних елементів: до 3 %, від 3 до 10 % і понад 10 %.

За призначенням леговані сталі бувають конструкційними, інструментальними та з особливими властивостями.

За структурою в нормалізованому стані леговані сталі поділяють на

класи: перлітний, феритний, аустенітний, мартенситний і карбідний.

Нижче наведено короткі відомості про досліджувані марки легованих сталей.

Сталі конструкційні (перлітного класу)

Сталь полішена марки 30ХГСА (0,28-0,34% С; 0,8-1,1% Cr; 0,8-1,1% Mn і 0,9-1,2% Si, високоякісна) піддається загартуванню при температурі від 830-850 ° С в олії і високому відпустці при 600 ° С на сорбіт (рисунок 4.2) з отриманням високих значень міцності і в'язкості. Застосовується для виготовлення осей, півосей, валиків, важелів, деталей рульового управління, болтів тощо.

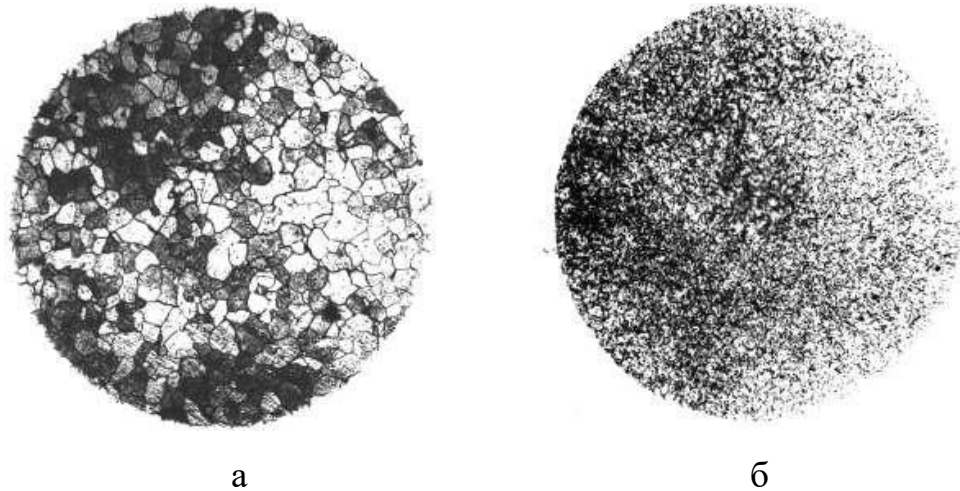


Рисунок 4.2 - Мікроструктура сталі марки 30ХГСА:

а - ферит + перліт (після відпалу) $\times 500$;

б - сорбіт відпуску (після загартування і високого відпуску) $\times 500$

Сталь ресорно-пружинна марки 60С2 (0,57-0,65 % С; 0,6-0,9 % Mn і 1,5-2 % Si) працює в умовах знакозмінних навантажень(рисунок 4.3).

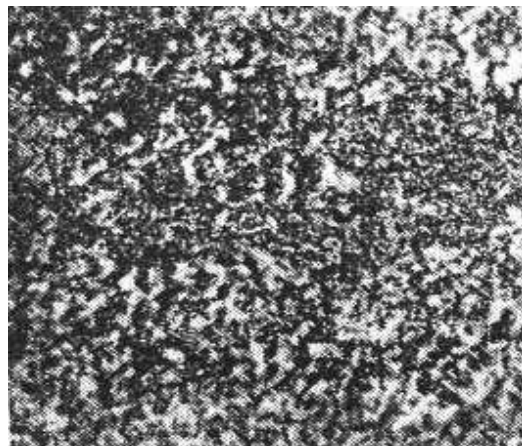


Рисунок 4.3 – Мікроструктура сталі марки 60С2 після загартування і відпуску $\times 500$

Для забезпечення необхідних властивостей (збереження протягом тривалого часу високих пружних значень) її піддають загартуванню за температури від 820-840 °С в олії та відпуску за температури від 350-400 °С на троостит

Сталь підшипникова марки ШХ15 (0,95-1,05 % С; 1,3- 1,65 % Cr і 1,5-2 % Si) працює в умовах поверхневого зносу і високих контактних напружень (втомних). Для забезпечення необхідних властивостей вона загартовується від температури 830-850 °С у маслі, відпускається при 140-160 °С на мартенсит. На рисунку 4.4 показана структура загартованої сталі з дрібногочастим мартенситом і рівномірно розподіленими карбідами хрому.

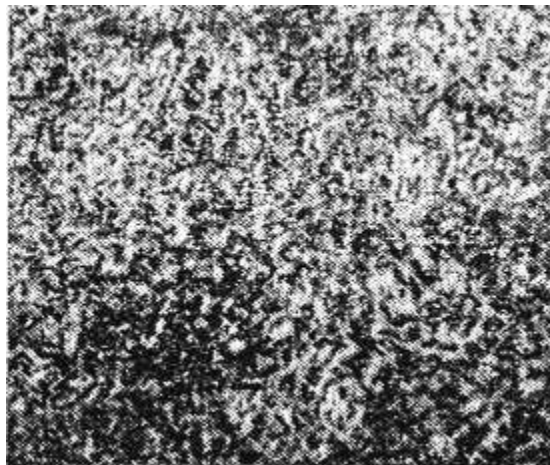


Рисунок 4.4 – Мікроструктура сталі марки ШХ15 після загартування $\times 500$

Сталь інструментальна (карбідного класу)

Сталь швидкорізальна марки Р18 (0,7-0,8 % С; 3,8-4,4 % Cr; 17,5-19 % W і 1-1,4 % V) працює в умовах розігріву ріжучої кромки до 600 °С. Мікроструктура такої сталі в литому стані складається з темного сорбітоподібного перліту, світлих карбідів і "скелетного" виду ледебуритної евтектики (рисунок 4.5).

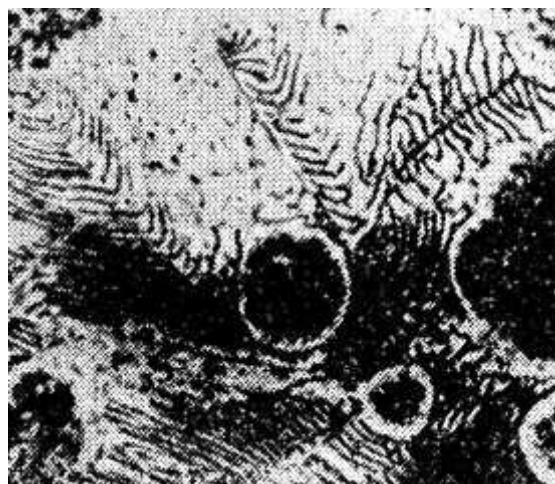


Рисунок 4.5 – Мікроструктура литої швидкорізальної сталі марки Р18 $\times 500$

Подальше кування або прокатка руйнує евтектику. Термообробка такої сталі складається з відпалу, загартування і триразового відпуску (рисунок 4.6).

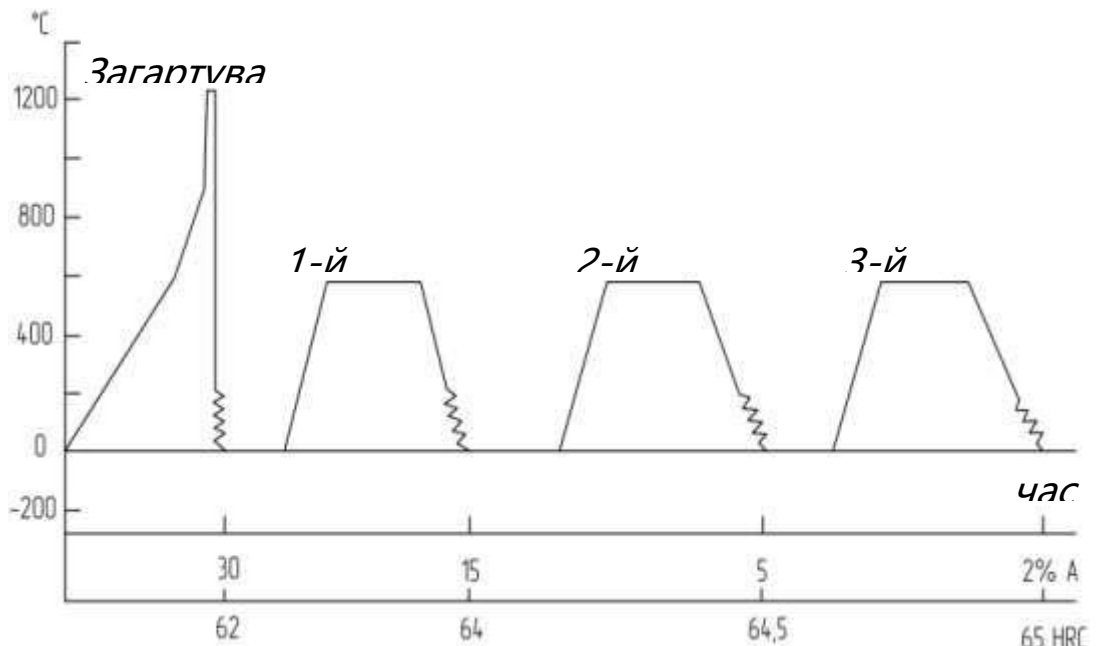


Рисунок 4.6 – Схема загартування і відпуску швидкорізальної сталі марки Р18

Після відпалу структура складається з темного кольору сорбітоподібного перліту, світлих великих первинних карбідів, що виділилися з рідини під час кристалізації, дрібних світлих вторинних карбідів, що виділилися з аустеніту (рисунок 4.7). Через низьку теплопровідність нагрівання швидкорізальної сталі Р18 до 850 °C проводять повільно, а потім до 1280 °C швидко, щоб уникнути окислення і знеуглецювання.

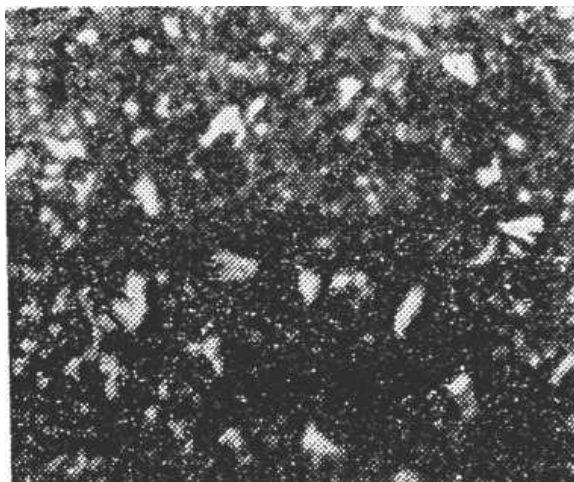


Рисунок 4.7 – Мікроструктура кованої та відпаленої швидкорізальної сталі марки Р18 $\times 500$

Після загартування сталі в олії виходить структура (рисунок 4.8а), що складається з мартенситу (50 %), залишкового аустеніту (30 %) і карбідів (20 %). Але під мікроскопом мартенсит не видно. Після загартування сталь має твердість HRC 60-62.

Для усунення залишкового аустеніту, що має знижену теплопровідність і твердість і погіршує тим самим різальну здатність інструменту, загартовану сталь піддають трикратному відпуску за 560 °С з годинною витримкою. Після відпуску структура сталі складається з голчастого мартенситу і світлих карбідів (рисунок 4.8б). Кількість залишкового аустеніту зменшується до 2 %, а твердість підвищується до HRC 65.

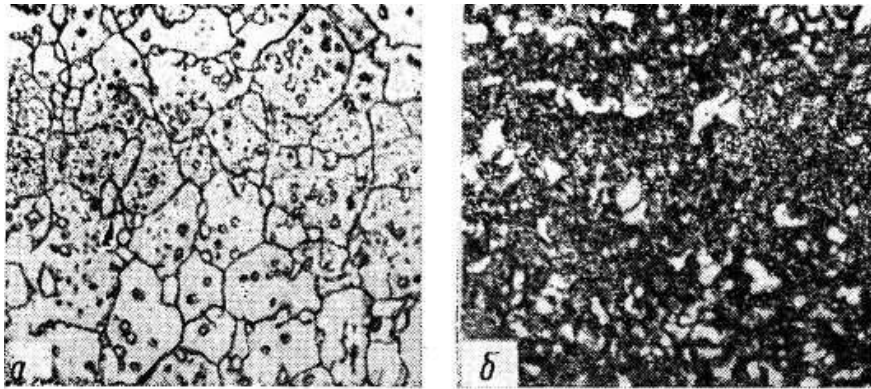


Рисунок 4.8 – Мікроструктура швидкорізальної сталі марки P18:
а - після загартування $\times 500$; б - після загартування і відпуску $\times 500$

Сталі з особливими властивостями

Нержавіюча сталь мартенситного класу марки 30X13 (0,26-0,35 % С; 12-14 % Cr) працює в слабоагресивних середовищах (водних розчинах солей, азотній і деяких органічних кислотах). Нагрівається при загартуванні до 1050-1100 °С у маслі та відпускається (залежно від експлуатаційних умов роботи деталі) за 200 °С на мартенсит (рисунок 4.9 а) або за 700 °С на сорбіт (рисунок 4.9б).

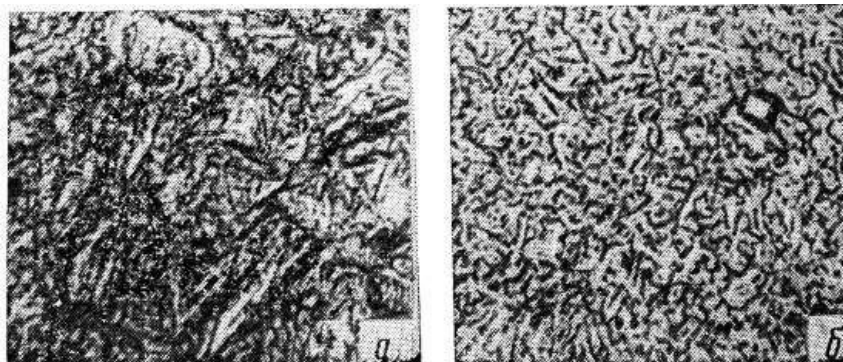


Рисунок 4.9 – Мікроструктура сталі марки 30X13:
а - після загартування і відпуску за 200 °С $\times 500$;
б - після загартування і відпуску за 700 °С $\times 500$

У низьковідпущеному стані сталь застосовують для виготовлення голок карбюраторів, пружин тощо, а у високовідпущеному - валів, зубчастих коліс, болтів тощо.

Нержавіюча сталь аустенітного класу марки 12X18H9T (0,12 % С; 17-19 % Cr; 8-10 % Ni і до 1 % Ti) працює в середовищах підвищеної агресивності (мурашина, оцтова, щавлева та інші кислоти). Для запобігання випадінню з твердого розчину сталі карбідів хрому, збереження в ній однофазної структури і високоантикорозійних властивостей ця сталь гартується у воді від 1050-1100 °С. Після загартування сталь має структуру аустеніту з лініями зсуву (рисунок 4.10). Цю сталь застосовують для трубопроводів, обшивок, різних ємностей тощо.

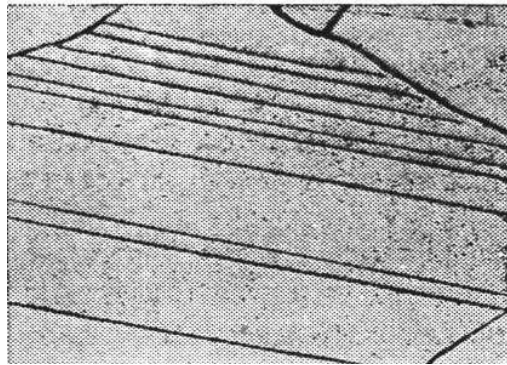


Рисунок 4.10 – Мікроструктура сталі марки 12X18H9 після загартування від 1100 °С × 500

Жароміцна і жаростійка сталь аустенітного класу марки 45X14H14B2M (0,45 % С; 14 % Cr; 14 % Ni; 2,0-2,5 % W; 0,2-0,4 % Mo) працює в умовах високих температур (до 1000 °С), зберігає тривалий час жароміцність і жаростійкість без утворення помітних залишкових деформацій. Після загартування у воді від 1050-1100 °С сталь має структуру аустеніту (рисунок 4.11а).

Після загартування і старіння за 750 °С структура сталі складається з аустеніту і карбідів (рисунок 4.11б). Сталь застосовується для виготовлення клапанів потужних двигунів, трубопроводів тощо.

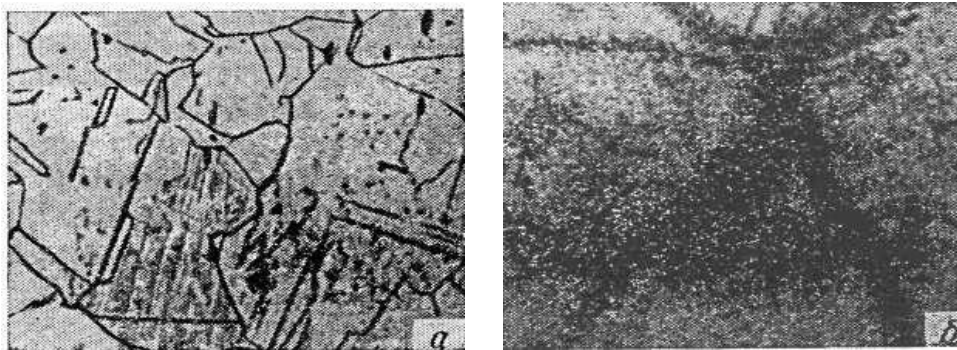


Рисунок 4.11 – Мікроструктура сталі марки 45X14H14B2M:
а - після загартування у воді від 1050-1100 °С × 500;
б - після старіння при 750 °С × 500

Порядок виконання роботи

1. Вивчити мікроструктури легованих сталей різних структурних класів.
2. Замалювати їхні схеми, вказавши збільшення мікроскопа.
3. Для кожної марки сталі вказати структурні складові, хімічний склад, термообробку, механічні властивості та застосування.

Зміст звіту

1. До звіту необхідно включити класифікацію легованих сталей за призначенням, вмістом легуючих елементів, структурою в нормалізованому стані; схеми мікроструктур, їхній опис; застосування сталей, які вивчаються, відповіді на контрольні запитання.

Контрольні питання

1. Що таке леговані сталі?
2. Як впливають легувальні елементи на властивості сталі?
3. Як класифікуються леговані сталі за вмістом легувальних елементів, призначенням, структурою після нормалізації?
4. Що таке поліпшення сталі? Який елемент насамперед забезпечує корозійну стійкість сталі?
5. Як проводиться термічна обробка швидкорізальних сталей?
6. Якою термічною обробкою зміцнюються аустенітні жароміцні сталі?
7. Якими експлуатаційними властивостями повинні володіти ресорно-пружинні та шарикопідшипникові сталі?
8. Як маркуються конструкційні леговані сталі?
9. Як маркуються шарикопідшипникові сталі?
10. Як маркуються швидкорізальні сталі?
11. Що таке жаростійкість?
12. Що таке жароміцність?

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДО ТЕМИ 4

1. Легувальний елемент, що позначається літерою «С» у марці сталі:
 - А) кобальт;
 - В) кремній;
 - С) селен;
 - Д) свинець.

2. Легувальний елемент, що позначається буквою «Г» у марці сталі:
 - А) молібден;
 - В) марганець;
 - С) мідь;

D) вольфрам.

3. Легувальний елемент, що позначається буквою «Н» у марці сталі:

- A) натрій;
- B) нікель;
- C) хром;
- D) ніобій.

4. Хімічний склад сталі 20ХН3А;

- A) $\sim 0,2$ % C; не більше 1,5 % Cr; 3 % Ni. Сталь високоякісна;
- B) ~ 2 % C; не більше 1,5 % Cr і Ni; ~ 3 % Ni;
- C) $\sim 0,02$ % C; ~ 3 % Ni і \sim по 1 % Cr і Ni;
- D) ~ 20 % C; не більше 1,5 % Cr і близько 3 % Ni.

5. Середній вміст вуглецю (%) у сталі 20ХН3А;

- A) 0,02;
- B) 0,20;
- C) 2,00;
- D) 20,00.

6. Вміст вуглецю в поліпшуваних сталях (%):

- A) 0,6-0,8;
- B) 0,3-0,5;
- C) 0,8-1,0;
- D) 1,0-1,5.

7. Вміст вуглецю в цементованих сталях (%):

- A) 0,6-0,8;
- B) 0,3-0,5;
- C) 0,8-1,0;
- D) 0,1-0,25.

8. Сталь, що належить до класу конструкційних:

- A) P18;
- B) 45ХН;
- C) ШХ15;
- D) 60СГ.

9. Середній вміст вуглецю (%) у сталі 9ХС:

- A) 0,09;
- B) 0,90;
- C) 9,00;
- D) у цій сталі вуглецю немає.

10. Сталь, що належить до класу інструментальних:

- A) P18;
- B) 45ХН;
- C) ШХ15;
- D) 60СГ.

11. Червоностійкість швидкорізальних сталей:

- A) стійкість проти високотемпературної корозії;
- B) здатність сталей до пластичної деформації за високих температур;
- C) здатність сталей протистояти відпуску;
- D) здатність зберігати високу твердість і ріжучу здатність при тривалому нагріванні.

12. Інструментальні сталі:

- A) 38ХН3МФ, 65Г;
- B) 40ХН2МА, А22;
- C) P9, У10;
- D) ШХ15, 40Х.

13. Технологічний метод, застосовуваний для отримання твердих сплавів:

- A) обробка надвисоким тиском у поєднанні з високим нагріванням;
- B) порошкова металургія;
- C) лиття з подальшою термічною обробкою;
- D) термомеханічна обробка.

14. Сталь, що належить до класу шарикопідшипникових:

- A) P18;
- B) 45ХН;
- C) ШХ15;
- D) 60СГ.

15. Сталь, що належить до класу ресорно-пружинних:

- A) P18;
- B) 45ХН;
- C) ШХ15;
- D) 60С2А.

16. Сталь, що належить до класу пружинних:

- A) P18;
- B) 45ХН;
- C) ШХ15;
- D) 60СГ.

17. Сталь, що належить до класу корозійностійких:

- A) P18;
- B) 45XH;
- C) ШХ15;
- D) 12Х13.

18. Жаростійкість металу (сплаву):

- A) опір нагріванню й охолодженню, що часто чергуються;
- B) опір корозійному впливу газу за високих температур;
- C) здатність зберігати структуру мартенситу за високих температур;
- D) здатність тривалий час чинити опір деформації та руйнуванню за підвищених температур.

19. Жароміцність металу (сплаву):

- A) збереження структури мартенситу за високих температур;
- B) опір корозійному впливу газу за високих температур;
- C) опір деформуванню і руйнуванню за підвищених температур;
- D) опір нагріванню й охолодженню, що часто чергуються.

20. Кобальт у твердому сплаві відіграє роль:

- A) сполучного компонента, збільшує в'язкість сплаву;
- B) збільшує зносостійкість сплаву;
- C) збільшує твердість сплаву;
- D) збільшує червоностійкість сплаву.

21. Карбід вольфраму (WC), що входить до складу твердих сплавів, забезпечує:

- A) в'язкість сплаву;
- B) твердість сплаву;
- C) міцність сплаву;
- D) пружність сплаву.

22. Назва та хімічний склад T15K6:

- A) сталь, містить понад 1 % вуглецю, 15 % титану, 6 % кобальту;
- B) мідний сплав, містить 15 % танталу, 6 % кремнію, решта - мідь;
- C) алюмінієвий сплав, склад встановлюється за ГОСТом;
- D) твердий сплав, містить 15 % карбіду титану, 6 % кобальту, 79 % карбіду вольфраму.

23. Властивість, яку повинні мати матеріали, стійкі до абразивного зношування:

- A) в'язка матриця;
- B) висока твердість поверхневого шару;
- C) нестійкість до циклічних навантажень;
- D) висока прожарюваність.

24. Сплав, який рекомендується для виготовлення шестерні:

- A) ВЧ120;
- B) Ст5;
- C) 40Х9С2М;
- D) 20ХН.

25. Вміст вольфраму (W) і ванадію (V) (%) у швидкорізальній сталі Р18К5Ф2;

- A) у цій сталі вольфраму немає, $V = 5 \%$;
- B) $W = 2 \%$, $V = 18 \%$;
- C) $W = 18 \%$, $V = 2 \%$;
- D) $W = 18 \%$, $V = 5 \%$.

26. Деталі та конструкції, які виготовляють зі сталей марок 50Г, 50С2, 60С2ХФА;

- A) пружини та ресори;
- B) кузови автомобілів;
- C) зубчасті колеса;
- D) різальний інструмент.

27. Сталь, легована марганцем;

- A) У7А;
- B) 40ХНМА;
- C) Р18;
- D) 18Г2АФ.

28. Установіть відповідність деталі матеріалу для виготовлення цієї деталі:

- | | |
|------------------------------|------------------|
| Деталь: | Матеріал деталі: |
| 1) шестерня коробки передач; | A) СЧ35; |
| 2) колінчастий вал двигуна. | B) 18ХГТ; |
| | C) ВЧ60. |
| 1 - _____; 2 - _____. | |

29. Установіть відповідність деталі матеріалу для виготовлення цієї деталі:

- | | |
|-----------------------|------------------|
| Деталь: | Матеріал деталі: |
| 1) підшипник кочення; | A) СЧ35; |
| 2) ресора. | B) 55СГ; |
| | C) ШХ15. |
| 1 - _____; 2 - _____. | |

30. Установіть відповідність деталі матеріалу для виготовлення цієї деталі:

- | | |
|---------|------------------|
| Деталь: | Матеріал деталі: |
|---------|------------------|

С) висока $t_{пл}$ (1083 °С), висока електропровідність, висока густина (8940 кг/м³);

Д) висока $t_{пл}$ (1665 °С), низька електропровідність, низька щільність (4500 кг/м³).

40. Латунь - це сплав:

- А) міді з цинком;
- В) заліза з нікелем;
- С) міді з оловом;
- Д) алюмінію із кремнієм.

41. Назва та хімічний склад сплаву марки Л62:

- А) ливарна сталь, що містить 0,62 % С;
- В) ливарний алюмінієвий сплав, що містить 62 % А1;
- С) латунь, що містить 62 % Сu;
- Д) сплав бронзи з міддю, що містить 62 % бронзи.

42. Сплави міді з іншими елементами, серед яких, але тільки поряд з іншими, може бути і цинк:

- А) бронзи;
- В) латуні;
- С) інвари;
- Д) бабіти.

43. Сплав, що належить до бронз:

- А) Л70;
- В) Д16;
- С) БрАЖ 9-4;
- Д) ВТ5.

44. Клас, до якого належить бронза марки БрОЦ 4-3:

- А) кремениста;
- В) берилієва;
- С) олов'яна;
- Д) алюмінієва.

45. Назва та хімічний склад сплаву марки Д16:

- А) бабіт, що містить 16 % олова;
- В) латунь, що містить 16 % цинку;
- С) сталь, що містить 16 % міді;
- Д) деформівний алюмінієвий сплав, що зміцнюється термообробкою, - дюралюмін. Склад встановлюють за стандартом.

46. Сплав, що належить до силумінів:

- А) АЛ4;

- B) Д16;
- С) Л70;
- D) БрОФ 6,5-0,15.

47. Ливарний сплав системи Al-S:

- A) дюралюмін;
- B) латунь;
- С) бронза;
- D) силумін.

48. Сплав, що належить до дюралюмінів:

- A) АЛ4;
- B) Д16;
- С) Л70;
- D) БрОФ 6,5-0,15.

49. Елементи, що утворюють сплав, який називають дюралюміном:

- A) алюміній, мідь, магній і марганець;
- B) мідь і цинк;
- С) алюміній і кремній;
- D) мідь та інші елементи.

50. Елементи, що утворюють сплав, який називають силуміном:

- A) алюміній, мідь, магній і марганець;
- B) мідь і цинк;
- С) алюміній і кремній;
- D) мідь та інші елементи.

51. Спосіб зміцнення виробу зі сплаву Д16:

- A) загартування і відпуск;
- B) загартування і старіння;
- С) загартування;
- D) старіння.

52. Сплав, що належить до високоміцних алюмінієвих сплавів:

- A) АЛ4;
- B) Д16;
- С) Л70;
- D) В95.

53. Бабіт:

- A) латунь із двофазною структурою;
- B) ливарний алюмінієвий сплав;
- С) антифрикційний сплав;
- D) алюмінієвий сплав, що деформується.

54. Сплав, що належить до антифрикційних сплавів:

- A) АЛ4;
- B) Д16;
- C) Л70;
- D) Б83.

55. Установіть відповідність марки сплаву основному компоненту сплаву:

Марка сплаву:

- 1) Л70;
- 2) Д16.

Основний компонент сплаву:

- A) титан;
- B) алюміній;
- C) мідь.

1 - _____; 2 - _____.

56. Установіть відповідність назви сплаву його марці:

Назва сплаву:

- 1) латунь;
- 2) силумін.

Марка сплаву:

- A) АЛ9;
- B) Д16;
- C) ЛС74-3.

1 - _____; 2 - _____.

57. Доповніть:

Силумін - це сплав алюмінію та _____.

58. Доповніть:

Сплав міді та цинку називається _____.

59. Установіть відповідність марки сплаву основному компоненту сплаву:

Марка сплаву:

- 1) В95;
- 2) БрОЦ 4-3.

Основний компонент сплаву:

- A) магній;
- B) алюміній;
- C) мідь.

1 - _____; 2 - _____.

60. Установіть відповідність назви сплаву його марці:

Назва сплаву:

- 1) дуралюмін;
- 2) бабіт.

Марка сплаву:

- A) АЛ4;
- B) Д1;
- C) Б83.

1 - _____; 2 - _____.

61. Доповніть:

Сплав міді з оловом і свинцем називається _____.

ТЕМА 5. ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ, НЕМЕТАЛЕВІ ТА КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

План

- 5.1 Електротехнічні матеріали
- 5.2 Пластичні маси
- 5.3 Гума
- 5.4 Скло
- 5.5 Композиційні матеріали
- 5.6 Допоміжні матеріали

5.1 Електротехнічні матеріали

У машинобудуванні застосовують спеціальні електротехнічні матеріали: електроізоляційні, магнітні, провідникові, напівпровідникові та інші. Для їхнього ефективного застосування потрібна інформація про параметри електричних, магнітних та інших специфічних властивостей.

Електропровідність - властивість матеріалів проводити електричний струм, зумовлена наявністю в них рухомих заряджених частинок - електронів.

Природу електропровідності твердих матеріалів пояснює зонна теорія, згідно з якою енергетичний спектр електронів складається з зон дозволених і заборонених енергій, що чергуються. У нормальному стані електрони можуть мати тільки певні значення енергії, тобто займати дозвалені енергетичні рівні (валентну зону). Порожні або частково заповнені вищі енергетичні рівні утворюють зону провідності. Електрони, збуджуючись, тобто набуваючи додаткової енергії, наприклад під час нагрівання матеріалів, можуть переходити в зону провідності. Якщо валентна зона і зона провідності перекриваються, то за незначного збудження електрони переміщатимуться від одних атомів до інших. Матеріали такого типу - провідники - мають високу електропровідність. Електропровідність діелектриків дуже мала, оскільки перехід помітного числа електронів у зону провідності - випадкове явище, зумовлене, наприклад, дефектами структури.

Електричний опір - властивість матеріалів як провідників протидіяти електричному струму.

Усі речовини, поміщені в зовнішнє магнітне поле, намагнічуються. **Намагнічування** пов'язане з наявністю магнітних моментів у частинок речовини.

Характеристикою намагнічування матеріалів слугує *намагніченість*, що дорівнює сумарному магнітному моменту атомів в одиничному об'ємі матеріалу.

Величина, що характеризує зв'язок намагніченості з магнітним полем у матеріалі, називається магнітною сприйнятливістю.

Залежно від знака і значення *магнітної сприйнятливості* матеріали ділять на :

- ◆ діамагнетики;
- ◆ парамагнетики;
- ◆ феромагнетики.

Діамагнетизм - властивість матеріалів намагнічуватися в зовнішньому магнітному полі в напрямку, протилежному полю. Діамагнетизм притаманний усім речовинам.

Діамагнетики мають негативну магнітну сприйнятливість. У зовнішньому магнітному полі вони намагнічуються проти поля. За відсутності зовнішнього магнітного поля діамагнетики немагнітні.

Парамагнетики мають позитивну магнітну сприйнятливість. Вони слабо намагнічуються у напрямку поля, а за відсутності поля - немагнітні.

Феромагнетики характеризуються великим значенням магнітної сприйнятливості та її залежністю від напруженості поля і температури. Вони мають мимовільну намагнічуваність навіть за відсутності зовнішнього намагнічувального поля.

Антиферомагнетики - матеріали, намагніченість яких за відсутності магнітного поля дорівнює нулю.

Магнітна сприйнятливість, як правило, істотно залежить від температури: у парамагнетиків - зменшується при нагріванні, у феромагнетиків - збільшується стрибком.

Провідникові матеріали класифікують залежно від питомого електричного опору на метали і сплави високої провідності, кріопровідники і надпровідники, сплави з підвищеним електроопором.

Серед металів високої електричної провідності широко поширені мідь (питомий електроопір $\rho = 0,017$ мкОм·м), алюміній ($\rho = 0,028$ мкОм·м) і залізо ($\rho = 0,098$ мкОм·м). Мають практичне значення також срібло ($\rho = 0,006$ мкОм·м) і золото ($\rho = 0,022$ мкОм·м).

Електричні та механічні характеристики *міді* значною мірою визначаються наявністю домішок і напруженістю структури металу. Найменший електричний опір має чиста мідь. Будь-які домішки знижують її електропровідність. Деформаційне зміцнення погіршує провідникові властивості міді, але збільшує її механічну міцність.

Холоднотягнута (тверда) мідь - МТ застосовується здебільшого там, де необхідні, поряд із достатньою електричною провідністю ($\rho = 0,018$ мкОм·м), міцність, твердість, високий опір до стираючих навантажень (наприклад, контактні дроти, колекторні пластини електричних машин). Відпалена (м'яка) мідь - ММ має високу електричну провідність (ρ не більш як $0,01724$ мкОм·м) і застосовується у вигляді дротів для виготовлення струмопровідних жил кабелів, обмотувальних і монтажних дротів, у виробництві хвилеводів тощо.

Алюміній як провідниковий матеріал посідає друге місце після міді. Для електротехнічних цілей використовують спеціальні марки алюмінію А5Е (загальний вміст домішок 0,5 %) і А7Е (домішок 0,3 %), у яких вміст заліза і кремнію перебуває в певному співвідношенні, а концентрацію Ti, V, Cr і Mn

знижено до тисячних часток відсотка. Питомий електричний опір провідникового алюмінію не більше $0,0289 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$.

Залізо значно поступається міді та алюмінію за електричною провідністю, але воно має більш високі механічні характеристики. Як провідниковий матеріал залізо (низьковуглецеві сталі) застосовують у тих випадках, коли властивості міцності мають вирішальне значення, наприклад для рейок рухомого складу з електричною тягою.

Широке застосування сталевий дріт знаходить у повітряних лініях зв'язку та електропередачах невеликих потужностей, а також як осердя в біметалевих сталюалюмінієвих або сталемідних дротах для підвищення їхньої міцності на розрив. Для постійного струму застосовують дріт із заліза армко (вуглецю не більше ніж $0,03\%$).

Свинець широко застосовують для виготовлення захисних оболонок кабелів, легкоплавких вставок запобіжників, захисних екранів у рентгенівських установках і пластин у кислотних акумуляторах.

Платина і срібло мають високу пластичність і корозійну стійкість. З них можна виготовити дріт діаметром $0,002 \text{ мм}$. Платиновий дріт застосовується для виготовлення електронагрівальних елементів лабораторних печей, для виготовлення термопар. Зі срібла і платини виготовляють контакти для вмикаючих апаратів малої потужності (реле та ін.).

Вольфрам і молібден використовують для виготовлення спіралей розжарювання, підтримувальних гачків, петель, катодів в електровакуумних приладах, а також розмикальних контактів в електричних апаратах.

Ртуть зберігає свій рідкий стан до $-39 \text{ }^\circ\text{C}$. Вона стійка до окислення. Ртуть застосовують як рідкі контакти в спеціальних реле, вимикачах і ртутних випрямлячах.

До **кріопровідників** належать матеріали, що набувають за глибокого охолодження (нижче $-173 \text{ }^\circ\text{C}$) високої електричної провідності, але не переходять у надпровідниковий стан. Одним із таких матеріалів є алюміній особливої чистоти А999 ($99,999\% \text{ Al}$). За температури рідкого азоту мінус $195,6 \text{ }^\circ\text{C}$ питомий електричний опір становить близько $0,003 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$, а за температури рідкого водню мінус $252,6 \text{ }^\circ\text{C}$ - близько $0,00005 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$.

До **сплавів із підвищеним питомим електричним опором** (не менше $0,3 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$) належать міднонікелеві сплави: манганін (МНМц 3-12), константан (МНМц 40-1,5); сплави на основі нікелю: ніхроми (Х20Н80, Х15Н60); на залізній основі: фехраль (Х13Ю4), хромель (ОХ23Ю5) та ін.

Манганін - сплав на основі Cu, легований $3\% \text{ Ni}$ і $12\% \text{ Mn}$, має стабільний питомий електричний опір в інтервалі температур від -100 до $+100 \text{ }^\circ\text{C}$. Низьке значення термоЕДС у парі з міддю і висока стабільність електроопору в часі дають змогу широко використовувати манганін під час виготовлення резисторів і електровимірювальних приладів високих класів точності.

Константан (близько 40 % Ni і 1,5 % Mn, основа - Cu) за стійкістю до нагрівання перевершує манганін, що дає змогу використовувати його в реостатах і електронагрівальних приладах, які працюють за температури до 500 °С. Висока термоелектрорушійна сила константану в парі з міддю і залізом унеможливує застосування його в електровимірjuвальних приладах, проте вона дає змогу застосовувати константан при виготовленні термопар.

Сплави високого електроопору (ніхроми, фехраль, хромель тощо) застосовують для виготовлення нагрівальних елементів електричних приладів і печей. Робочі температури таких сплавів 900-1200 °С.

Діелектриками називають матеріали, основною електричною властивістю яких є здатність поляризуватися в електричному полі. У діелектриках електричні заряди міцно пов'язані з атомами, молекулами або іонами і в електричному полі лише дещо зміщуються щодо положення рівноваги. Відбувається поділ центрів позитивного і негативного зарядів, тобто поляризація. Для діелектриків характерний високий опір проходженню постійного електричного струму. Мірою поляризованості діелектрика є відносна діелектрична проникність, що дорівнює відношенню ємності конденсатора з діелектриком до ємності такого ж конденсатора з вакуумом. Найважливішою характеристикою діелектричних матеріалів є електрична міцність. У разі перевищення в об'ємі діелектрика деякої критичної величини напруженості електричного поля відбувається пробій (під напруженістю електричного поля розуміють відношення прикладеної до діелектрика напруги до відстані між електродами, що підводять напругу). Значення напруги в момент пробою називають пробивною напругою, а досягнуту до цього моменту напруженість - електричною міцністю.

У приладобудуванні в низці випадків потрібні матеріали з мінімальним або заданим за величиною температурним коефіцієнтом лінійного розширення, матеріали з малим температурним коефіцієнтом модуля пружності тощо. Сплави, що мають подібні властивості, належать системі Fe-Ni.

Мінімальне значення температурного коефіцієнта лінійного розширення ($1,5 \cdot 10^{-6}$) в інтервалі температур від -60 до +100 °С має сплав із 36 % нікелю - 36Н, який називається **інвар**. Мале значення температурного коефіцієнта лінійного розширення сплавів інварного типу має феромагнітну природу і пов'язане з великою *магнітострикцією*, тобто зміною розмірів феромагнетика при його намагнічуванні. Розміри виробів інварного сплаву визначаються двома складовими: нормальною, що залежить від енергії зв'язку між атомами, і магнітострикційним збільшенням розміру, викликаним внутрішнім магнітним полем феромагнетика. Зі збільшенням температури розмір будь-якого тіла зростає внаслідок ослаблення міжатомних зв'язків, але в сплавах інварного типу це зростання компенсується зменшенням магнітострикційної складової, оскільки збільшення теплових коливань атомів тягне за собою зниження намагніченості, а отже, і магнітострикції.

Часткова заміна в інварі нікелю на кобальт і додаткове легування міддю зменшує коефіцієнт лінійного розширення сплаву в тому ж температурному інтервалі до $1,0 \cdot 10^{-6}$ (32НКД - *суперінвар*). Сплав 29НК (*ковар*) має такий самий коефіцієнт, як термостійке скло, вольфрам і молібден. У сплаву 47НД (*платиніт*) коефіцієнт лінійного розширення такий самий, як у звичайного скла і у платини.

Сплави з малим температурним коефіцієнтом модуля пружності називають елінварними, наприклад 36НХ (*елінвар*), 42НХТЮ, 44НХТЮ.

Феромагнітні матеріали залежно від конфігурації їхньої петлі магнітного гістерезису поділяють на:

- магнітотверді;
- магнітом'які.

Магнітотверді сплави використовують для виготовлення постійних магнітів. Вони мають широку петлю гістерезису з великою коерцитивною (розмагнічувальною) силою $H_c > 4$ кА/м і володіють значною магнітною енергією, пропорційною до величин H_c і залишкової магнітної індукції B_r .

Збільшення коерцитивної сили магнітотвердих сталей досягається отриманням неоднорідної напруженої структури, представленої високовуглецевим мартенситом з високою щільністю дефектів будови.

Для постійних магнітів невеликої потужності можуть бути використані вуглецеві інструментальні сталі У10А, У11А. Частіше застосовують високовуглецеві сталі, леговані хромом і кобальтом (ЕХЗ, ЕХ5К5 та ін.). Легувальні елементи збільшують прожарюваність сталі, підвищують її коерцитивну силу і магнітну енергію. Широкого застосування набули литі сплави типу алніко, наприклад ЮНДК15, ЮНДК40Т8АА, що володіють значно більшою коерцитивною силою і магнітною енергією, ніж леговані сталі. Як матеріали постійних магнітів застосовують сплави системи Fe-Ni-Al, сплави на основі РЗМ (Sc, La, Y), одержувані методом порошкової металургії.

З **магнітом'яких** сплавів виготовляють електромагніти, магнітопроводи електричних машин, трансформаторів, електричних приладів і апаратів. Основні вимоги, що висувуються до магнітом'яких матеріалів, - низька коерцитивна сила (вузька петля гістерезису), висока магнітна проникність, висока індукція насичення, малі втрати на вихрові струми і перемагнічування. Низькі значення H_c і висока магнітна проникність досягаються у феромагнетиках за однофазної, близької до рівноваги структури з мінімумом внутрішніх напружень.

Магнітом'яким матеріалом є, наприклад, технічне залізо. Воно має досить високу початкову і максимальну магнітну проникність ($\mu_0 = 0,3$ і $\mu_{\max} = 9$ мГн/м) і низьку коерцитивну силу ($H_c = 64$ А/м). Недоліком заліза є низький питомий електроопір (ρ не більше $0,1$ мкОм·м), що зумовлює значні теплові втрати, пов'язані з вихровими струмами, які виникають під час перемагнічування. Тому застосування технічного заліза обмежене пристроями, що працюють на постійному струмі.

Найширшого поширення як магнітом'які матеріали, що працюють у полях промислової частоти (низькочастотні поля), набули *кремнійвмісні* (електротехнічні) сталі. Основне призначення кремнію - збільшення питомого електроопору сталі і, отже, скорочення втрат при перемагнічуванні. Подальше зменшення теплових втрат досягається виготовленням магнітопроводів (роторів і статорів двигунів, осердь трансформаторів тощо) з набору тонколистових деталей із прошарком ізоляції (полімерів, оксидів).

Електротехнічні сталі маркують чотиризначними числами.

- Перша цифра характеризує вид і структуру прокату: 1 - гарячекатана ізотропна сталь, 2 - холоднокатана ізотропна, 3 - холоднокатана анізотропна з ребровою текстурою.

- Друга цифра вказує на вміст кремнію: 0 - менше 0,4 %, 1 - від 0,4 до 0,8 %, 2 - від 0,8 до 1,8 %, ... 5 - від 3,8 до 4,8 %.

- Третя цифра визначає теплові втрати за певних значень індукції B_T і частоти. Наприклад, одиниця вказує, що втрати нормовані за $B_T = 1,5$ Тл і $f = 50$ Гц. Четверта цифра - код числового значення нормованого параметра. Чим цифра більша, тим втрати менші.

У радіотехніці та телефонії для досягнення великих значень індукції в слабких магнітних полях для магнітопроводів застосовують залізобетонні сплави - *пермалої*, які містять 45-83 % Ni і відрізняються високою магнітною проникністю. До пермалоїдів належать, наприклад, сплави 45Н, 50Н (низьконікелеві); 79НМ, 81НМА (високонікелеві). Пермалої застосовують при частотах до 25 кГц. Поряд з пермаліями застосовують ливарні сплави системи Fe-Al-Si (*альсифери*). Альсифери, що мають властивості, близькі до пермалоїдів, не містять дорогих легувальних елементів, але вони менш технологічні.

Для роботи у високочастотних полях як магнітопроводи застосовують магнітодіелектрики і ферити. Магнітодіелектрики є композиційними матеріалами, що складаються з конгломерату тонкодисперсних низькокоерцитивних часток, наприклад, розмеленого альсифера, скріплених прошарками органічного або неорганічного діелектрика. Високий питомий електроопір магнітодіелектрика обумовлює малі втрати на вихрові струми і визначає можливість його застосування у високочастотному дротовому зв'язку, радіоелектроніці тощо.

Ферити являють собою матеріали, що складаються з оксидів Fe, Zn, Mg, Ni, одержувані методом порошкової металургії. Ферити широко застосовують у пристроях, що працюють у слабких полях на низьких і високих радіочастотах.

Немагнітні сталі та чавуни. Сталі аустенітного класу з високим вмістом нікелю і марганцю, а також чавуни з вмістом 2,6-3,2 % C; 2,5-3,3 % Si; 5,0-7,5 % Mn і 9-12 % Ni немагнітні. Вироби з цих матеріалів застосовуються в електричних машинах як немагнітні деталі.

5.2 Пластичні маси. Загальна характеристика пластмас

Пластмасами називають штучні матеріали на основі природних або синтетичних полімерів, здатні набувати заданої форми під час нагрівання під тиском і стійко зберігати її після охолодження.

Основним компонентом пластмас, що забезпечує роботу всієї композиції як єдиного цілого, є **сполучні речовини - полімерні матеріали**, або смоли, що являють собою високомолекулярні сполуки, молекули яких (макромолекули) складаються з великої кількості (кількох тисяч) мономерних ланок.

Полімери отримують у результаті синтезу з низькомолекулярних сполук методами полімеризації або поліконденсації.

Найчисленнішу групу сполук становлять **органічні полімери**, наприклад поліолефіни, фторопласти, поліаміди, полііміди, фенолформальдегідні смоли, полісилоксани, епоксидні смоли.

Основу неорганічних полімерних матеріалів складають сполуки SiO_2 , CaO , MgO , Al_2O_3 тощо. Представниками таких полімерів є силікатне скло, кераміка, азбест, слюда.

Властивості полімерних матеріалів визначаються як їхнім хімічним складом, так і будовою макромолекул.

Присутність в основних молекулярних ланцюгах атомів інших, крім вуглецю, елементів надає полімеру ті чи інші специфічні властивості. Наприклад, фосфор і хлор підвищують вогнестійкість, атоми сірки збільшують газонепроникність, кисень сприяє підвищенню еластичності, фтор забезпечує високу хімічну стійкість пластмас.

За будовою розрізняють такі основні типи макромолекул:

- лінійні;
- розгалужені;
- стрічкові;
- просторові.

Полімерні матеріали зі стрічковою або розгалуженою структурою макромолекул високоеластичні. Лінійні полімери являють собою ланцюги, довжина яких у сотні й тисячі разів перевищує розміри поперечного перерізу. Розгалужені полімери мають бічні відгалуження. І лінійні, і розгалужені полімери мають **термопластичність**, тобто здатність оборотно розм'якшуватися під час нагрівання і тверднути під час охолодження без участі хімічних реакцій. Такі матеріали називають **термопластами**. Процес **розм'якшення - затвердіння** може протікати багаторазово.

Полімери з просторовими макромолекулами мають підвищену теплову та хімічну стійкість. Просторові полімери мають хімічні зв'язки між лінійними ланцюгами макромолекул. Утворення подібної структури і пов'язане з ним необоротне затвердіння матеріалу протікає за участю хімічних реакцій. Такі полімери, а також пластмаси на їхній основі називають **терморективними (реактопласти)**. Перевести терморективну смолу, що затверділа одного разу, у в'язкотекучий або високоеластичний стан

не можна. Просторову (рідкоічасту) структуру мають також гуми - продукт вулканізації природного або синтетичного полімеру - каучуку.

Залежно від хімічного складу, будови макромолекул, надмолекулярної структури (ступеня кристалічності) полімери за електричними і фізичними властивостями можуть бути *полярними* і *неполярними*. У полярної молекули просторові положення центрів тяжіння позитивного і негативного зарядів не збігаються. У неполярної молекули електронна хмара, що скріплює її, розподіляється рівномірно, і центри тяжіння різнойменних зарядів знаходяться в одній точці. Полярні полімери мають підвищену жорсткість і теплостійкість, високу адгезійну здатність, знижену морозостійкість. Неполярні - є високоякісними і високочастотними діелектриками. Їхні властивості мало змінюються при зниженні температури. Вони відрізняються високою морозостійкістю.

Поряд зі сполучною речовиною більшість пластмас містять *наповнювачі* та *добавки*, що поліпшують їхні технологічні та експлуатаційні властивості.

Наповнювачі надають пластмасовим виробам високої міцності, хімічної стійкості, теплостійкості, покращують діелектричні якості, знижують (підвищують) густину, підвищують фрикційні (антифрикційні) властивості тощо. Наповнювачі можуть бути як органічними, так і неорганічними речовинами.

За структурою наповнювачі бувають порошкоподібними, волокнистими, листовими і газоподібними. Пластмаси з орієнтованим волокнистим наповнювачем і з листовим наповнювачем (шаруваті пластмаси) мають яскраво виражену анізотропію механічних властивостей.

За видом наповнювачів розрізняють пластмаси ненаповнені, або прості, і наповнені. До останніх належать матеріали з наповнювачами: порошкоподібними (прес-порошки і ливарні пластмаси); волокнистими (волокніти, азбоволокніти, скловолокніти); листовими (гетинакси, текстоліти, азботекстоліти, деревощаруваті пластики (ДСП, склотекстоліти); газоподібними (піно - і поропласти).

За призначенням пластмаси підрозділяють на низку груп: конструкційні, електроізоляційні, хімічно стійкі, фрикційні, тепло- і звукоізоляційні, світлотехнічні тощо.

Конструкційні пластмаси характеризуються високими механічними властивостями. До них відносяться, наприклад, ударостійкий полістирол, фенопласти, склопластик (скловолокно, склотекстоліти), що використовуються в навантажених вузлах і деталях конструкцій. Склопластики на основі епоксидних смол мають високі властивості міцності, на основі кремнійорганічних смол (полісилоксанів) - високу теплостійкість.

Електроізоляційні пластмаси є хорошими діелектриками. Їх (поліетилени високого (ПЕВТ) і низького (ПЕНТ) тиску, полістирол, фторопласти (фторопласт-3 і фторопласт-4), гетинакс, текстоліт)

використовують під час виготовлення електроізоляційних і діелектричних деталей, плівок, шлангів, ізоляційних покриттів на металах тощо.

Хімічно стійкі пластмаси, наприклад фторопласт-4, поліетилен, полівінілхлорид (вініпласт), азбоволокніти, здатні чинити опір дії вологи і різних хімічних сполук. З них виготовляють хімічну апаратуру, ємності, труби, хімічно стійкі покриття на металах тощо.

Фрикційні пластмаси мають в умовах сухого тертя високий коефіцієнт тертя і високу зносостійкість. До них належать, наприклад, азбоволокніти, азботекстоліти, азбокаучукові матеріали. Такі пластмаси працюють у вузлах, що передають кінетичну енергію (наприклад, фрикційні диски муфт зчеплення) або розсіюють її (наприклад, накладки, колодки гальмівних пристроїв).

Антифрикційні пластмаси мають малий коефіцієнт тертя і високу зносостійкість. До цієї групи входять пластмаси, що працюють у вузлах тертя. Високі антифрикційні властивості мають, наприклад, фторопласт-4, поліаміди (капрон), лавсан, текстоліти, деревно-шаруваті пластики. Із пластмас виготовляють вкладиші підшипників ковзання, зубчасті колеса та інші деталі, що утворюють пари тертя. Зубчасті колеса з текстоліту працюють безшумно за частот обертання до 30000 об/хв, шестерні з ДСП можуть передавати значні навантаження, які можна порівняти з деталями з кольорових металів.

Тепло- і звукоізоляційні пластмаси, наприклад пінополістирол, пінополіуретан, пінополіепоксид, пінополісілоксан, мають низький коефіцієнт теплопровідності, високу звукопоглинальну здатність. Їх використовують для теплоізоляції холодильників, труб; тепло- і звукоізоляції кабін тощо. Пластмаси застосовують також як легкий заповнювач силових елементів конструкцій; для виготовлення важкозатоплюваних виробів.

Світлотехнічні та оптичні пластмаси застосовують для виготовлення оптичних деталей і арматури освітлювачів. Вони стійкі до впливу світла і мають високі оптичні властивості. Наприклад, поліметилметакрилат (органічне скло) застосовують для скління автомобілів, суден, літаків, для виготовлення розсіювачів та інших світлотехнічних виробів; з полістиролу виготовляють прозорі ковпаки приладів, годинникове скло тощо.

Декоративні пластмаси, наприклад гетинакс, застосовують для оздоблення (облицювання) меблів, салонів автобусів, літаків, кабін суден, пасажирських залізничних вагонів, вагонів метро тощо.

Перевагою всіх пластичних мас є порівняльна легкість і невелика трудомісткість їхньої переробки у вироби. Існує кілька способів отримання виробів із пластмас: екструзією, литтям, пресуванням, вальцюванням тощо.

Термопластичні пластмаси

Широко застосовуються термопластичні пластмаси на основі поліетилену, поліпропілену, фторопластів, полістиролу, полівінілхлориду, поліамідів та інших полімерів.

Поліетилен має лінійну будову макромолекул $[-CH_2-CH_2]_n$ і є продуктом полімеризації етилену. За структурою належить до кристалічних полімерів. Властивості поліетилену залежать від умов полімеризації. У процесі полімеризації за температури 200-300 °С і тиску (1-3,5) 104 МПа отримують поліетилен високого тиску, що має низьку густину - 0,918-0,930 г/см³. Його називають *поліетиленом високого тиску*, або *поліетиленом низької щільності*. При полімеризації поліетилену за температури близько 80 °С і тиску нижче 200 МПа отримують *поліетилен низького тиску*, або *високої щільності* - 0,946-0,970 г/см³. Чим більша густина і ступінь кристалічності поліетилену, тим вища його міцність, модуль пружності та теплостійкість. Поліетилен високої щільності має ступінь кристалічності 75-95 %, а низької щільності - 50-60 %. Температура плавлення змінюється від 105 до 130 °С. Вироби з поліетилену високого тиску можуть використовуватися до температури 60 °С, а з поліетилену низького тиску - до 100 °С. Поліетилен має морозостійкість до температури -60 °С.

Поліетилен має високі діелектричні властивості. Він хімічно стійкий до дії водних розчинів кислот і лугів. Стійкий під впливом концентрованих сірчаної, соляної та плавикової кислот. Концентрована азотна та інші сильні кислоти руйнують його. Поліетилен нетоксичний, легко зварюється і паяється, технологічний. Вироби з нього отримують литтям під тиском, екструзією з подальшим видуванням, штампуванням, відцентровим литтям. Поліетилен недорогий, поєднує високу міцність із пластичністю. Його недолік - схильність до старіння під дією ультрафіолетових променів.

Поліетилен застосовують для ізоляції, електропроводів і кабелів, для просочення тканин, паперу, деревини. Будучи екологічно нешкідливим, він застосовується в медицині, житловому будівництві, у продовольчому машинобудуванні та для виробництва товарів народного споживання, а також для захисту металів від корозії та як заміник скла. Поліетиленові труби можуть працювати за температури до -60 °С, вони не схильні до ґрунтової корозії. З поліетилену виготовляють кришки підшипників, безшумні в роботі шестерні, клапани, прокладки ущільнювачів, деталі вентиляторів і насосів, гайки, шайби, порожнисті вироби місткістю до 200 л, тару для зберігання і транспортування кислот і лугів, труби, куточки, швелери, вентиля, крани, протези тощо.

Поліпропілен є продуктом полімеризації пропілену. Має таку хімічну формулу: $[-CH(CH_3)-CH_2-]_n$. Технологічний процес виробництва подібний до отримання поліетилену низького тиску.

Порівняно з поліетиленом має вищу міцність, жорсткість і ударну в'язкість. Руйнівне напруження поліпропілену при розтягуванні становить

25-40 МПа, максимальна температура експлуатації без навантаження 150 °С. Його недоліком є невисока морозостійкість - до -20 °С.

Поліпропілен переробляється штампуванням, литтям під тиском, пневматичним і вакуумним пресуванням. Його можна зварювати, напилювати на метал, тканину, картон. Він легко піддається механічній обробці на токарних, фрезерних, свердлильних верстатах. Відходи під час виробництва поліпропілену і відпрацьовані вироби з нього використовують для повторної переробки. Поліпропілен застосовується для антикорозійного покриття резервуарів, труб і арматури трубопроводів, електроізоляційних деталей, а також для виготовлення деталей, які використовуються під час роботи в агресивних середовищах.

З поліпропілену виготовляють корпуси акумуляторів, прокладки, труби, фланці, водонапірну арматуру, плівки, плівкові покриття паперу та картону, корпуси повітряних фільтрів, конденсатори, вставки демпферних глушників, зубчасті й черв'ячні колеса, ролики, підшипники ковзання, фільтри масляних і повітряних систем, ущільнення, деталі приладів і автоматів точної механіки, кулачкові механізми, деталі холодильників.

Фторопласти є модифікованими полімерами етиленового ряду. Вони мають міцність при розтягуванні 15-35 МПа, при згині - 10-15 МПа, відносно подовження при розриві 250-350 %. Найширшого поширення набули фторопласт-3 і фторопласт-4.

Фторопласт-3, або поліфторхлоретилен, характеризується високими електроізоляційними властивостями, гарною хімічною стійкістю і теплостійкістю, крихко руйнується за температур нижче -120 °С. Його застосовують як оптичний матеріал, для виготовлення електроізоляційних деталей, що працюють за високих температур, корозійностійких труб, мембран та інших виробів.

Фторопласт-4, або політетрафторетилен, більше відомий під назвою **тефлон**. Характеризується високою щільністю 2,1- 2,3 г/см³, низьким коефіцієнтом тертя, хорошими електроізоляційними і діелектричними властивостями, високою корозійною стійкістю, термо- і морозостійкістю. Робочий інтервал температур знаходиться в інтервалі від -269 до 250 °С. Плівка з нього не стає крихкою навіть у середовищі рідкого гелію. За хімічною стійкістю фторопласт-4 перевершує всі відомі матеріали, включно із золотом і платиною. Він стійкий до впливу всіх мінеральних і органічних лугів, кислот, органічних розчинників, не набухає у воді, не змочується рідинами і в'язкотекучими середовищами харчових виробництв (тістом, патокою, варенням тощо). При температурі до 260 °С невибухонебезпечний, негорючий, при безпосередньому контакті не впливає на організм людини. Руйнується тільки під дією розпавлених лужних металів і елементарного фтору. Маючи низький коефіцієнт тертя, використовується для виготовлення підшипників ковзання без змащення. Для зменшення зносу підшипників у фторопласт вводять 15-30 % наповнювача (графіту, дисульфїту молібдену, скляного волокна тощо). Недоліками фторопласту-4 є низька твердість,

схильність до повзучості та відшарування його частинок за контактних напружень.

Фторопласти широко застосовуються для виготовлення стійких покриттів, плівок, волокон, підшипників, кранів, мембран, насосів, корозійно стійких конструкцій, тепло- і морозостійких деталей (втулки, пластини, диски, прокладки, сальники, клапани), для облицювання внутрішньої поверхні різних низькотемпературних ємностей.

Полістирол належить до числа найбільш відомих і широко застосовуваних пластмас. Його макромолекула має таку формулу: $[-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{C}_6\text{H}_5)-]$.

Це твердий, жорсткий, безбарвний, прозорий, аморфний полімер, що легко забарвлюється в різні кольори. Має високу водостійкість, хорошу хімічну стійкість у розчинах солей, кислот і лугів. Порівняно з іншими термопластами має вищу стійкість до радіації. Недоліками полістиролу є підвищена крихкість при ударних навантаженнях, схильність до старіння, невисока тепло- і морозостійкість. Інтервал робочих температур від -40 до 65 °C.

Полістирол застосовують для виготовлення деталей радіо- та електроапаратури, предметів домашнього вжитку, дитячих іграшок, трубок для ізоляції дротів, плівок для ізоляції електричних кабелів і конденсаторів, відкритих ємностей (лотки, тарілки та ін.), прокладок, втулок. З ударостійкого полістиролу, який являє собою механічну суміш полістиролу з каучуком, виготовляють великогабаритні деталі холодильників.

Пластмаси на основі полівінілхлориду, що має формулу $[-\text{CH}_2-\text{CHCl}-]_n$, мають хороші електроізоляційні властивості. Вони стійкі до впливу хімікатів, не підтримують горіння, атмосферо-, водо-, оливо- і бензостійкі.

Вініласти - непластифіковані полівінілхлориди. Вініласти мають високу механічну міцність і пружність, але порівняно малу пластичність. Стійкі до впливу майже всіх мінеральних кислот, лугів і розчинів солей. Їх недоліками є схильність до повзучості, низька ударна в'язкість, мала теплостійкість, різка залежність від температури.

Вініпласт випускається у вигляді листів, прутків, труб. Добре обробляється на метало- і деревообробних верстатах. Він формується, гнеться, видавлюється і видувається, піддається зварюванню і склеюванню. Плівковий вініпласт при нагріванні склеюється з металом і бетоном. Його застосовують для пакування ліків і харчових продуктів, для виготовлення обкладинок книжок і папок, деталей машин і апаратів, що безпосередньо контактують із харчовими середовищами. З вініпласту виготовляють: труби для транспортування води, холодного молока, агресивних рідин і газів, тару для молока і молочних продуктів, корозійностійкі ємності, деталі вентиляційних повітропроводів, теплообмінників, шланги вакуумпроводов, вібропоглинальні матеріали в машинобудуванні, водо-, бензо- і антифрикційні трубки, прокладки, з'єднувальні муфти, клапани і т.д.

Пластикат - це полівінілхлорид, пластифікований різними речовинами. Введення пластифікаторів не тільки покращує пластичність, а й

підвищує морозостійкість. У промисловості випускають плівковий пластикат у вигляді гранул, стрічок або трубок. Пластикат отримують екструзією і вальцюванням. Він має гарну стійкість до старіння. Плівковий пластикат еластичний, вологонепроникний, негорючий, має хороші діелектричні властивості, стійкий до дії бензину і різних масел. При температурах нижче -50 °С стає крихким. Широко використовується для ізоляції кабелів, виготовлення труб та інших виробів.

Поліаміди включають у себе групу відомих термопластичних пластмас - нейлон, капрон тощо. Макромолекула поліаміду складається з амідної -NH-CO- і метиленової -CH₂- груп. Має загальний вигляд [-NH-CO-(CH₂)-]_n, де число метиленових груп повторюється від 2 до 100 разів. Орієнтовані поліаміди характеризуються високою міцністю на розтягнення, що становить понад 400 МПа, ударостійкістю, здатністю до поглинання вібраційних навантажень. Підшипники і деталі, що труться, з поліамідів здатні працювати з самозмащуванням, тому їх можна використовувати в харчовій промисловості в тих випадках, коли застосування мастил шкідливе і небажане. Поліаміди використовують для виготовлення конструкційних і електроізоляційних виробів, що працюють за температур від -60 до 100 °С. Це зубчасті передачі, ущільнювальні пристрої, втулки, муфти, підшипники ковзання, лопаті гвинтів, стійкі до дії лугів, мастил, жирів і вуглеводнів, технічні вироби і товари культурно-побутового призначення, антифрикційні покриття металів.

Поліуретани є цінними термопластичними полімерами. Вони містять уретанову групу [-NH-COO-]_n. Характеризуються високим модулем пружності, зносостійкістю, низьким коефіцієнтом тертя, стійкістю до вібрацій, олійною, бензо- і атмосферостійкістю. Вироби з поліуретану можна використовувати при зниженні температури до -70 °С. Волокна з поліуретану малогігроскопічні і мають високу хімічну стійкість. Їх використовують для виготовлення ізоляції, фільтрувальних і парашутних тканин.

Скло органічне (плексиглас) зазвичай складається з поліметакрилату, що має структурну формулу [-CH₂-C(CH₃)(COOCH₃)-]_n. Воно має хороші діелектричні властивості і стійкість до старіння в природних умовах. Органічне скло оптично прозоре. Його світлопрозорість становить близько 92 %. Воно пропускає до 92 % ультрафіолетових променів і більшу частину інфрачервоних променів. Має низьку щільність, стійке до впливу розбавлених кислот і лугів, вуглеводневого палива і мастил. Під дією зовнішніх сил в органічному склі утворюються тріщини. Для підвищення його стійкості проти розтріскування полімер піддають розтягуванню в нагрітому до 140-150 °С стані в двох взаємно перпендикулярних напрямках, внаслідок чого ударна в'язкість збільшується в 7-10 разів. Його недолік - низька поверхнева твердість.

Полікарбонат - полімер, що випускається під назвою **дифлон**. Характеризується низьким водопоглинанням і газопроникністю, хорошими діелектричними властивостями, високою жорсткістю, теплостійкістю і

хімічною стійкістю, не має запаху і смаку, фізіологічно нешкідливий, безбарвний, прозорий, добре забарвлюється. Стійкий до світлового старіння і дії окислювачів навіть при нагріванні до 120 °С. Є одним з найбільш ударостійких термопластів, що дає змогу використовувати його як конструкційний матеріал, який замінює метали. З полікарбонату виготовляють шестерні, підшипники, корпуси, кришки, клапани та інші деталі, посудини і деталі трубопроводів для транспортування фруктових соків, молока, вин; може використовуватися в техніці низьких температур для роботи в середовищі рідких газів.

Фізико-механічні властивості полікарбонатів поліпшуються при введенні в них армувальних волокон. Армовані полікарбонати «Естеран» застосовують у виробництві відповідальних деталей машин, наприклад підшипників кочення, кулачків тощо. Вони зберігають свої властивості та експлуатаційну надійність в інтервалі температур від -200 до 110 °С, а також у вакуумі.

Термореактивні пластмаси

Термореактивні пластмаси відрізняються від термопластів підвищеною теплостійкістю, практично повною відсутністю повзучості під навантаженням за звичайних температур, постійністю фізико-механічних властивостей в інтервалі температур їх експлуатації. Основу будь-якого реактопласта становить термореактивна смола, що хімічно твердне і є сполучною речовиною. Крім того, до складу реактопластів входять наповнювачі, пластифікатори, затверджувачі, прискорювачі або сповільнювачі та розчинники. Наповнювачами можуть бути порошкові, волокнисті та гнучкі листові матеріали.

Як порошкові наповнювачі використовують мелений кварц, тальк, графіт, деревне борошно, целюлозу. До пластмас з *порошковим наповнювачем* відносяться *фенопласти* і *амінопласти*.

Фенопласти (бакеліти, фенолоформальдегідні смоли) є термозміцнюваними пластмасами.

Незміцнені смоли - новолаки і резоли - отримують під час поліконденсації фенолу з формальдегідом.

Новолакові смоли отримують у присутності кислого каталізатора, коли відношення фенолу до формальдегіду менше одиниці. Ці смоли здатні тверднути при нагріванні тільки в присутності затверджувача. Технологія виробництва таких смол простіша, ніж резольних смол. Цим пояснюється їхнє найбільше поширення.

Резольні смоли отримують у присутності лужного каталізатора при відношенні фенолу до формальдегіду, що дорівнює одиниці або більшому за неї. Ці смоли при нагріванні затверджуються без введення в них затверджувача.

Зміцнені фенолоформальдегідні смоли частіше називаються **бакелітами**. Ця пластмаса механічно добре обробляється інструментами для обробки металу і може піддаватися поліруванню. Бакеліт з новолаку має більшу термостійкість (100-150 °С), ніж бакеліт з резола, але гірші діелектричні властивості.

Бакеліт важкозаймистий, а після вилучення з полум'я відразу гасне. Бакеліт, що горить, дає жовтий колір полум'я, що коптисть залежно від виду наповнювача. Залишок, витягнутий з полум'я, твердий, набряклий, потрісканий і обвуглений. У процесі горіння виділяються фенол і формальдегід з характерним запахом.

Бакеліт стійкий до впливу розбавлених кислот і лугів, а також більшості органічних розчинників. Для склеювання тріснутих бакелітових виробів можна застосовувати нітроцелюлозні клеї або рідкі фенольні смоли.

З бакеліту виготовляють галантерейні вироби (гудзики, попільнички), електротехнічні елементи (вилки, розетки), корпуси радіо- і телефонних апаратів, деталі пральних машин, захисні шоломи, корпуси акумуляторів, плити, лаки, клеї.

Амінопласти є термозміцнюваними пластмасами. Під час нагрівання або в присутності кислотних каталізаторів вони здатні до зміцнення за рахунок утворення просторової сітчастої структури.

Зміцнені амінопласти тверді та жорсткі. Їх можна полірувати і механічно обробляти металорізальними інструментами. Вони мають хороші електроізоляційні властивості, легко фарбуються.

Теплостійкість зміцнених амінопластів близько 100-120 °С. Зразок, внесений у вогонь, починає горіти не раніше ніж через хвилину. Витягнутий з полум'я, він не гасне, але горить повільно. Насправді горять наповнювачі, сама смола негорюча.

Зміцнені амінопласти стійкі до впливу води, кислот (зокрема сірчаної та азотної), лугів і органічних розчинників.

Реактопласти з *волокнистими наповнювачами* являють собою композиції, що складаються зі сполучної речовини (смоли) і волокнистого наповнювача у вигляді вічка бавовни (*волокніти*), азбесту (*азбоволокніти*), скловолокна (*скловолокніти*).

Міцність **волокнітів** при стиску дорівнює щонайменше 1200 МПа, ударна в'язкість 9 Дж/см², причому механічні властивості залежать від довжини волокна.

Волокніти застосовують для виготовлення деталей з підвищеною стійкістю до ударних навантажень, що працюють на згин і кручення (втулок, шківів, маховиків тощо). Хороші антифрикційні властивості дають змогу використовувати волокніти для виготовлення фланців, кулачків, шестерень, напрямних втулок.

Азбоволокніти володіють хорошими фрикційними (гальмівними) властивостями і теплостійкістю, але за водостійкістю і діелектричною проникністю поступаються пластмасам з порошковими наповнювачами.

Скловолокнити негорючі, стійкі до дії ультрафіолетових променів, хімічно стійкі, мають стабільні розміри, високі фізико-механічні характеристики і застосовуються для виготовлення деталей високого класу точності і складної конфігурації. Можуть працювати за температур 60-200 °С, мають міцність під час розриву до 500 МПа, а під час стиснення - близько 1300 МПа.

Скловолокнити деяких марок застосовуються для виготовлення силових електротехнічних деталей у машинобудуванні, а також великогабаритних виробів простих форм (кузовів автомашин, човнів, корпусів приладів тощо).

Як сполучні смоли волокнитів і скловолокнитів застосовуються *поліестрові* та *епоксидні* смоли.

Поліестри є полімерами, отриманими з ряду кислот і високогідроксильних спиртів шляхом поліконденсації. Перед затвердінням смола має вигляд густого сиропу золотистого кольору. Затвердіння проводять у формі за кімнатної температури після додавання невеликих кількостей модифікаторів. Механічні властивості затверділого продукту залежать від будови вихідної смоли і способу її затвердіння. Виріб може бути гнучким, еластичним або твердим і крихким. Тверді вироби можна піддавати механічній обробці, а також полірувати.

Термічна стійкість під напругою затверділих смол коливається в межах 55-60 °С, а без навантаження перевищує 150 °С. Зразок з поліестрової смоли зі склотканиною, поміщений у полум'я, горить дуже погано. Після вилучення з полум'я найчастіше гасне. Після згоряння залишається обвуглений скелет скловолокна.

Затверділі поліестри нерозчинні в органічних кислотах, в ацетоні легко розтріскуються.

З поліестрів, зміцнених скловолокном, виготовляють рятувальні човни, частини автомобілів, меблі, корпуси планерів і гелікоптерів, гофровані плити для дахів, плафони для ламп, щогли для антен, лижі та палиці, вудки, захисні каски тощо.

Незатверділі **епоксидні смоли** отримують реакцією поліконденсації епоксиду з гідроксидом фенолу. Характерна риса епоксидних смол - хороша прилипальність майже до всіх пластмас, металів. Вони мають високі механічні та електричні властивості.

Термостійкість під напругою коливається залежно від виду зміцнювача в межах 55-120 °С, а без навантаження перевищує 150 °С. Зміцнена епоксидна смола важко загоряється, після чого починає коптити з сильним запахом під час горіння.

Епоксидні смоли служать для виготовлення лаків, клеїв, а також ламінатів.

Велику групу реактопластів складають **шаруваті пластмаси**, які містять листові наповнювачі, укладені шарами. Як наповнювачі для шаруватих пластиків використовують матеріали органічного (папір, бавовняні тканини, деревний шпон, тканини із синтетичних волокон) і

неорганічного (азбестовий папір, картон, тканину, скляну тканину, тканину з кварцових або кремнеземних волокон) походження. Залежно від виду наповнювача розрізняють такі шаруваті пластики: гетинакс, текстоліт, склотекстоліт, деревно-шаруваті пластики. Сполучними при виробництві шаруватих пластиків слугують фенолоформальдегідні, епоксидні, кремнійорганічні та деякі інші смоли.

Властивості шаруватих пластиків залежать від співвідношення компонентів (наповнювача і зв'язувального), характеру підготовки наповнювача, режимів пресування та термообробки та інших технологічних факторів. Завдяки шаруватому розташуванню армуючого наповнювача шаруваті пластики мають анізотропію механічних, фізичних і діелектричних властивостей.

Механічні властивості шаруватих пластиків визначаються насамперед видом використовуваного наповнювача. Механічна міцність та інші фізико-хімічні властивості шаруватих пластиків залежать від способу орієнтації і товщини аркушів-наповнювачів, від їхньої питомої міцності в різних напрямках, від типу і методу просочення.

Найбільшу механічну міцність мають шаруваті пластики на основі скляної тканини або скляних джгутів. Ці матеріали, а також шаруваті пластики на основі азбоволокнистих наповнювачів мають вищу теплостійкість порівняно з теплостійкістю пластиків на основі органічних наповнювачів.

Фізичні та діелектричні властивості шаруватих пластиків залежать здебільшого від типу використовуваного полімерного сполучного.

Пластик на основі паперу - *гетинакс*. Гетинакс стійкий до впливу жирів і мінеральних олій, слабо реагує з оцтовою, соляною, фосфорною кислотами, але проти дії сильних кислот і гарячих лугів нестійкий. Він має густину 1,3-1,4 г/см³; руйнівне напруження під час розтягування - 80 МПа, під час стиску - 130-250 МПа; ударну в'язкість (перпендикулярно шарам) 8-15 Дж/см².

Гетинакс використовують як електроізоляційний матеріал, що тривало працює за температур від -65 до 105 °С, а також як конструкційний і декоративний матеріал. З нього виготовляють панелі, щитки, прокладки, кришки, шайби, малонавантажени вироби тощо.

Деревно-шаруваті пластики (ДШП). Цей матеріал зазвичай виготовляють у формі плит або тонких листів. Їх отримують гарячим пресуванням лушеного деревного шпону, просоченого полімерним сполучним. При виробництві ДШП найчастіше використовують березовий або буковий шпон, як сполучна речовина - водно-спиртові розчини полімерів. Деревно-шаруваті пластики випускають різних марок і маркують ДШП-А, ДШП-Б, ДШП-В тощо. Вони розрізняються напрямком волокон шпону в різних шарах. У ДШП-А - у всіх шарах волокна шпону розташовані паралельно (іноді чотири шари з паралельним розташуванням волокон чергуються з одним шаром, поверненим на 20-25°). У ДШП-Б розташування

шарів змішане. Через кожні 5-20 шарів з паралельним розташуванням волокон укладають шар, повернутий на 90° . У ДШП-В здійснюється зіркоподібне укладання шарів, за якого сусідні шари волокон зміщують на 30° . Максимальну міцність у поздовжньому напрямку ($\sigma_v = 280$ МПа) має ДШП-А. ДШП-Б має міцність, однакову у взаємно перпендикулярних напрямках (140 МПа), а для ДШП-Г - механічні властивості однакові в усіх напрямках. ДШП мають хороші антифрикційні властивості.

У деяких випадках вони замінюють високоолов'янисту бронзу, бабіт, текстоліт. Хімічна стійкість ДШП не дуже висока, але вища, ніж у звичайної деревини. Теплостійкість ДШП досягає 140°C . Їхнім недоліком є набухання, зумовлене поглинанням води.

Плаستي на основі бавовняних тканин - *текстоліти*. Міцність текстолітів тим вища, чим тонша тканина (за одного і того ж вмісту сполучного). Для листів шифону міцність буде більшою, ніж для саржі або бязі. Водостійкість і хімічна стійкість зростають при підвищенні частки сполучного полімеру.

Текстоліти використовують для виготовлення різних конструкційних деталей, електроізоляційного матеріалу, вкладишів підшипників, прокладок, що герметизують фланцеві з'єднання, шестерень, прокладних кілець. Підшипники з текстоліту не вимагають спеціального змащення. Для змащення можна використовувати воду або водну емульсію. Для зниження коефіцієнта стирання підшипників і підвищення теплопровідності в текстоліт додають графіт. Температура експлуатації виробів із текстоліту від -60 до 60°C .

Текстолітові деталі можуть працювати не тільки в повітряному середовищі, а й у маслі, гасі або бензині тощо. Текстоліт виробляють у вигляді листів, плит, стрижнів і трубок.

Склотекстолітами називають шаруваті пластики на основі тканих скловолоконних матеріалів. Вони характеризуються високою тепло- і холодостійкістю, стійкістю до дії окислювачів та інших хімічно активних реагентів, високими механічними властивостями.

Властивості склотекстолітів значною мірою залежать від типу в'язки скляної тканини (застосовують три типи переплетення: гарнітурове, сатинове і саржеве). Більш високі властивості мають склотекстоліти на основі сатинової склотканини. Такі склотекстоліти можуть тривалий час працювати за температури 200°C і короткочасно за 300°C . Щільність склотекстолітів $1,6-1,7$ г/см³, руйнівна напруга під час розтягування не менше 130 МПа. Склотекстоліти добре обробляються на верстатах, а також склеюються.

Склотекстоліти застосовують для виготовлення великогабаритних виробів, електроізоляційних деталей, які тривалий час працюють за температури 200°C і короткочасно - за 250°C . Склопластик є конструкційними матеріалами, застосовуваними для виготовлення ситових виробів у різних галузях техніки.

Серед різних синтетичних матеріалів широкого поширення набули так звані *газонаповнені пластики*. Ці матеріали поділяються на *пінопласти* і *поропласти*. У пінопластів мікроскопічні осередки, наповнені газом, не сполучаються між собою, і щільність таких матеріалів, як правило, менше 300 кг/м^3 . Осередки у поропластів сполучаються між собою, і їхня щільність понад 300 кг/м^3 . Піно- і поропласти випускають на основі полістиролів, полівінілхлориду і різних ефірних полімерів.

Пінопласт застосовують як теплоізоляційний шар у конструкціях суднових трюмів, кузовів автофургонів, холодильних камер на об'єктах м'ясо-молочної та рибної промисловості.

Пінополістирол отримують з емульсійного полімеру пресовим і безпресовим методами. Пінополістирол застосовують для теплоізоляції холодильників і торгового обладнання. Для виробництва виробів, що контактують із харчовими продуктами, зазвичай використовують суспензійний полістирол. При отриманні пінополістиролу пресовим методом (пінополістирол марок ПС-1 і ПС-4) використовують емульсійний тонкодисперсний полістирол, змішують його з пороутворювальним компонентом, пресують, а потім вспінюють у спеціальних камерах, що обігриваються. Якщо ж пінополістирол отримують безпресовим методом із блочно-суспензійного стирулу, він називається **стиропор**. Його полімеризацію проводять за температури $70 \text{ }^\circ\text{C}$ із безперервним перемішуванням. Пінополістирол має структуру застиглої піни. Він стійкий до дії вологи, агресивних мінеральних середовищ (крім концентрованої азотної кислоти). Пінополістирол, отриманий безпресовим методом, має вищу хімічну стійкість. Стійкий він також і в біологічному відношенні - не гниє, не піддається впливу грибків і бактерій, не пошкоджується гризунами.

Міцність пінополістиролу залежить від розміру, форми і міцності стінок пор. Механічні властивості безпресового пінополістиролу нижчі, ніж пресового.

Пінополістироли можуть працювати за температур до $60\text{-}75 \text{ }^\circ\text{C}$. Недоліком пінополістиролу є присутність у ньому горючого пороутворювача, наприклад ізопентану. Зменшити або зовсім усунути цю небезпеку вдається шляхом введення антипіренів, наприклад оксиду сурми. Пінополістирол застосовується в різних галузях промисловості як термо- і звукоізоляційний матеріал. Коефіцієнт теплопровідності пінополістиролу близький до теплопровідності повітря і дорівнює $0,0326 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. Через хороші амортизаційні властивості і малу щільність пінополістирол використовують як пакувальний матеріал.

Останнім часом у промисловості починають дедалі ширше використовувати **армовані газонаповнені пластмаси**, що дає змогу поєднувати малу щільність із високою міцністю, тобто підвищувати питому міцність. Газонаповнені пластмаси армують листами металу або листами більш міцних, газоненаповнених пластмас. Складові вироби з

терморективних пластмас виготовляють склеюванням і механічним з'єднанням.

Корозійно стійкі армовані пластмаси працюють за температур від -269 до 150 °С, від глибокого вакууму до тиску 20 МПа, в широкому діапазоні рідких і газових агресивних середовищ. У якості корозійно стійких сполучних використовують ненасичені поліефірні, епоксидні, фенольні та фуранові смоли. Для забезпечення працездатності в агресивних середовищах найчастіше використовують багатошарову структуру. Вона може мати кілька різновидів:

1) зовнішній і внутрішній шари у вигляді збагачених смолою композицій або термопласту, що забезпечують корозійну стійкість і герметичність виробів;

2) конструкційні шари, що на 50-70 % складаються з армувального матеріалу і забезпечують необхідну міцність виробів.

Широко використовуються *біпластмаси* - склопластик, плакований термопластом. Вони мають високу корозійну стійкість, яка визначається властивостями термопласта.

5.3 Гума

Гумотехнічні вироби отримують під час спеціальної термічної обробки (вулканізації) пресованих деталей із сирової гуми, що є сумішшю каучуку з сіркою та іншими добавками.

Гума складається з суміші каучуку (основа), наповнювача (сажа, оксид кремнію, оксид титану, крейда, барит, тальк), м'якоті (каніфоль, вазелін), протизапального речовини (парафін, віск) і елементів вулканізації (сірка, оксид цинку).

Фізико-механічні властивості гуми зумовлені складом гумової суміші. Вони залежать від типу каучуку і добавок, що вводяться в гуму. Каучуки бувають натуральні (НК) і синтетичні (СК). Натуральний каучук отримують коагуляцією латексу (молочного соку) каучуконосних дерев, що ростуть у Бразилії, Південно-Східній Азії, на Малайському архіпелазі, а синтетичні каучуки (бутадієнові, бутадієн-стирольні та ін.) - методами полімеризації. Уперше синтез бутадієнового каучуку з етилового спирту здійснив у 1921 р. російський учений С.В. Лебедев. Пізніше були розроблені методи одержання синтетичних каучуків із дешевшої сировини, наприклад із нафти й ацетилену.

У процесі вулканізації гумова суміш із термопластичного стану переходить у терморективний стан. У результаті вулканізації каучук, що має лінійну структуру, перетворюється на матеріал із сітчастою структурою - гуму.

Зі збільшенням вмісту вулканізатора (сірки) сітчаста структура гуми стає частішою і менш еластичною. При максимальному насиченні сіркою (до 30-50 %) отримують тверду гуму (*ебоніт*), при насиченні сіркою до 10-15 % -

напівтверду гуму. Зазвичай у гумі міститься 5-8 % сірки. Для прискорення вулканізації вводять прискорювачі (наприклад, оксид цинку).

Деякі синтетичні каучуки (наприклад, хлоропреновий) можуть вулканізуватися тільки шляхом нагрівання, без використання вулканізатора.

Цьому сприяє наявність у каучуку полярних груп, але і в цьому випадку утворюється *характерна сітчаста структура*.

Для підвищення міцності та зносостійкості гум у них вводять поверхнево-активні речовини, а також наповнювачі. Як пластифікатори використовують стеаринову й олеїнову кислоти, мінеральні олії та парафін. Для зниження температури вулканізації та здешевлення гуми вводять так звані регенератори - продукти спеціальної обробки гуми, що була у вжитку.

Введення цих компонентів дає змогу суттєво змінювати спеціальні властивості гуми, збільшуючи її зносо-, морозо-, оливо- і бензостійкість. Гумові вироби часто армують тканиною або металевою сіткою. Для поліпшення адгезії металевої арматури до гуми на поверхню металу наносять клейову плівку.

Гума має високі еластичні властивості, високі пружність і опірність розриву. Має малу густину, від'ємний температурний коефіцієнт лінійного розширення, високу стійкість проти стирання, газо- і водонепроникність, хімічну стійкість, хороші електроізоляційні властивості, малу питому вагу тощо. Гума має високі фрикційні властивості без використання мастила. За водяного мастила, навпаки, має антифрикційні властивості. Недоліком гуми є старіння.

Залежно від умов експлуатації розрізняють гуми загального та спеціального призначення.

Гуми загального призначення застосовують для виготовлення камер і шин, ременів, транспортних стрічок, рукавів, ізоляції кабелів і дротів, товарів народного споживання тощо.

Гуми спеціального призначення поділяються на бензомаслостійкі, морозостійкі, теплостійкі, стійкі до дії агресивних середовищ. Нижньою границею робочих температур гум спеціального призначення є температура до $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$, гум загального призначення - від -35 до $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Гумові матеріали використовують для амортизації, демпфування, ущільнення, герметизації, хімічного захисту деталей машин, під час виробництва тари для зберігання мастила і пального, різних трубопроводів (шлангів), для виготовлення покришок і камер коліс автотранспорту, декоративних виробів тощо.

Останнім часом гостро стоїть питання про очищення територій наших міст від звалищ старої гумової продукції, яка під час тривалого, інколи десятків років зберігання, виділяє в атмосферу і в землю значну кількість шкідливих хімічних сполук. На автопідприємствах країни, шиноремонтних заводах, у портах знаходяться десятки мільйонів автомобільних шин, що вийшли з ладу. Їх утилізація практично не здійснюється, оскільки під час спалювання в атмосферу виділяється значна кількість екологічно шкідливих речовин і сполук, а під час механічної утилізації вартість перевершує

допустимі величини. Водночас продукт вторинної переробки шин - гумова крихта різної дисперсності - застосовується в різних галузях техніки - під час будівництва доріг, як тепло- і звукоізолятори тощо. Особливо широко гумова крихта використовується в країнах Західної Європи та Південно-Східної Азії, де вона переважно отримується методом механічного подрібнення.

5.4 Скло

Скло - це однорідна аморфна речовина, отримана під час затвердіння розплаву оксидів. У складі скла можуть бути присутніми оксиди трьох типів: *склоутворювальні*, *модифікуючі* та *проміжні*. Склоутворювальними є оксиди кремнію, бору, фосфору, германію, миш'яку. До модифікуючих оксидів, введення яких знижує температуру плавлення скла й істотно змінює його властивості, належать оксиди лужних (Na, K) і лужноземельних (Ca, Mg, Ba) металів. Проміжними є оксиди алюмінію, свинцю, титану, заліза. Вони можуть заміщати частину склоутворювальних оксидів. Склоутворювальний каркас являє собою безперервну просторову решітку, у вузлах якої розташовані іони, атоми або угруповання атомів (рис. 59). Хімічний склад скла можна змінювати в широких межах. Тому і властивості скла можуть бути різними.

За хімічним складом залежно від природи склоутворювальних оксидів розрізняють:

- силікатне;
- алюмосилікатне;
- боросилікатне;
- алюмоборосилікатне та інші види скла.

Залежно від вмісту модифікаторів скло може бути:

- лужним;
- безлужним.

За призначенням розрізняють:

- побутове (склотара, посуд);
- будівельне (віконне, склоблоки);
- технічне (оптичне, електротехнічне, хімічне тощо) скло.

Структура і властивості скла визначаються його хімічним складом, умовами варіння, охолодження та обробки.

Скло - термопластичний матеріал. Під час нагрівання воно поступово розм'якшується і переходить у рідину. Плавлення відбувається в деякому температурному інтервалі, величина якого залежить від хімічного складу скла. Нижче за температуру склування T_c воно набуває крихкості. Для звичайного силікатного скла $T_c = 425-600$ °С. Вище температури плавлення скло стає рідиною. За цих температур скломаса переробляється у вироби.

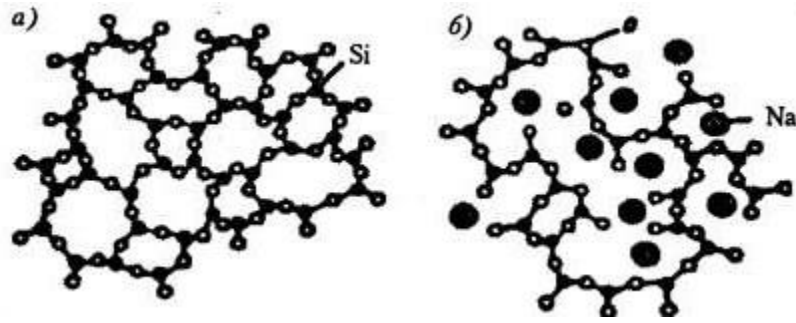


Рисунок 5.1 - Схема безперервної структурної сітки скла:
а - кварцового; б - натрійсилікатного

Щільність скла становить від 2,2 до 8,0 г/см³. Скло високої густини містить значні кількості оксидів свинцю та барію.

Скло - жорсткий, твердий, але дуже крихкий матеріал. Скло добре чинить опір стисненню, але характеризується низьким тимчасовим опором під час випробувань на розтягнення (30-90 МПа) і вигин (50-150 МПа). Міцнішим є безлужне і кварцове скло.

Механічні властивості скла підвищуються під час термічної та хімічної обробки. Термічне загартування скла полягає в нагріванні до температур, близьких до точки розм'якшення, і швидкому рівномірному охолодженні поверхні в потоці повітря або в олії. При цьому в поверхневих шарах виникають напруги стиснення, і міцність скла зростає в 2-4 рази. Для виготовлення приладів, що працюють за підвищеного тиску, застосовують безосколкове скло - *триплекс*.

Триплекс являє собою комбіноване скло, що складається з двох і більше загартованих шарів, склеєних прозорою еластичною плівкою. Його хімічна обробка полягає в травленні поверхневого шару розчином плавикової кислоти зі знищенням поверхневих дефектів. Ще більший ефект досягається за комбінованої хіміко-термічної обробки.

Найважливішою властивістю скла є прозорість у діапазоні довжин хвиль видимого світла. Звичайне листове скло пропускає до 90 %, а відбиває близько 8 % і поглинає близько 1 % видимого світла. Ультрафіолетові промені майже повністю поглинаються віконним склом.

Скло має високу хімічну стійкість в агресивних середовищах (за винятком плавикової кислоти і лугів). Вода поступово руйнує скло внаслідок утворення лужних розчинів. Що вища температура і концентрація лужних оксидів у склі, то сильніше проявляється дія води. Скло є технічним матеріалом, широко використовуваним у різних галузях техніки, будівництва та комунального господарства. Це пояснюється сприятливим поєднанням фізико-хімічних і механічних властивостей, можливістю змінювати ці властивості в широких межах залежно від складу скла і способів термічного впливу, а також здатністю скла легко піддаватися різним способам гарячої та холодної обробки.

Кварцове скло, що складається практично з чистого кремнезему (99 % SiO_2), залежно від способу отримання буває двох типів: оптично прозоре і непрозоре. Кварцове скло відрізняється від усіх відомих стекол високими фізико-хімічними властивостями: високою теплостійкістю (1400 °C), низьким температурним коефіцієнтом лінійного розширення, високою термічною (витримує перепад температур 800-1000 °C) і хімічною стійкістю, особливо до дії кислот (крім плавикової) і води. Воно має високі діелектричні характеристики, прозоре у видимій, ультрафіолетовій і частково інфрачервоній сферах світла. Кварцове скло, що має високу термічну і хімічну стійкість у поєднанні з низьким температурним коефіцієнтом лінійного розширення, застосовується для виготовлення тиглів, термопар, електровакуумних виробів, хімічно стійкої тари, труб, лабораторного посуду. Для захисту деталей від корозії за температур до 500-600 °C у машинобудуванні застосовують склоемалі.

Піноскло отримують спінюванням рідкої скляної маси при високій температурі завдяки введенню газовиділяючих твердих речовин - подрібнених вапняку, крейди, вугілля. Воно має малу щільність, низьку теплопровідність і характеризується високим звукопоглинанням. Піноскло - негорючий, термостійкий і хімічно стійкий матеріал.

Ситали - склокристалічні матеріали отримують зі скла шляхом його повної або часткової кристалізації. Назва «ситали» утворена зі слів «скло» і «кристали». Ситали іноді називають склокерамікою. Вміст кристалічної фази в ситалах може становити до 95 %. Розмір кристалів зазвичай не перевищує 1-2 мкм.

Ситали - щільні, непрозорі, газонепроникні, жорсткі та тверді матеріали. Їхня механічна міцність у 2-3 рази вища, ніж міцність скла. Ці матеріали добре чинять опір абразивному зносу. Поєднання низького температурного коефіцієнта лінійного розширення і високої механічної міцності надає їм високу термостійкість. Ситали характеризуються високою хімічною стійкістю до дії кислот і лугів і не схильні до корозії при нагріванні до високих температур. Вони абсолютно не поглинають вологу.

Завдяки поєднанню легкості, міцності, твердості та технологічності ситали знаходять широке застосування в машинобудуванні. З них виготовляють підшипники ковзання, що працюють без змащення при температурі до 550 °C, поршні і деталі вихлопу двигунів внутрішнього згоряння, хімічну апаратуру, фільтри для витягування синтетичних волокон, робочі колеса і лопатки насосів, що перекачують агресивні рідини з абразивами. Ситали використовують як жаро- і зносостійкі емалі для захисту металевих деталей. Ситалові емалі можуть працювати при температурах до 800-900 °C.

5.5 Композиційні матеріали

Композиційні матеріали - складні матеріали, що складаються з нерозчинних або малорозчинних один в одному компонентів, які сильно відрізняються за властивостями і розділені в матриці яскраво вираженою межею.

Властивості композиційних матеріалів залежать від властивостей компонентів і характеру зв'язку між ними. У таких матеріалах проявляються переваги кожного з компонентів, а також позитивні властивості, якими кожен з компонентів окремо не володіє.

Основа (матриця) композиційного матеріалу може бути металевою (композиційні матеріали на металевій основі) і неметалевою (композиційні матеріали на неметалевій основі). Як металеву основу широко застосовують алюміній, магній, нікель, титан, сталь. Неметалева основа може бути полімерною, вуглецевою, керамічною.

Матриця об'єднує всі компоненти композиційного матеріалу в єдине ціле. Від властивостей матричного матеріалу залежать такі експлуатаційні властивості композиції, як робоча температура, опір впливу навколишнього середовища, опір втомному руйнуванню.

У матриці рівномірно розподілені компоненти, що наповнюють і зміцнюють композиційний матеріал - **зміцнювач** і **армувальні матеріали**.

Зміцнювальні компоненти повинні мати високу міцність, твердість, модуль пружності. За цими характеристиками вони повинні значно перевершувати матеріал матриці.

За геометричними параметрами **армувальні матеріали** можуть бути:

- нуль-мірними;
- одновимірними;
- двовимірними.

Матеріали, армовані нуль-мірними зміцнювачами, називають **дисперсно-зміцненими**. Як дисперсні частинки частіше використовують тугоплавкі оксиди, карбіди, нітриди, бориди (Al_2O_3 , TiO_2 , SiC, BN та ін.). Виготовляють дисперсно-зміцнені матеріали з металевою матрицею головним чином методом порошкової металургії. Під час роботи дисперсно-зміцнених матеріалів основне навантаження сприймає матриця. Дисперсні частинки, ефективно гальмуючи рух дислокацій, перешкоджають розвитку пластичної деформації і таким чином зміцнюють композиційний матеріал. Ступінь зміцнення визначається дисперсністю частинок і відстанню між ними. Велике зміцнення досягається за розміру частинок 0,01-0,1 мкм і відстані між ними 0,05-0,5 мкм.

Серед дисперсно-зміцнених матеріалів широкого поширення набули, наприклад, спечені алюмінієві пудри (САП) - матеріали з алюмінієвою матрицею, зміцнені лусочками Al_2O_3 . Вміст оксиду в САП перебуває, залежно від марки, в межах 6-18 %. САП мають міцність до 400 МПа (САП-3), низьку щільність, високу корозійну стійкість.

Із САП випускають напівфабрикати у вигляді листів, профілів, труб, фольги. Деталі з САП працюють при 300-500 °С, і частіше це лопатки компресорів, лопатки вентиляторів і турбін, поршневі штоки.

Найвищу жароміцність мають матеріали на основі нікелю з 2-3 % двоокису торію (ВДУ-1) або двоокису гафнію (ВДУ-2). Сплави ВДУ-2, ВДУ-3 випускають у вигляді труб, прутків, листів, дроту, фольги. Їх застосовують головним чином в авіаційному двигунобудуванні.

Матеріали з одновимірними або одновимірними і нуль-мірними наповнювачами називають **волокнистими композиційними матеріалами**. Зміцнювачами в них можуть бути дріт з металів і сплавів (Mo, W, V, Ta, високоміцна сталь), волокна або ниткоподібні кристали чистих елементів і тугоплавких з'єднань (C, B, SiC, Al₂O₃, борсік - волокна бору з вирощеними на них з метою поліпшення зчеплення з матрицею кристалами карбиду кремнію та ін.). Як матричні матеріали можуть виступати полімери (епоксидні, фенолформальдегідні, поліамідні та інші смоли), керамічні та вуглецеві матеріали, метали (Al, Mg, Ti, Ni та ін.). Наприклад, матеріали з алюмінієвою матрицею армують сталевим дротом (матеріали КАС), борним волокном (матеріали ВКА), вуглецевим волокном (матеріали ВКУ).

Під час розтягування композиційного матеріалу вздовж напрямку армування навантаження в основному сприймають волокна, матриця ж слугує середовищем для передачі зусилля. Чим більше співвідношення E_v/E_m (E_v - модуль пружності волокна, E_m - модуль пружності матеріалу матриці) і чим вищий об'ємний вміст волокон, тим більша частка навантаження припадає на волокна.

Тимчасовий опір композиційного матеріалу, загалом, тим вищий, чим більше в ньому зміцнювального компонента. Однак за дуже малих (<5 %) і дуже великих (>80 %) вмістів волокна спостерігається зворотна залежність.

5.6 Допоміжні матеріали

Надійна робота обладнання забезпечується допоміжними матеріалами - лакофарбовими матеріалами, клеями, мастильними речовинами, шкірою, текстильними, паперовими матеріалами тощо.

Для забезпечення корозійної стійкості металевих і неметалевих деталей застосовують лакофарбові матеріали.

Лакофарбові матеріали являють собою багатокомпонентні склади, які в рідкому стані наносяться на поверхню виробів і висихають з утворенням плівок. Ці плівки утримуються адгезією (взаємодією плівки і матеріалу). Висохлі плівки називаються **лакофарбовими покриттями**. Як правило, покриття роблять багат шаровими.

Лакофарбові матеріали, залежно від складу і призначення, класифікують на основні (лаки, фарби, ґрунтовки і шпаклівки) і допоміжні (розчинники, розріджувачі або розріджувачі, змивання, склади для підготовки поверхонь до фарбування та ін.).

Сучасне позначення основних лакофарбових матеріалів складається з п'яти груп знаків:

1-ша група - назва матеріалу повним словом (емаль, грунт тощо);

2-а група - умовне позначення типу плівкоутворювача;

3-тя група - основне призначення матеріалу;

4-та група - порядковий номер, присвоєний цьому матеріалу, з однієї, двох або трьох цифр;

5-та група - колір матеріалу.

Умовні позначення плівкоутворювачів такі: гліфталевих - ГФ; пентафталевих - ПФ; меламінних - МЛ; сечовинних - МЧ; фенольних - ФЛ; фенолалкідних - ФА; епоксидних - ЕП; епоксіефірних - ЕФ; алкідно- та олійно-стирольних - МС; поліефірних - ПЕ; поліуретанових - УР; акрилових - АК; сополімерно-акрилових - АС; нітроцелюлозних - НЦ; етилцелюлозних - ЕЦ; перхлорвінілових - ХВ; сополімерно-вінілхлоридних - ХС; кремнійорганічних - КО; дифінілацетиленових - ВН; каучукових - КЧ; поліамідних - АД; фторопластових - ФП; полівінілацетальних - ВЛ; бітумних - БТ; каніфольних - КФ; масляних - МА.

Усередині перерахованих груп лакофарбові матеріали класифікують за переважним призначенням матеріалу.

Умовні позначення лакофарбових матеріалів такі: атмосферостійких - 1; обмежено атмосферостійких - 2; водостійких - 4; спеціальних - 5; олійнобензостійких - 6; хімічно стійких - 7; термостійких - 8; електроізоляційних - 9; ґрунтовок - 0; шпаклівок - 00.

У результаті марка лакофарбового матеріалу (ГОСТ 9825-73) вказує хімічну природу плівкоутворювача цього матеріалу і його призначення. Наприклад, емаль КО-198 - емаль кремнійорганічна, атмосферостійка з реєстраційним номером 98; ЕП-0026 - епоксидна шпаклівка з реєстраційним номером 26.

Залежно від призначення лакофарбові матеріали поділяють на фарби, емалі, лаки, ґрунтовки і шпаклівки (таблиця 5.1).

Системою лакофарбового покриття називають поєднання шарів матеріалів, послідовно нанесених на поверхню, що захищається (рисунок 5.2).

Товщина покриття залежить від типу і властивості лакофарбового матеріалу, що наноситься, його в'язкості, процесу нанесення, ступеня агресивності середовища та інших умов експлуатації, властивостей металу і складності його поверхні, можливості нанесення певним способом і призначення.

Зазвичай товщина одношарової плівки правильно нанесеної емалі за температури 18-22 °С становить 25-30 мкм, нагрітої до 40-60 °С - 15-20 мкм.

Для жорстких умов експлуатації значення мінімальної загальної товщини епоксидного і вінілового покриттів приймається рівним 250-300 мкм, алкідного і поліуретанового 200-250 мкм, кремнійорганічного 80-120 мкм. Для м'яких умов товщина може бути зменшена на 10-12 %.

Таблиця 5.1 - Розподіл за видом основних лакофарбових матеріалів (ДСТУ ISO 3251:2015)

Вид	Визначення
Лак	Розчин плівкоутворювальних речовин в органічних розчинниках або у воді, що утворює після висихання тверду прозору однорідну плівку
Фарба	Суспензія пігменту або суміші пігментів із наповнювачами в оліфі, олії, емульсії, латексі, що утворює після висихання непрозору однорідну плівку
Порошкова фарба	Суша композиція плівкоутворювальної речовини з пігментами і наповнювачами, що утворює після сплавлення, охолодження і затвердіння тверду непрозору плівку
Емаль	Суспензія пігменту або суміші пігментів з наповнювачами в лаку, що утворює після висихання непрозору тверду плівку з різним блиском і фактурою поверхні
Ґрунтовка	Суспензія пігменту або суміші пігментів з наповнювачами сполучній речовині, що утворює після висихання непрозору однорідну плівку з хорошою адгезією до підкладки та покривних шарів
Шпаклівка	Густа, в'язка маса, що складається з суміші пігментів з наповнювачами в сполучній речовині, призначена для заповнення нерівностей і згладжування поверхні, що фарбується.

Лакофарбовим матеріалам притаманні певні фізичні (густина, теплопровідність, атмосферостійкість тощо), механічні (міцність, твердість, еластичність, стиранисть тощо), хімічні (кислото-лугостійкість, токсичність тощо) властивості.

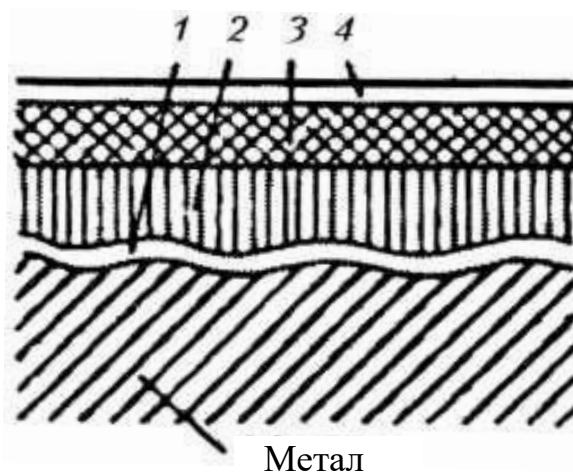


Рисунок 5.2 - Схема системи лакофарбового покриття:
1 - Ґрунт; 2 - шпаклівка; 3 - емаль; 4 - покривний лак

Розчинниками лакофарбових матеріалів слугують скипидар, уайт-спірит, ацетон, спирти. Розчинники підбирають залежно від плівкоутворювальної речовини: для олій використовують скипидар і уайт-спірит; для смол - спирти, ацетон і ароматичні вуглеводні на кшталт бензолу і толуолу, для ефірів целюлози - ацетон.

Клеями називаються складні речовини на основі полімерів, здатні при затвердінні утворювати міцні плівки, що добре прилипають до різних матеріалів. Порівняно з іншими видами з'єднань (клепкою, зварюванням, механічним кріпленням) клейові з'єднання мають низку переваг. Працездатність клейових з'єднань залежить насамперед від адгезії (міцності зчеплення клейової плівки з поверхнею, що склеюється) і когезії (міцності власне клейового шару).

Клеї дають змогу з'єднувати різномірні матеріали (метал, кераміку, пластмасу, дерево) в різних поєднаннях. Клейові шви атмосферостійкі, не схильні до корозії, дозволяють забезпечувати герметичність з'єднань. Маса конструкції під час клейового складання майже не збільшується, відсутні отвори під болти, заклепки, цвяхи, які знижують міцність і є концентраторами напружень. У багатьох випадках поліуретанова клейова плівка газонепроникна, олійно-, бензо- і водостійка. Вона має високу адгезію і морозостійкість, тому поліуретанові клеї використовуються також як герметики.

Для склеювання гумових виробів, а також металу з гумою, застосовуються гумові (каучукові) клеї 88, Б-10, КР-5-18.

Гумовий клей зручний для вживання тим, що він вулканізується на холоді і це клейове з'єднання має задовільну міцність і мало набухає в олії та бензині.

До числа найпоширеніших **герметиків** для металевих виробів належить тіоколовий каучук (тіокол). Він вулканізується за кімнатної температури. Вулканізаторами зазвичай є сполуки на марганцевій основі. Затверділа плівка масло-, водо- і бензостійка, витримує тривалий час при контакті з киснем повітря і зберігає високу міцність при температурі до 130 °С.

Істотним недоліком тіоколового каучуку є низька адгезія до металу, тому при його використанні потрібно створювати підкладку для гумового клею. Цей недолік відсутній у рідкого тіоколу (герметик ВТУ Р).

Для герметизації техніки, що працює при температурі 150-250 °С і не стикається з мастилами і паливом, застосовують полісилоксани з затверджувачами, які забезпечують їхнє затвердіння при кімнатній температурі (кремній- і оловоорганічні сполуки). Істотним недоліком цих герметиків є мала адгезія до металу, навіть у разі нанесення спеціального прошарку.

Для відсіків обладнання, що працюють за температури 150-250 °С і стикаються з маслом і паливом, застосовуються фторорганічні герметики.

Полісилоксанові та фторорганічні герметизувальні плівки не руйнуються під час тривалого впливу на них кисню й озону. Вони зберігають еластичність за температури до $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$; мають високу водостійкість.

Технологічно зручні для використання як герметиків розчини фенолоформальдегідних смол, суміщених з нітрильним каучуком, наприклад марки ВГК-18. Цей герметик не потрібно вулканізувати. Він має задовільну адгезію до металевих поверхонь, а герметизуюча плівка зберігає міцність до $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, забезпечує достатню міцність і має масло- і бензостійкість.

На основі рідких поліуретанових, карбоксилатних, фторованих каучуків розроблено спосіб герметизації вакуумованих вузлів (пропускних) за низьких температур. У радіотехніці застосовують галієві клеї (клеї-припої). З'єднання, отримане за допомогою такого клею, має хорошу тепло- і електропровідність, досить високу міцність і експлуатаційну стабільність в інтервалі температур $196\text{--}800\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Поверхні, що склеюються, мають бути механічно очищені, наприклад, наждачним папером, піскоструминною обробкою і знежирені спиртом або ацетоном. Товщина плівки клею має становити $0,1\text{--}0,6\text{ мм}$. Менша товщина загрожує порушенням суцільності плівки, більша - зменшенням міцності з'єднання.

Масильні речовини застосовують для збільшення терміну служби тертьових частин машин і зниження коефіцієнта тертя. Коефіцієнт "сухого" тертя характеризує опір руху не змащених поверхонь. Його величина залежить від якості обробки виробів, що контактують, і зазвичай становить $0,01\text{--}0,50$. Наявність мастила знижує цей коефіцієнт до $0,001\text{--}0,002$.

Масильні речовини поділяють на мінеральні, рослинні та тваринні олії. Масильні речовини повинні забезпечувати і ковзання, і тепловідведення.

Шкіра використовується для різного роду прокладок, кілець ущільнювачів, гальмівних муфт і приводних ременів. Особливостями шкіри є пористість і висока механічна міцність. Вони мають високу повітро-, паро- і водонепроникність і низьку теплопровідність. Добре працюють в умовах багаторазових вигинів.

Текстильні матеріали - пряжу, вату, стрічки, шнури, мотузки, повсть та інші матеріали - широко використовують у промисловості. Вата з переплетеннями із силікатного скла застосовується для теплозвукоізоляції, амортизаційних подушок тощо. Повсть використовують як ущільнювальні прокладки, для фільтрів, амортизаторів та інших виробів.

Паперові матеріали і картон застосовують для електроізоляції і як пакувальні матеріали.

Контрольні питання

5.1 Що таке пластмаса?

5.2 Яка будова макромолекул полімерних матеріалів?

- 5.3 У чому полягає різниця в будові та властивостях між термопластичними та термореактивними матеріалами?
- 5.4 У чому призначення наповнювачів у пластмасах?
- 5.5 На які групи поділяють пластмаси за призначенням?
- 5.6 Перелічіть термопластичні пластмаси, що застосовуються в сільськогосподарському машинобудуванні.
- 5.7 Якими методами виготовляють деталі з термопластичних пластмас?
- 5.8 Перелічіть термопластичні пластмаси, що застосовуються в сільськогосподарському машинобудуванні.
- 5.9 З яких складових складається гума?
- 5.10 Яка речовина застосовується як вулканізатор під час виготовлення гуми?
- 5.11 Якими фізичними, хімічними, механічними властивостями володіє гума?
- 5.12 Назвіть сферу застосування деревини в харчових виробництвах.
- 5.13 Які переваги та недоліки має деревина?
- 5.14 Як можна підвищити довговічність деревини?
- 5.15 Які складові входять до складу скла?
- 5.16 За якими ознаками класифікують скло?
- 5.17 У чому полягає термічне загартування скла і як змінюються його властивості після термічної обробки?
- 5.18 Перелічіть назви допоміжних матеріалів, що застосовуються на підприємствах сільськогосподарських виробництв.
- 5.19 У чому полягає підготовка поверхні матеріалу до склеювання?
- 5.20 Що таке композиційні матеріали?
- 5.21 Які матеріали можуть застосовуватися як основа композиційних матеріалів?
- 5.22 Які речовини застосовуються як армувальні компоненти в композиційних матеріалах?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 5

ВИВЧЕННЯ МІКРОСТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ

Мета заняття. Вивчити мікроструктури кольорових металів і сплавів, установити зв'язок між структурою, властивостями та застосуванням.

Прилади, інструменти, матеріали

1. Мікроскоп марки ЛабоМет-1.
2. Набір мікрошліфів кольорових металів і сплавів.
3. Альбом мікроструктур.

Теоретичні відомості

Кольорові метали і сплави мають широке застосування в різних галузях промисловості та сільського господарства.

Чисті кольорові метали мають низку специфічних властивостей. Так, мідь вирізняється високою електропровідністю, алюміній і магній - малою густиною, свинець - пластичністю, олово, свинець, цинк - низькою температурою плавлення. Чисті метали, за винятком міді, алюмінію, кремнію, германію і деяких інших, застосовуються рідко внаслідок того, що вони мають невисокі механічні властивості. Тому кольорові метали широко застосовуються в промисловості у вигляді складових елементів сплавів. Сплавлення одних кольорових металів з іншими з утворенням сплавів у низці випадків значно покращує їхні цінні властивості.

Нижче наведено коротку характеристику низки найпоширеніших кольорових металів і сплавів, які часто застосовуються в авто-, тракторо-, сільгоспмашинобудуванні та ремонтному виробництві.

Мідь марки М1 містить до 0,1 % домішок, має високу електропровідність і застосовується для провідників електричного струму. На рисунку 5.3 показана мікроструктура деформованої міді після відпалу. Видно великі світлі зерна міді з темними межами і сліди пластичної деформації (прокатка) у вигляді ліній зсуву і двійників.



Рисунок 5.3 - Мікроструктура деформованої та відпаленої міді $\times 200$

Латунь марки Л68 (68 % Cu, решта - цинк) має високу пластичність, корозійну стійкість і використовується частіше для виготовлення виробів прокаткою і штампуванням (дріт, листки, труби, поплавки карбюраторів двигунів, бачки радіаторів тощо). На рисунку 5.4 наведено мікроструктуру деформованої однофазної α -латуні марки Л68 після відпалу. На ній видно темні лінії зсуву і двійників. Зерна пластичної α -фази (твердого розчину

цинку в міді) внаслідок анізотропії травляться на різну глибину і тому мають неоднакове забарвлення.

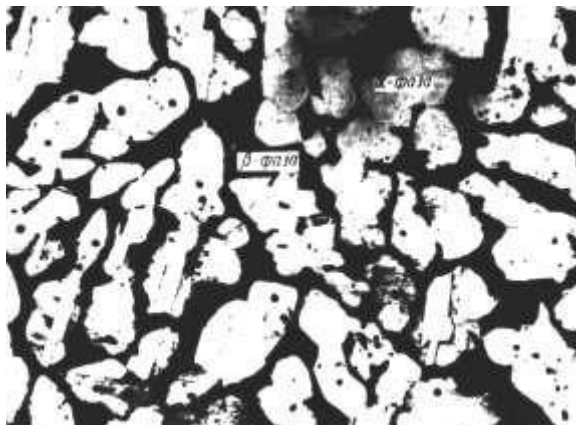


Рисунок 5.4 – Мікроструктура латуні марки Л68 після деформування і відпалу $\times 250$

Латунь марки ЛС59-1 (59 % Cu; 1 % Pb, решта - цинк) має гарну оброблюваність різанням, застосовується у вигляді кольорового литва, а також виробів, які виготовляються прокаткою або пресуванням (листи, прутки, труби, втулки, гайки, жиклери, трійники, пробки та ін.). Мікроструктура литої латуні (рисунок 5.5) складається зі світлих зерен пластичної α -фази і темних зерен твердої та крихкої β -фази.



Рисунок 5.5 – Мікроструктура литої латуні марки ЛС59-1 $\times 200 \times 200$

Бронза марки БрО10 (10 % Sn, решта - мідь) володіє хорошими ливарними властивостями і тому застосовується для кольорового складного фасонного лиття арматури тощо. Мікроструктура олов'янистої бронзи

(рисунок 5.6) складається з неоднорідного твердого α -розчину (твердого розчину олова в міді) і евтектоїду $\alpha + \text{Cu}_31\text{Sn}_8$.

Темні ділянки неоднорідного α -розчину багаті міддю, світлі - оловом, в евтектоїді на світлому блакитному тлі сполуки Cu_31Sn_8 видно темні точкові включення α -фази. З бронзи БрО10 виготовляють підшипники ковзання і деталі арматури.

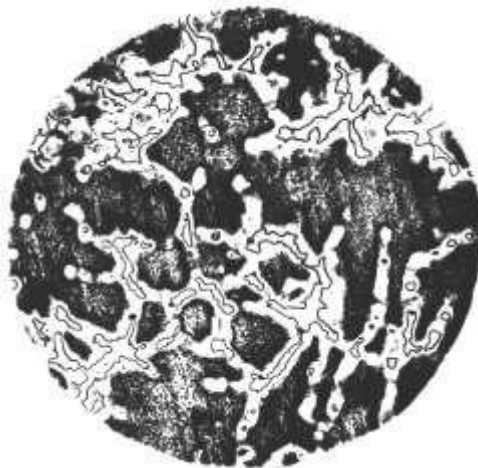


Рисунок 5.6 – Мікроструктура литої олов'янистої бронзи марки БрО10 $\times 100$

Силумін марки АК12 (10-13 % Si, решта - алюміній) має корозійну стійкість і хороші ливарні властивості, застосовується для лиття (кришки, кожухи, корпуси водяних насосів, барабани тощо). За відсутності модифікування заевтектичний сплав, що містить 12 % Si, має структуру, що складається з евтектики ($\alpha + \text{Si}$) грубої будови і темних великих голок кремнію (рисунок 5.7), що знижують пластичні властивості сплаву. Фаза α являє собою твердий розчин кремнію в алюмінії.

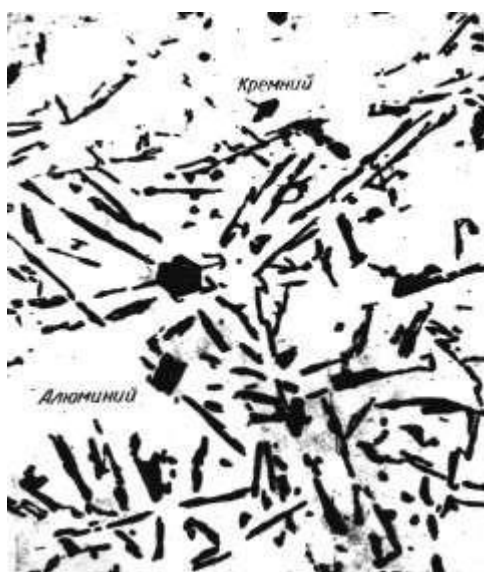


Рисунок 5.7 – Мікроструктура ливарного алюмінієвого сплаву марки АЛ2 до модифікування $\times 200$

Модифікування сплаву натрієм різко змінює характер кристалізації силуміну. На рисунку 5.8 наведено діаграму стану сплавів *алюміній-кремній*. Пунктиром показано зміщення ліній на цій діаграмі після модифікування. У цьому випадку заевтектичний сплав (12 % Si) стає доевтектичним (евтектична точка зсувається вправо до 14 % Si, а евтектична лінія, що відповідає 574 °С, зміщується вниз до 563 °С).

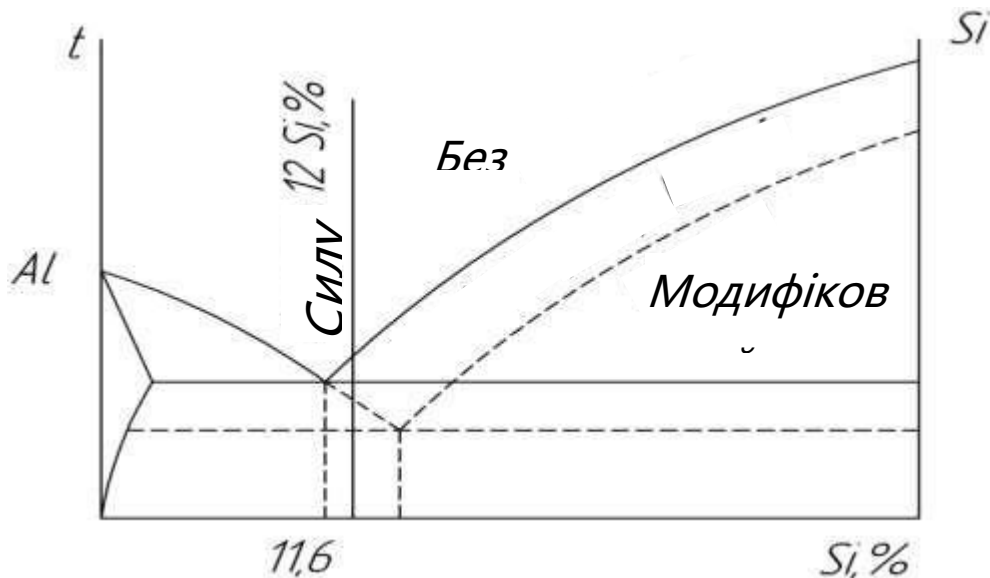


Рисунок 5.8 – Діаграма сплавів алюміній-кремній

Тому в структурі після модифікування виявляються світлі зерна пластичної α -фази і темна дрібнокристалічна евтектика. Модифікування значно покращує пластичність і міцність силуміну.

Дюралюмін марки Д16 (3,8-4,8 % Cu; 0,6 % Mg; 0,6 % Mn; менш ніж 0,7 % Si; решта - алюміній) має достатню міцність і пластичність, за допомогою прокатки або штампування з нього виготовляють листи, прутки, труби тощо.

Для отримання необхідних властивостей дюралюмін гартують у воді від 510 °С і потім піддають старінню за 18-20 °С протягом кількох діб. Після старіння структура дюралюміну Д16 складається зі світлих зерен перенасиченого твердого розчину (рисунок 5.9), що являє собою твердий розчин міді в алюмінії. Зміцнювальні сплавні продукти, що утворюються під час старіння, під мікроскопом не видно.

Підшипниковий сплав бабіт марки Б83 (83 % Sn; 11 % Sb; 6 % Cu) володіє високими антифрикційними властивостями, застосовується для заливки підшипників ковзання машин відповідального призначення (турбіни, компресори, дизелі та ін.). Структура сплаву складається з темної пластичної основи α -фази (твердого розчину сурми в міді та олові), світлих твердих

частинок великих кубічних кристалів SnSb і дрібних голок або зірок кристалів Cu_3Sn (рисунок 5.10).

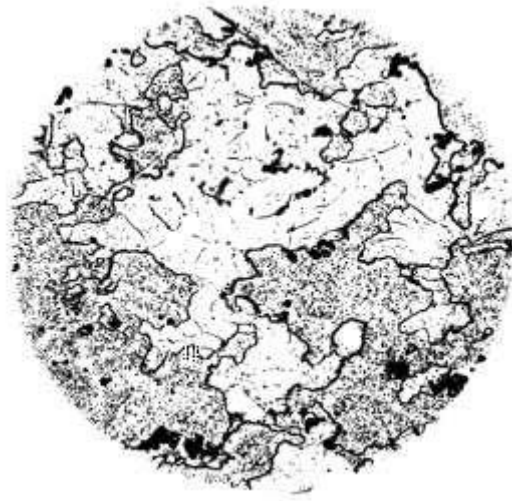


Рисунок 5.9 – Мікроструктура деформованого алюмінієвого сплаву марки Д16 після загартування у воді та природного старіння $\times 200$

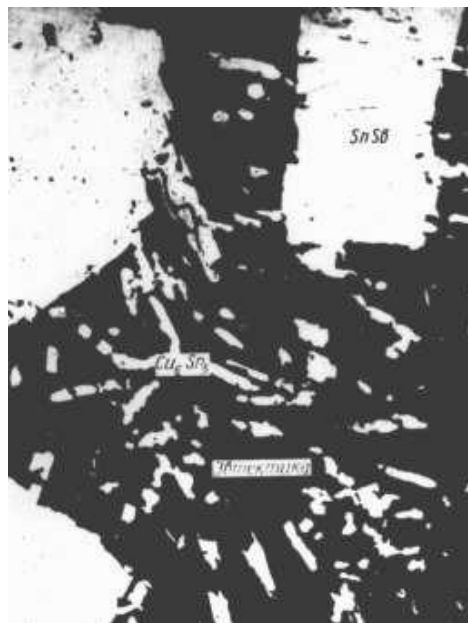


Рисунок 5.10 – Мікроструктура олов'янистого бабіту марки Б83 $\times 100$

Порядок виконання роботи

Розглянути під мікроскопом і замальовати схеми мікроструктур досліджуваних кольорових металів і сплавів.

Записати марку, хімічний склад, термообробку, назви замальованих мікроструктурних складових, кількість фаз, збільшення мікроскопа, властивості та застосування досліджуваних сплавів.

Зміст звіту

До звіту необхідно включити схеми й описи досліджуваних мікроструктур кольорових металів і сплавів; діаграму стану сплавів алюміній-кремній; пояснити сутність модифікування силумінів і старіння дуралюмінів.

Контрольні питання

1. Як називають основні групи сплавів міді?
2. Якими властивостями володіють латуні та бронзи?
3. Як впливають особливості структури бронзи на її застосування?
4. Які властивості мають силуміни та дуралюмініни?
5. Які сфери застосування мідних і алюмінієвих сплавів?
6. Яка мета модифікування силумінів?
7. Для чого проводиться старіння дуралюмінів?
8. Який взаємозв'язок структури та властивостей бабітів?

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДО ТЕМИ 5

1. Ніхром - це матеріал:

- A) жаростійкий сплав на основі нікелю;
- B) діелектричний матеріал;
- C) залізонікелевий сплав із високою магнітною проникністю;
- D) високохромистий інструментальний матеріал.

2. Призначення ніхрому:

- A) для виготовлення нагрівальних елементів;
- B) для виготовлення електроізоляторів;
- C) у слабкострумівій техніці;
- D) для виготовлення штампового інструменту.

3. Діелектрики - це матеріали:

- A) які поляризуються в електричному полі;
- B) зі зворотною залежністю електроопору від температури;
- C) з неметалічними міжатомними зв'язками;
- D) з аморфною структурою.

4. Клас електротехнічних матеріалів, до яких відносять мідь:

- A) діелектричні матеріали;
- B) напівпровідникові матеріали;
- C) провідникові матеріали;
- D) магнітні матеріали.

5. Клас матеріалів, до яких відносять пластмаси:

- A) діелектричні матеріали;
- B) напівпровідникові матеріали;
- C) провідникові матеріали;
- D) магнітні матеріали.

6. Клас електротехнічних матеріалів, до яких відносять кремній:

- A) діелектричні матеріали;
- B) напівпровідникові матеріали;
- C) провідникові матеріали;
- D) магнітні матеріали.

7. Клас електротехнічних матеріалів, до яких відносять електротехнічну сталь:

- A) діелектричні матеріали;
- B) напівпровідникові матеріали;
- C) провідникові матеріали;
- D) магнітні матеріали.

8. Матеріали, з яких виготовляють статори і ротори електродвигунів:

- A) нержавіючі хромонікелеві сталі;
- B) магнітно-м'які матеріали;
- C) магнітно-тверді матеріали;
- D) трансформаторні сталі.

9. Матеріали, які застосовуються для ізоляції струмопровідних частин:

- A) діелектричні матеріали;
- B) напівпровідникові матеріали;
- C) провідникові матеріали;
- D) магнітні матеріали.

10. Структура, яку мають феромагнітні матеріали:

- A) синтетична;
- B) мартенситна;
- C) доменна;
- D) кристалічна.

11. Матеріал, який належить до термореактивних полімерів:

- A) полістирол;
- B) полівінілхлорид;
- C) епоксидна смола;
- D) поліетилен.

12. Електротехнічні матеріали, звані феритами:

- A) твердий розчин впровадження вуглецю в α -Fe;

- В) напівпровідники;
- С) провідники;
- Д) магнітні матеріали.

13. Матеріал, який належить до термопластичних полімерів:

- А) латунь;
- В) епоксидна смола;
- С) фенолоформальдегідна смола;
- Д) поліетилен.

14. Будова, яку мають макромолекули гуми:

- А) рідкосітчаста;
- В) розгалужена;
- С) лінійна;
- Д) сходова.

15. Матеріал, що виготовляється на основі полімерів:

- А) скло;
- В) сталь;
- С) пластмаса;
- Д) кераміка.

16. Характерна особливість термопластичних полімерних матеріалів:

- А) оборотно тверднуть у результаті охолодження без участі хімічних реакцій;
- В) мають рідкосітчасту структуру макромолекул;
- С) формуються за підвищених температур;
- Д) необоротно тверднуть унаслідок хімічних реакцій.

17. Характерна особливість термореактивних полімерних матеріалів:

- А) до їх складу включені наповнювачі;
- В) оборотно тверднуть у результаті охолодження без участі хімічних реакцій;
- С) мають лінійну або розгалужену структуру макромолекул;
- Д) необоротно тверднуть у результаті хімічних реакцій.

18. Позначення поліетилену низької щільності:

- А) ПЕВП;
- В) ПЕНП;
- С) ПП;
- Д) ПС;

20. Установіть відповідність класу матеріалу його назві:

Клас матеріалу:

Назва матеріалу:

- 1) провідник;
- 2) діелектрик.

- A) гума;
- B) кремній;
- C) мідь.

1 - _____; 2 - _____.

21. Установіть відповідність класу матеріалу його назві:

Клас матеріалу:

- 1) провідник;
- 2) напівпровідник.

Назва матеріалу:

- A) гума;
- B) кремній;
- C) мідь.

1 - _____; 2 - _____.

22. Установіть відповідність виду полімеру його назві:

Вид полімеру:

- 1) термопласт;
- 2) реактопласт.

Назва полімеру:

- A) поліетилен;
- B) епоксидна смола;
- C) гума.

1 - _____; 2 - _____.

23. Доповніть:

Матеріал, що виготовляється на основі полімерів, - це _____.

25. Установіть правильну послідовність провідних металів, що відповідає зростанню їхньої електропровідності:

- A) алюміній;
- B) залізо;
- C) мідь;
- D) срібло.

ВИСНОВОК

Метою вивчення пропонованого навчального посібника є набуття та засвоєння здобувачами, які навчаються за напрямом 208 «Агроінженерія» знань про властивості та будову, класифікацію і маркування основних конструкційних матеріалів, що застосовуються в сільськогосподарському та харчовому машинобудуванні, на об'єктах електроенергетики АПК.

Навчальний посібник узагальнює результати багаторічної методичної роботи співробітників кафедри загальноінженерних дисциплін ТДАТУ.

У роботі сконцентровано великий матеріал різних джерел, який систематизовано та акцентовано для студентів, які навчаються за програмами вищої професійної освіти вищевказаного напрямку.

Навчальний посібник містить методичні вказівки щодо виконання п'яти практичних робіт з розділу «Матеріалознавство» дисципліни «Матеріалознавство. Технологія конструкційних матеріалів». Проведенню робіт передуює вивчення теоретичних відомостей, стисло поданих за кожною темою.

У посібнику обговорюються питання, які потребують закріплення отриманих знань під час проходження здобувачами подальшої навчальної практики з отримання первинних професійних умінь і навичок та виробничої технологічної практики. Кожна глава містить необхідні контрольні тести для самоперевірки знань.

Використання студентами матеріалів, викладених у посібнику, дасть їм змогу не тільки оволодіти загальними та професійними компетенціями, а й цілеспрямовано підготуватися до успішного складання іспиту з дисципліни «Матеріалознавство. Технологія конструкційних матеріалів».

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Афанасьєва О. В. Матеріалознавство та конструкційні матеріали. Навч. посібник. Харків: ХНУРЕ, 2016. 188 с.
2. Матеріалознавство і ТКМ: конспект лекцій для студентів спеціальності 5.10010201 «Експлуатація та ремонт машин і обладнання агропромислового виробництва» / уклад. Я. В. Оласюк. Любешів: ЛТК ЛНТУ, 2014. 150 с.
3. Пахаренко В. Л., Марчук М. М., Пахаренко О. В. Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство: навч. посібник. 2-е вид., перероб. і допов. Рівне: НУВГП, 2018. 252 с.
4. Матеріалознавство : навч. посібник / В. І. Бузило, В. П. Сердюк, А. В. Яворський, О. А. Гайдай; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». Дніпро : НТУ «ДП», 2021. 243 с .
5. Власенко А. М. Матеріалознавство та технологія металів: підручник для здобувачів проф. (проф.-тех.) освіти. Київ: Літера ЛТД, 2019. 224 с.
6. Гарнець В. М., Коваленко В. М. Конструкційне матеріалознавство: підручник. Київ: Либідь, 2007. 384 с.
7. Пахаренко В. Л., Марчук М. М., Івасюк П. І. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів (обробка металів різанням, тиском та зварюванням). Лабораторний практикум: навч. посіб. Рівне:НУВГП, 2013.
8. Колесніков В.О. Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство: методичні рекомендації з конспектом лекцій до виконання контрольних та модульних робіт для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня, денної та заочної форм навчання спеціальності 015 «Професійна освіта» освітньої-професійної програми «Транспорт» / Держ. закл. «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка». Полтава: Вид-во ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2023. 136 с.
9. Говорун Т. П., Гапонова О. П., Марченко С. В. Матеріалознавство та технологія матеріалів (у схемах і завданнях) : навч. посібник. Суми : Сумський державний університет, 2020. 163 с.
10. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів. Лабораторний практикум: посібник для вищих навчальних закладів IIIIV рівнів акредитації / Авт. колектив: А. С. Опальчук, О. О. Котречко, Л. Л. Роговський, О. Є. Семеновський, І. Л. Роговський.
11. Єфіменко М. Г., Радзівілова Н. О. Металознавство і термічна обробка зварних з'єднань : підручник. Харків, 2003. 488 с.
12. Літовченко П. І., Іванова Л. П. Технологія конструкційних матеріалів: навч. посібник Харків, 2016. 306 с. : іл.
13. Клименко В. М., Шиліна О. П, Осадчук А. Ю. Технологія конструкційних матеріалів. Ч. 1. Конструкційні матеріали: властивості, класифікація, виробництво : навч. посібник. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. 97 с.
14. Пахаренко В. Л., Марчук М. М Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів (металургія, ливарне виробництво): навч. посібник. Рівне: НУВГП, 2009. 179 с.