

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни

«МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО»

*(для здобувачів вищої освіти спеціальностей
273 «Залізничний транспорт», 274 «Автомобільний транспорт»)
(Частина 1)*

(Електронне видання)

ЗАТВЕРДЖЕНО

на засіданні кафедри
будівництва, урбаністики та
просторового планування

Протокол № 3 від 15.10.2024 р.

Київ 2024

УДК 691(075.8)

Конспект лекцій з дисципліни «Матеріалознавство» (Частина 1) (для здобувачів вищої освіти спеціальностей 273 «Залізничний транспорт», 274 «Автомобільний транспорт») (Електронне видання) / Уклад.: М.В. Білошицький, Г.О. Татарченко, Н.І. Білошицька. – Київ: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2024. – 64 с.

Конспект лекцій спрямований на вивчення і засвоєння студентами теоретичних основ з дисципліни «Матеріалознавство» для здобувачів вищої освіти спеціальностей 273 «Залізничний транспорт», 274 «Автомобільний транспорт» всіх форм навчання.

Розглянуті фізичні основи будови матеріалів, фази та фазові перетворення, що відбуваються в матеріалах. Дана характеристика властивостей матеріалів, приводяться методи визначення механічних властивостей матеріалів при різних видах навантаження та методи керування ними: процеси кристалізації, пластичної деформації. Приведені необхідні відомості про конструкційні металеві матеріали, що використовуються на залізничному, автомобільному транспорті і у сучасному машинобудуванні, їх характеристики та надаються приклади використання в промисловості.

Конспект лекцій охоплює широкий спектр тем, вивчення яких є обов'язковим для здобувачів освіти зі спеціальностей 273 «Залізничний транспорт», 274 «Автомобільний транспорт». Ці відомості потрібні для формування у майбутніх інженерів комплексу знань, умінь та уявлень, які необхідні для вирішення практичних задач вибору матеріалу і необхідної обробки його для конкретної деталі транспортного засобу.

Конспект лекцій складається з 4 тем та питань для самоконтролю.

Наприкінці конспекту лекцій наведено, список необхідної літератури.

Укладачі:

М.В. Білошицький, к.т.н., доц.

Г.О. Татарченко, д.т.н., проф.

Н.І. Білошицька, к.т.н., доц.

Рецензент:

П.Є. Уваров, к.т.н., проф.

ЗМІСТ

Вступ	5
ТЕМА 1. ОСНОВНІ ВЛАСТИВОСТІ МАТЕРІАЛІВ. АТОМНО-КРИСТАЛІЧНА БУДОВА МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ	8
1.1. Характеристика і класифікація металів.	9
1.2. Атомно-кристалічна структура металів.	10
1.2.1. Характеристика фазових перетворень.	13
1.2.2. Формування будови металів. Кристалізація.	14
1.2.3. Основні параметри кристалічних ґраток.	16
1.3. Дефекти кристалічної будови металів.	18
1.4. Властивості матеріалів.	21
1.5. Основні механічні властивості матеріалів та їхні характеристики.	22
1.6. Твердість та методи її визначення.	26
ТЕМА 2. ТЕОРІЯ СПЛАВІВ. ДІАГРАМИ СТАНУ СПЛАВІВ	32
2.1. Основи теорії сплавів.	32
2.2. Діаграми стану сплавів.	35
2.3. Основні види діаграм стану двокомпонентних сплавів.	37
2.3.1. Діаграма стану сплавів, компоненти яких необмежено розчинні у рідкому стані та практично не розчинні у твердому.	37
2.3.2. Діаграма стану сплавів, які утворюють у твердому стані кристалічні тверді розчини з необмеженою взаємною розчинністю компонентів.	38
2.3.3. Діаграма сплавів, компоненти яких утворюють тверді розчини з обмеженою розчинністю.	39
2.3.4. Діаграма стану сплавів з утворенням хімічної сполуки.	40
ТЕМА 3. БУДУВАННЯ ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ. ДІАГРАМА СТАНУ ЗАЛІЗО-ВУГЛЕЦЬ. ЧАВУНИ ТА СТАЛІ	41
3.1. Діаграма стану системи залізо-вуглець.	41
3.2. Формування структури сталей.	48
3.3. Формування структури білих чавунів.	49
ТЕМА 4. КОНСТРУКЦІЙНІ ТА ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ СТАЛІ. ЧАВУНИ . 51	

4.1. Вуглецеві сталі.	51
4.2. Леговані сталі.	53
4.2.1. Класифікація легованих сталей.	55
4.2.2. Конструкційні леговані сталі.	56
4.3. Сталі зі спеціальними властивостями.	58
4.4. Чавуни, їх класифікація, структура та властивості.	60
Література	63

Вступ

Матеріалознавство належить до числа основних дисциплін для машинобудівних спеціальностей. Це пов'язано з тим, що одержання, розроблення нових матеріалів, способи їх обробки є основою сучасного виробництва й багато в чому визначають рівнем свого розвитку науково-технічний і економічний потенціал країни. Проектування раціональних, конкурентоспроможних виробів, організація їх виробництва неможливі без достатнього рівня знань в галузі матеріалознавства.

Матеріалознавство – це наука про взаємозв'язок електронної будови, структури матеріалів з їх складом, фізичними, хімічними, технологічними та експлуатаційними властивостями.

Матеріалознавство є основою для вивчення багатьох спеціальних дисциплін.

Різноманіття властивостей матеріалів є головним фактором, що визначає їх широке застосування в техніці. Матеріали мають властивості, які відрізняються один від одного, причому кожна залежить від особливостей внутрішньої будови матеріалу. У зв'язку з цим матеріалознавство як наука вивчає будову матеріалу в тісному взаємозв'язку з його властивостями. Основні властивості матеріалів можна підрозділити на фізичні, механічні, технологічні й експлуатаційні.

Від фізичних і механічних властивостей залежать технологічні й експлуатаційні властивості матеріалів.

Серед механічних властивостей міцність посідає особливе місце, тому що насамперед від неї залежить не руйнування виробів під впливом експлуатаційних навантажень. Вчення про міцність і руйнування є однією з найважливіших складових частин матеріалознавства. Воно є теоретичною основою для вибору конструкційних матеріалів, що підходять для деталей різного цільового призначення, й пошуку раціональних способів формування в них необхідних властивостей міцності, для забезпечення надійності й довговічності виробів.

Основними матеріалами, використовуваними в машинобудуванні, є і ще довго будуть залишатися метали та їх сплави. Тому основною частиною

матеріалознавства є металознавство, у розвитку якого провідну роль відіграли вчені: Аносов П.П., Чернов Д.К., Курнаков Н.С., Гуляєв А.П. та ін.

Метою викладання дисципліни є навчити інженерів застосовувати основні методи керування конструкційною міцністю матеріалів і проводити обґрунтований вибір матеріалу для виробів з урахуванням умов їх експлуатації.

Для досягнення поставленої мети при вивченні дисципліни вирішуються такі основні завдання:

- набування знань щодо оцінки технічних властивостей матеріалів, виходячи з умов експлуатації й виготовлення виробу;
- формування науково обґрунтованих уявлень про можливості раціональної зміни технічних властивостей матеріалу шляхом зміни його структури;
- ознайомлення зі способами зміцнення матеріалів, що забезпечують надійність виробів та інструментів;
- ознайомлення з основними групами сучасних матеріалів, їх властивостями та галуззю застосування.

В результаті вивчення дисципліни «Матеріалознавство» студент має:

Знати

- Основи будови та властивості металевих та неметалічних конструкційних матеріалів;
- Теоретичні основи отримання металевих сплавів та способи покращення їх фізико-механічних властивостей;
- Класифікацію, маркування, сфери застосування конструкційних матеріалів, що найбільш застосовуються у виробництві;
- Властивості та переваги нових конструкційних матеріалів у порівнянні з класичними.

Вміти

- Раціонально обирати та застосовувати конструкційні матеріали у своїй майбутній професійній діяльності;
- Виконувати операції основних видів термічних та інших зміцнювальних обробок;

- Отримувати та обробляти різні заготовки та вироби сучасними технологіями.

Матеріалознавство готує студента до освоєння спеціальних дисциплін, що вивчають основні виробничі технології і процеси.

Знання основ матеріалознавства необхідне інженеру, який працює у сфері експлуатації сучасних машин і конструкцій.

ТЕМА 1

ОСНОВНІ ВЛАСТИВОСТІ МАТЕРІАЛІВ. АТОМНО-КРИСТАЛІЧНА БУДОВА МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ

План:

- 1.1. Характеристика і класифікація металів.
- 1.2. Атомно-кристалічна структура і будова металів.
 - 1.2.1. Характеристика фазових перетворень.
 - 1.2.2. Формування будови металів. Кристалізація.
 - 1.2.3. Основні параметри кристалічних ґраток.
- 1.3. Дефекти кристалічної будови металів.
- 1.4. Властивості матеріалів.
- 1.5. Основні механічні властивості матеріалів та їхні характеристики.
- 1.6. Твердість та методи її визначення.

Матеріалознавство – це прикладна наука, що вивчає будову (структуру) та властивості матеріалів, встановлює зв'язок між їхнім складом, будовою і властивостями, вивчає залежність будови і властивостей від методів виробництва та обробки матеріалів, а також зміну їх під впливом зовнішніх чинників: силових, теплових (термічних), радіаційних та інших.

Завдання матеріалознавства взагалі – це розробка нових і вдосконалення існуючих матеріалів.

Конструкційні матеріали, що використовуються в машинобудуванні, поділяються на *металеві* та *неметалеві*.

Металеві – сталі, чавуни та кольорові метали. Залізо і його сплави (сталі, чавуни) – чорні, всі інші – кольорові метали.

Неметалеві – полімери, пластмаси, гуми, деревина, силікатні матеріали - кераміка, скло та ін.

1.1. ХАРАКТЕРИСТИКА І КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТАЛІВ.

Метали – найбільш розповсюджені у природі елементи. Це хімічно прості речовини, які мають особливий (металевий) блиск, високу пластичність, електро- й теплопровідність. У техніці поняття „метал” означає речовину, що має вказані характерні властивості. Цей термін також використовують при визначенні металевих сплавів. За визначенням М.В.Ломоносова, „метали – суть світлі тіла, які кувати можна”.

Метали – це елементи, атоми яких складаються з позитивно зарядженого ядра, навколо якого на різній відстані обертаються негативно заряджені електрони, утворюючи певні електронні оболонки. Зовнішня електронна оболонка металів містить невелику кількість електронів (1...2). Сила притягування ядра атома щодо зовнішніх (валентних) електронів значною мірою компенсується електронами внутрішніх оболонок. Тому атоми металів досить легко втрачають зовнішні електрони і перетворюються на позитивно заряджені іони. Вільні електрони легко переміщуються в усіх напрямках між утвореними позитивно зарядженими іонами, нагадуючи рух частинок газу („електронний газ”). Існування водночас нейтральних й іонізованих атомів та вільних електронів є основою уявлень щодо особливого типу міжатомного зв'язку, притаманного тільки металам – металевому. В металі постійно відбувається обмін електронами між нейтральними та іонізованими атомами, завжди є певна кількість електронів, що на даний момент не належать якомусь з атомів. Якщо створити у металі різницю потенціалів, рух електронів набуде певного напрямку і виникне електричний струм. Наявність вільних електронів пояснюють існування спільних для всіх металів властивостей (пластичність, непрозорість, блиск, високі електро- і теплопровідність), а їх кількість – різний ступінь „металевості” окремих металів.

Властивості металів зумовлює їх атомна будова і кристалічна структура. Залежно від будови і властивостей метали об'єднують у різні групи. За загальною і найбільш поширеною класифікацією метали поділяють на дві групи: чорні і кольорові.

Чорні метали загалом мають темно-сірий колір, більш високі температури плавлення, значну твердість і щільність, здатні до поліморфних перетворень (крім Ni). Серед них розрізняють залізні - Fe, Co, Ni, Mn; тугоплавкі – температура плавлення яких вища за температуру плавлення заліза (понад 1539°C) - W, Mo, Re, Nb, Ti, V, Cr; уранові – актиніди; рідкісноземельні (РЗМ) - La, Ce, Nd, Pr та ін. У техніці використовується понад 90% чорних металів.

До **кольорових** відносять решту металів. Характерним для них є забарвлення (червоне, жовте, біле), висока пластичність, низька твердість, відносно низька температура плавлення, відсутність поліморфізму. Типовим представником групи кольорових металів є мідь і сплави на її основі (бронза, латунь). Серед кольорових металів розрізняють легкі - Be, Mg, Al; благородні - Ag, Au, Pt та метали платинової групи - Pd, Ir, Os, Ru, Rh; „напівблагородні” - Cu; легкоплавкі - Zn, Cd, Hg, Sn, Pb, Bi, Tl, Sb, а також елементи з послабленими металевими властивостями - Ga, Ge.

Кольорові метали додають до складу легуваних сталей і сплавів для поліпшення їхньої структури та властивостей, а також використовують для виготовлення різноманітних виробів.

1.2. АТОМНО-КРИСТАЛІЧНА СТРУКТУРА МЕТАЛІВ.

Під атомно-кристалічною структурою розуміють взаємне розташування атомів (іонів) у реальному кристалі. Залежно від будови (розташування атомів) тверді тіла поділяють на *аморфні і кристалічні*. *Аморфні* характеризуються хаотичним розташуванням атомів. Тому, зберігаючи постійну форму, вони не мають певних (критичних) температур плавлення та кристалізації. Залежно від зовнішніх умов їхні властивості змінюються поступово. Аморфний стан металів реалізується за умов інтенсивного охолодження під час кристалізації.

За звичайних умов тверднення метали у твердому стані мають кристалічну будову. Для кристалічного стану характерно, перш за все, певне закономірне розташування атомів у просторі. Кожен атом (іон) у кристалі оточений певною кількістю найближчих атомів, розташованих на однаковій відстані від нього.

Розташування атомів у кристалі зручно зображувати у вигляді просторових схем – *елементарних кристалічних комірок*. Під цим розуміється найменший комплекс атомів, що дозволяє відтворити при багатократному повторенні просторову кристалічну ґратку (рис. 1.1).

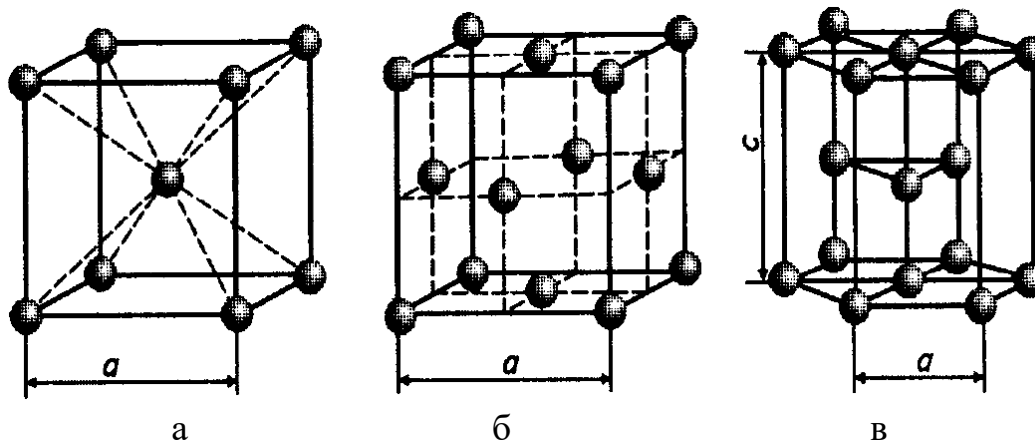


Рис. 1.1. Елементарні кристалічні комірки металів: а - об'ємноцентрована кубічна (ОЦК); б – гранецентрована кубічна (ГЦК); в – гексагональна щільного пакування (ГЦП)

Просторове розташування атомів у кристалічному тілі залежить від природи металу, характеру міжатомних зв'язків, температури, тиску.

Серед промислових металів найпоширенішим є утворення трьох основних типів кристалічних ґраток:

- *об'ємноцентровану кубічну ґратку* (елементарна комірка має 9 атомів) мають К, Na, Li, Та, W, V, Cr, Nb, Ва, Fe_α, Ti_β та інші метали;

- *гранецентровану кубічну ґратку* (елементарна комірка має 14 атомів) мають Ag, Au, Pt, Pd, Ir, Cu, Са_α та ін.;

- *гексагональну ґратку* щільного пакування (елементарна комірка має 17 атомів) мають Mg, Cd, Re, Os, Ru, Zn, Be, Ti_α, Са_β та інші метали.

Залежно від температури та тиску деякі метали можуть змінювати будову (тип) кристалічної ґратки, тобто існувати у різних кристалічних формах – *поліморфних модифікаціях*. Поліморфну модифікацію, стійку при найнижчій температурі, позначають літерою α, при більш високій – β, далі –γ тощо. Перехід від однієї модифікації до іншої називають *поліморфним перетворенням*. Кожна з модифікацій має свій температурний інтервал існування. За умов рівноваги

поліморфне перетворення відбувається при постійній температурі і супроводжується виділенням тепла, якщо перетворення йде при охолодженні, або поглинанням тепла – в разі нагрівання.

Алотропія – це існування хімічних елементів у вигляді двох чи більш простих речовин (наприклад: кисень O_2 – озон O_3).

Поліморфізм – здатність одного й того ж матеріалу мати різну кристалічну будову. Кожен зі станів називається *поліморфна модифікація*. Позначають поліморфні модифікації – α , β , γ , δ ... із збільшенням температури. Різниця в будові поліморфних модифікацій матеріалу зумовлює різницю їх властивостей. Поліморфізм має велика кількість матеріалів: кварц, вуглець (алмаз), залізо, титан тощо. Поліморфна модифікація стійка в області визначених температур і тиску, поза якими вона стає нестійкою і потерпає перетворення, що називається *поліморфним*.

Відомі поліморфні перетворення для таких металів:

$Fe_{\alpha} \leftrightarrow Fe_{\gamma} \leftrightarrow Fe_{\beta}$; $Sn_{\alpha} \leftrightarrow Sn_{\beta}$; $Mn_{\alpha} \leftrightarrow Mn_{\beta} \leftrightarrow Mn_{\gamma} \leftrightarrow Mn_{\delta}$; Ca, Li, Na, Cs, Zn, Sn, РЗМ - металів тощо.

Внаслідок поліморфного перетворення утворюються нові кристалічні зерна іншої форми та розміру. Тому таке перетворення називають *перекристалізацією*. При цьому властивості металів і сплавів змінюються стрибкоподібно.

Для однозначної характеристики речовин з врахуванням його можливих поліморфних модифікацій необхідно описувати особливості його атомної (молекулярної) будови. Таку можливість дає використання поняття – фаза.

Фаза – термодинамічний рівноважний стан матеріалу (речовини), який характеризується агрегатним станом, атомним складом і будовою, і відділений границями від інших станів (фаз) того ж матеріалу.

Кожен матеріал складається з однієї чи більше фаз (твердих, рідких чи газових) і однозначно характеризується фазовим складом, що утворюється внаслідок зміни енергії системи за різних обставин. Зміни в фазовому складі матеріалу викликаються фазовими перетвореннями.

Фазове перетворення (перехід) – перетворення матеріалу з однієї фази в іншу при зміні зовнішніх умов температури, тиску, магнітних чи електричних полів та інш. Причому значення фізичної величини при якому відбувається фазовий перехід, називають точкою фазового перетворення (переходу).

Фазові перетворення розглядаються по характеру їх протікання як перетворення *першого і другого роду*.

Фазові перетворення першого роду – при яких деякі фізичні величини (щільність) чи термодинамічні характеристики змінюються стрибком, і при цьому виділяється чи поглинається теплота фазового перетворення. До цього виду перетворень відносять випарювання – конденсацію, плавлення – затвердіння, сублімація – конденсація в тверду фазу, та деякі структурні переходи в твердих тілах.

Фазові перетворення другого роду – при яких щільність, ентропія та термодинамічні потенціали не змінюються стрибкоподібно, а теплоємність розширення фаз змінюються стрибком. До фазових перетворень другого роду відносять: перетворення парамагнетик – феромагнетик, перехід в надпровідниковий стан, поляризація речовини, при цьому теплота не виділяється.

1.2.1. Характеристика фазових перетворень.

Дамо характеристику основних фазових перетворень.

Рідкий ↔ газовий стан:

Фазове перетворення рідкого стану в газовий (*пароутворення*) і зворотне (*конденсація*) відбуваються при певній температурі і сильно залежать від тиску при $t_{кип}$. Рідина може переходити в газовий стан при температурі нижчій за кипіння. Такий процес називають *випарювання*.

Твердий ↔ рідкий стан:

Процес переходу з твердого (кристалічного) до рідкого стану називають *плавленням*, а зворотній процес – *кристалізацією*. Тверді речовини утворюються з рідких чи газових по мірі зниження температури шляхом зближення атомів (молекул) і їх групування в кристал (центр кристалізації). Швидкість

оохолодження, кількість центрів кристалізації та швидкість їх росту визначають будову твердої речовини: кристалічне, аморфне чи скловидне.

Враховуючи можливість фазових перетворень кристалічних речовин в твердому стані розрізняють первинну і вторинну кристалізацію.

Перехід з рідкого стану до твердого із затвердінням є *первинна кристалізація*. Вона відбувається при температурі t_{nl} що залежить від тиску. Процес плавлення – затвердіння супроводжується, відповідно, поглинанням чи виділенням теплоти.

Перетворення в будові матеріалу, що відбувається в його твердому стані називають *вторинною кристалізацією* або *перекристалізацією*. Така кристалізація можлива у поліморфних матеріалів, при зміні фазового складу сплавів внаслідок зміни розчинності компонентів, при термічній обробці сплавів.

Фазові перетворення аморфних речовин:

Характеризуються відсутністю точки плавлення. При збільшенні температури матеріали розм'якшуються, переходять до високо еластичного, а далі не до рідкого, а до в'язкотекучого стану, який характеризує плавлення матеріалу. Наприклад скло при певному температурному інтервалі плавиться, а при подальшому нагріванні стає крихким.

1.2.2. Формування будови металів. Кристалізація.

Первинна кристалізація починається при досягненні деякої граничної температури, яка характеризує переохолодження рідини чи насичення пару, тоді практично миттєво виникає значна кількість центрів кристалізації. З часом ці центри зростають, приєднуючи до себе інші атоми чи молекули рідини, утворюючи полікристали чи зерна. (рис. 1.2).

При подальшому зниженні температури, кількість утворених центрів кристалізації зменшується, швидкість зростання полікристалів знижується, тому при кристалізації можуть утворюватися різні форми і структури кристалів (багатогранні, пластинчаті, голчасті, дендритні та ін.). Швидкість процесу первинної кристалізації і характер формування структури матеріалу значно

залежить від швидкості охолодження і кількості центрів кристалізації, що виникають в одиницю часу в одиниці об'єму. Тому чим більше швидкість охолодження, утворення центрів кристалізації та менше швидкість їх зростання тим менше розміри зерна, тобто більш дрібнозерниста структура.

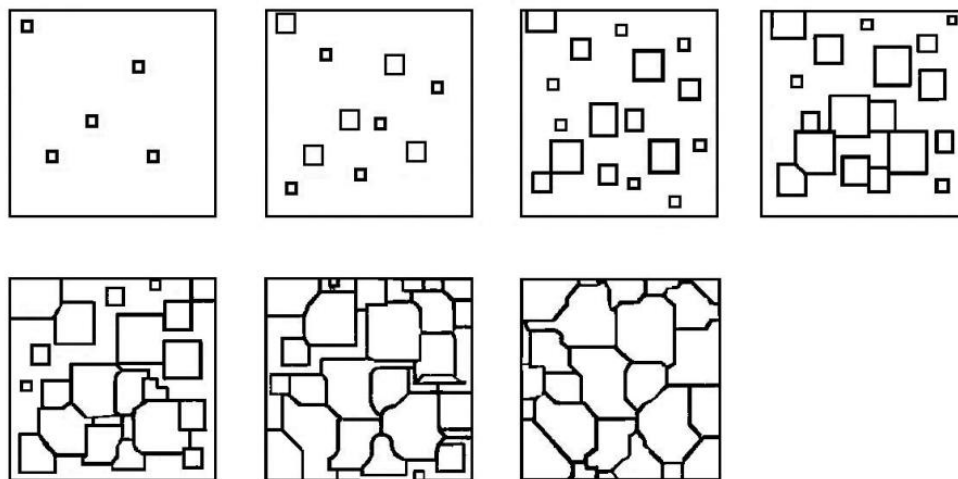


Рис. 1.2. Схема формування структури при кристалізації.

Джерелом утворення центрів кристалізації можуть бути різні тверді частки, що є в рідині (домішки). Вони, практично не змінюючи хімічного складу, можуть служити центрами кристалізації й призводити до утворення дрібного зерна. В металургійних процесах штучно вводять в розплав тверді домішки, щоб отримати максимальне число зародків зерен і дрібнозернисту структуру, що забезпечує гарні фізико-механічні характеристики матеріалу.

В твердому стані металеві матеріали являють собою полікристалічну речовину, що складається з значного числа по-різному орієнтованих по відношенню один до одного кристалітів (зерен), розміри, форма і взаємне розташування яких формується при охолодженні в процесі кристалізації.

В процесі кристалізації неминуче виникають різні дефекти будови. Ці дефекти впливають на форму та розташування зерен в матеріалі призводячи до анізотропії будови твердих матеріалів.

Вторинна кристалізація відбувається шляхом дифузії атомів, поглинання зерен структури новоутвореними будовами, зсувами часток кристалів внаслідок різких термодинамічних процесів тощо. Ріст зародків нової фази відбувається

невпорядкованим переходом атомів шляхом дифузії через границю розділу фаз до новоутвореної фази. Якщо між вихідною і новою фазами існує структурна відповідність (когерентність), то нова фаза розміщується між вихідною у вигляді внутрішніх утворень (пластинок, голок). Якщо нова фаза по складу чи будові суттєво відрізняється від вихідної, то ця фаза є нестійкою і може бути проміжною (метастабільною), тобто може змінюватись при певних умовах і переходити до стабільного стану.

Вторинна кристалізація може відбуватися не тільки за рахунок дифузії атомів, але й шляхом впорядкованого переміщення (зсуву) атомів, молекул чи окремих частин кристалів при різкому переохолодженні високотемпературних модифікацій на відстані малі в порівнянні з міжатомними. Таке перетворення називають *мартенситним*, а утворену структуру – *мартенсит*. Мартенситне перетворення в сплавах відбувається без зміни концентрації фаз. З цим перетворенням пов'язані такі явища як гартування, "ефект пам'яті форми" тощо.

Швидкість процесу вторинної кристалізації і характер утворення структури матеріалу при різних умовах підпорядковується тим же закономірностям, що й при первинній кристалізації.

1.2.3. Основні параметри кристалічних ґраток:

1. *Елементарна комірка* – це найменша кількість (комплекс) атомів, яка при багаторазовому повторенні у просторі дозволяє побудувати просторову кристалічну ґратку певної системи.

2. *Відрізки* дорівнюють відстаням до найближчих атомів (іонів) по координатних осях у тривимірному просторі, позначають їх літерами a , b , c .

3. *Кути* між цими відрізками позначають α , β , γ . Співвідношення відрізків і кутів визначає форму комірки.

4. *Період* або параметр ґратки дорівнює довжині ребра комірки у напрямі головних осей кристалічної ґратки. Параметри ґратки вимірюють у нанометрах (нм), ангстремах (Å).

5. *Координаційне число* (K) характеризує щільність пакування гратки, визначає кількість найближчих і рівновіддалених атомів у певній кристалічній гратці. Координаційне число простої кубічної гратки позначають K_6 (літера вказує на тип гратки, цифра – на кількість атомів), об’ємноцентрованої кубічної – K_8 ; гранецентрованої кубічної – K_{12} ; гексагональної щільного пакування - Γ_{12} ; гексагональної – Γ_6 .

6. *Базис* – це кількість атомів (іонів), що належать до однієї комірки.

7. *Атомний радіус* – половина відстані між центрами найближчих атомів у кристалічній гратці певної кристалічної системи.

8. *Коефіцієнт компактності* – це відношення об’єму, що займають атоми (іони), до всього об’єму комірки даного типу.

Для характеристики просторової орієнтації кристалічної гратки використовують також індекси площин та напрямків (рис. 1.3). Площини позначають у круглих дужках, наприклад (100) . Сукупності аналогічних площин позначають цифрами у фігурних дужках, наприклад $\{100\}$. При позначенні напрямків використовують прямокутні дужки, наприклад $[100]$.

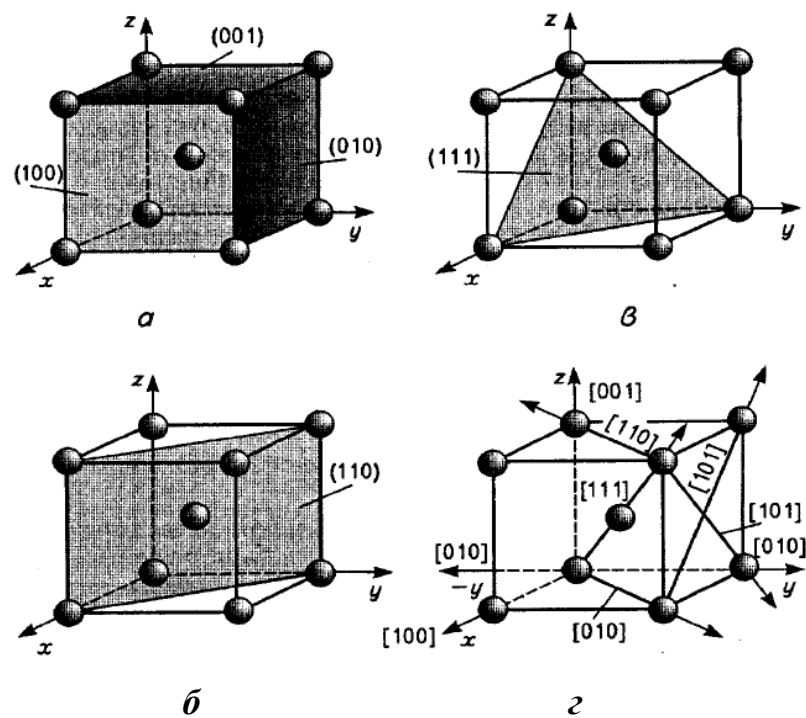


Рис. 1.3. Індеси кристалографічних площин (а-в) і напрямків (г) в об’ємноцентрованій кубічній гратці (ОЦК)

Із спостережень за розташуванням атомів у різних площинах кристалічної ґратки видно, що насиченість цих площин атомами неоднакова. Також різні й відстані між атомами та сили міжатомного зв'язку. Так, в ОЦК-ґратці площині (100) належить лише один атом $[(1/4) \times 4]$, площині (110) – два: один вносять атоми, що знаходяться у вершинах $[(1/4) \times 4]$, і один – атом у центрі куба. У ГЦК-ґратці найщільніше атоми розташовуються у площині (111), а в ОЦК-ґратці – у площині (110).

Це зумовлює різний рівень фізико-механічних властивостей окремих кристалів (монокристалів) у різних площинах і напрямках кристалічної ґратки – так звану *анізотропію*.

Це характерна особливість кристалічного тіла на відміну від аморфних з неупорядкованою насиченістю атомами у різних напрямках, тобто ізотропних.

Реальні технічні метали є полікристалами, тобто складаються зі значної кількості по-різному орієнтованих у просторі анізотропних кристалів (зерен). Тому властивості таких полікристалів у всіх напрямках усереднюються і практично не відрізняються. Проте такі технологічні операції, як кування, прокатування, штампування, можуть створювати певну переважну орієнтацію зерен і призвести до анізотропії полікристалічного металу.

1.3. ДЕФЕКТИ КРИСТАЛІЧНОЇ БУДОВИ МЕТАЛІВ.

Реальні полікристалічні метали завжди мають недосконалості (дефекти) кристалічної будови. Характер і ступінь порушення досконалості кристалічної будови значною мірою визначають властивості металів. недосконалості будови кристалічної ґратки за геометричними ознаками поділяють на:

- *точкові* (нульвимірні);
- *лінійні* (одновимірні);
- *поверхневі* (двовимірні).

До точкових дефектів (невеликі розміри у трьох вимірах) відносять вакансії, міжвузлові та домішкові атоми.

Вакансія – це вузли кристалічної ґратки, в яких атоми відсутні (рис. 1.4, б). На вільне місце у ґратці може переміщуватись інший атом, лишаючи нове вакантне місце. Це сприяє дифузії та самодифузії металу. Кількість вакансій за кімнатної температури незначна (приблизно одна вакансія на 10^{18} атомів), але дуже зростає при підвищенні температури. Так, при температурі, що майже дорівнює температурі плавлення, одна вакансія припадає вже на 10^4 атомів металу.

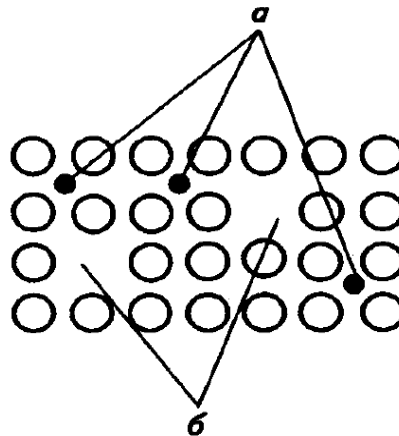


Рис. 1.4. Точкові дефекти у кристалічній ґратці: а – міжвузлові атоми; б – вакансії

Міжвузлові атоми – це атоми, що вийшли з вузла кристалічної ґратки і зайняли місце у міжвузлях (рис. 1.4, а).

Домішкові атоми – це атоми іншого елемента, які розташовуються у вузлах або міжвузлях кристалічної ґратки металу (сплаву).

Точковий дефект розглядають як центр стиснення або розширення у пружному середовищі, що зумовлює викривлення біля нього кристалічної ґратки. Точкові дефекти можуть взаємодіяти між собою, утворюючи пари або комплекси різних недосконалостей.

До *лінійних дефектів* відносять такі, що мають невеликі розміри у двох вимірах і значну протяжність у третьому. Це може бути низка вакансій або міжвузлових атомів. Особливим і найважливішим видом лінійної недосконалості є крайові і гвинтові дислокації (рис. 1.5).

Крайова дислокація – це локалізоване викривлення кристалічної ґратки внаслідок присутності в ній «зайвої» напівплощини (екстра-площини). Край цієї

площини утворює дефект ґратки – лінійну (крайову) дислокацію, біля якої виникають пружні викривлення ґратки і відбувається зміщення атомів відносно їх нормальних положень при невеликому дотичному напруженні. У цьому випадку екстраплощина шляхом незначного зміщення перейде у повну площину кристалу, а функції екстраплощини будуть передані сусідній площині. Якщо екстраплощина знаходиться у верхній частині кристала, то дислокацію називають *позитивною* і позначають \perp , а якщо у нижній – то негативною і позначають Υ . Ця відмінність між ними дуже умовна, і якщо перевертати кристал, то позитивна дислокація змінюється на негативну і навпаки. Дислокації однакового знаку відштовхуються, а різного – притягуються.

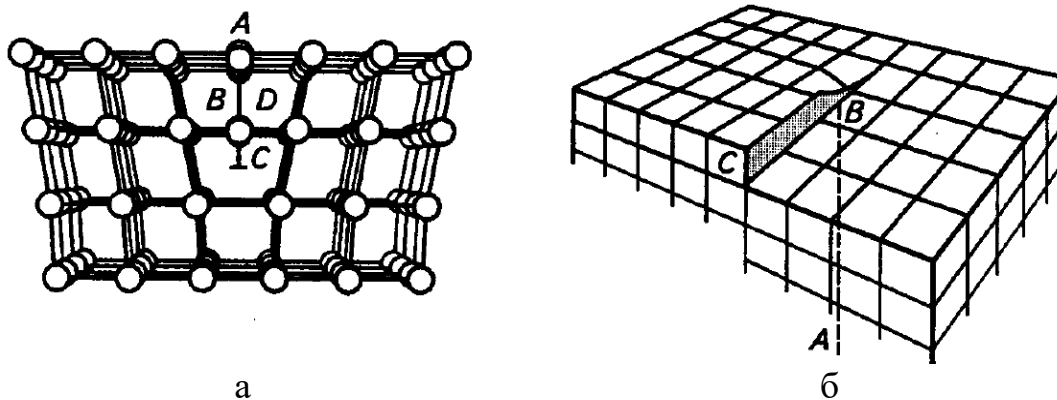


Рис. 1.5. Схеми крайової (а) та гвинтової (б) дислокацій у кристалічній ґратці металу

Порушення порядку розташування атомів може призвести до утворення іншого виду дефекту – гвинтової дислокації. У цьому випадку кристал можна уявити як такий, що складається з однієї атомної площини, закрученої у вигляді гвинтової поверхні (рис. 1.5, б). На відміну від крайової гвинтова дислокація паралельна до вектору зсуву. Розрізняють: *правосторонні* (за рухом годинникової стрілки) і *лівосторонні* (проти руху годинника) гвинтові дислокації.

Навколо дислокації утворюється викривлення кристалічної ґратки. Енергію викривлення ґратки характеризує так званий вектор Бюргера, з величиною якого пов'язують здатність дислокації до переміщення.

Реальний металевий кристал містить не лише атомнокристалічні дефекти (вакансії, дислокації), а й структурні недосконалості (блоки, фрагменти, субзерна).

Поверхневі дефекти незначні за розмірами лише в одному вимірюванні – це поверхні розділу між окремими зернами або субзернами у полікристалічному металі. Полікристал складається з великої кількості зерен, кристалічні ґратки яких роз орієнтовані (за кристалографічними напрямками) на кути до кількох десятків градусів. Тому границі між зернами називають *великокутовими*. Кожне зерно складається з окремих фрагментів – субзерен, роз орієнтованих один від одного на один або кілька градусів. Границі між ними називають *малюкутовими*.

До об'ємних дефектів відносять скупчення точкових дефектів, що утворюють пори, а також вкраплення іншої фази.

1.4. ВЛАСТИВОСТІ МАТЕРІАЛІВ.

Властивості матеріалів в основному поділяються на фізичні, механічні, хімічні, технологічні та експлуатаційні (спеціальні). Властивості металів і сплавів залежать від їх складу та стану. Домішки, які є в металу або в сплаві, значно змінюють його властивості.

До *фізичних властивостей* відносять: теплові властивості (теплоємність, теплопровідність, температуру плавлення, теплове розширення), електричну провідність, магнітну проникність, густину, колір тощо.

Під *механічними властивостями* розуміють здатність металу чинити опір дії зовнішніх сил. При виборі матеріалу для виготовлення деталей машин необхідно перш за все враховувати його механічні властивості: міцність, пружність, жорсткість, пластичність, ударну в'язкість, твердість та витривалість та інші.

До *хімічних властивостей* відноситься хімічна стійкість проти дії зовнішнього середовища (кислот, лугів, прісної та морської води, вологого повітря, газів, високої температури тощо). Не всі метали однаково стійкі проти корозії. Так, свинець дуже стійкий проти дії деяких кислот та лугів, а залізо і мідь такими властивостями не володіють. Золото і платина мають високу хімічну стійкість у

воді, а залізо, мідь, магній у воді руйнуються. Для досягнення високої хімічної стійкості металічних деталей машин виробляють спеціальні нержавіючі кислотостійкі сталі, а також виконують різні захисні покриття.

Технологічні властивості характеризують здатність металу піддаватись різним методам обробки – різанню (точіння, фрезерування, шліфування та інші), обробці тиском (прокатування, штампування, пресування, волочіння, кування), зварюванню, литтю (рідко текучість, усадка).

Експлуатаційні властивості визначають залежно від умов роботи спеціальними випробуваннями. Однією з найважливіших експлуатаційних властивостей є зносостійкість. Зносостійкість – властивість матеріалу чинити опір зносу, тобто поступовому зменшенню розмірів і зміні форми тіла внаслідок руйнування поверхневого шару виробу при терті. Випробування металів на знос проводять у лабораторних і експлуатаційних умовах шляхом вимірювання розмірів, зважування зразків та іншими методами. До експлуатаційних властивостей належать також холодостійкість, жароміцність, антифрикційність, поведінка металів при підвищених її знижених температурах і тиску. Крім того, це властивості, яких метали і сплави звичайно не мають, але набувають їх введенням спеціальних домішок при виплавці.

1.5. ОСНОВНІ МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МАТЕРІАЛІВ ТА ЇХНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ.

Міцність матеріалів – це їх здатність витримувати навантаження, не руйнуючись.

Пружність – це здатність матеріалів повністю відновлювати свою форму і розміри після усунення причин, що спричинили деформацію.

Характеристики міцності, пружності, так само як і характеристики жорсткості визначають експериментально при розтягуванні зразка (рис. 1.6) круглого поперечного перерізу з робочою частиною завдовжки l_0 , площею перерізу S_0 і двома головками 2 для закріплення в захватах 3.

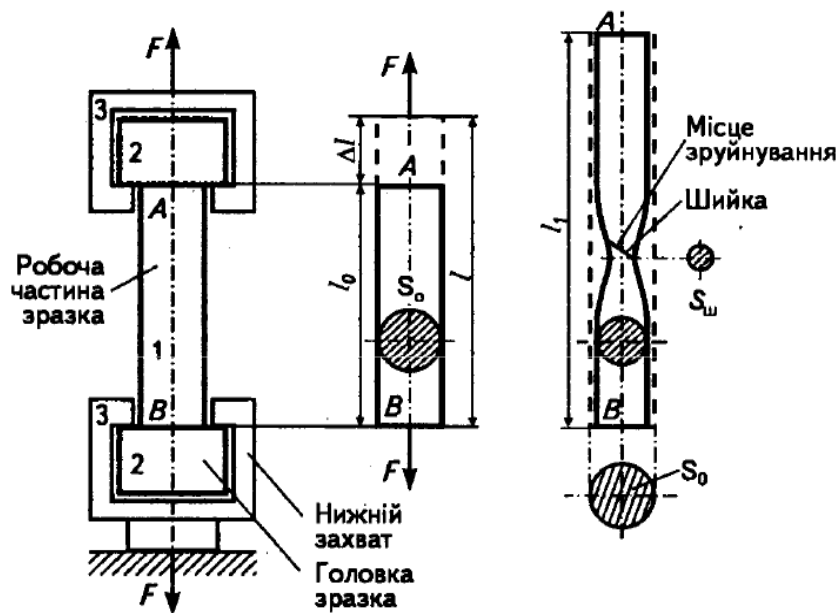


Рис. 1.6. Схема навантаження зразка (а): 1 – $AB=l_0$ – робоча частина зразка до навантаження; 2 – головки; 3 – захвати; поточне деформування (б) та робоча частина зразка після зруйнування (в): l_1 – довжина робочої частини AB після зруйнування

Для цього навантаження (силу F) поступово збільшують, а видовження Δl заміряють і будують діаграму в координатах $F - \Delta l$. Вона характеризує властивості зразка з розмірами: l_0 – довжина і S_0 – площа поперечного перерізу (рис. 1.7, а). Для того, щоб мати характеристики матеріалу, незалежні від розмірів зразка чи деталі, діаграму $F - \Delta l$ перебудовують у діаграму $\sigma - \varepsilon$, поділивши F на S ($F/S=\sigma$), а Δl на l ($\Delta l/l=\varepsilon$). При цьому змінюється лише масштаб діаграми, і характеризує вона властивості матеріалу. Таку діаграму для мало вуглецевої сталі показано на рис. 1.7, б. На цій діаграмі є декілька характерних ділянок: 0-1 – ділянка пропорційності, тобто ділянка, в межах якої при навантаженні виконується закон Гука.

Він виконується до певної границі – *границі пропорційності*:

$$\sigma_{nc} = \frac{F_{nc}}{S},$$

- це найбільше напруження, при якому ще виконується закон Гука.

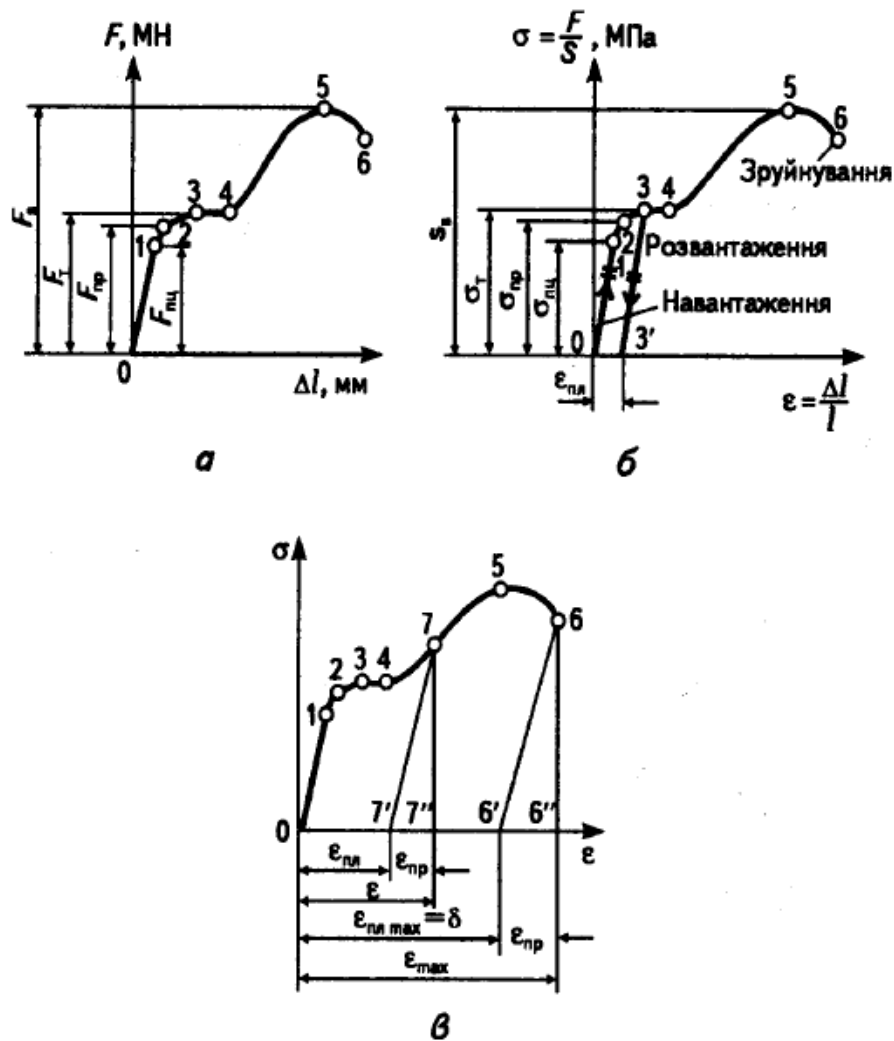


Рис. 1.7. Діаграми розтягу: а – сила F – абсолютне видовження Δl ; б і в – відповідно напруження σ та відносне подовження ε

При подальшому навантаженні – до точки 2 ($F=F_{np}$) закон Гука вже не виконується, але деформації ще пружні. Напруження, що відповідає навантаженню F_{np} (точка 2), називається *границею пружності*:

$$\sigma_{np} = F_{np} / S,$$

- це найбільше напруження, при якому ще не виникають залишкові (пластичні) деформації (тобто розвантаження відбувається тим самим шляхом 2 – 0, що і навантаження 0 – 2), тому 0 – 2 – це *ділянка пружності*.

3 – 4 – ділянка („майданчик”) текучості. Матеріал „тече” – це значить, що деформація збільшується при незмінному навантаженні F_m , а відтак при постійному напруженні σ_m , що називається *границею текучості*:

$$\sigma_m = F_m / S,$$

- це напруження, при якому деформація збільшується за постійного навантаження F (а відтак за постійного напруження σ_m).

4 – 5 – ділянка зміцнення, тобто для подальшого зростання деформації потрібно збільшення напруження до точки 5, яка відповідає найбільшому можливому в даному матеріалі напруженню, тобто *границі міцності* σ_v . Отже,

$$\sigma_v = F_v / S,$$

- це найбільше напруження, яке може витримати даний матеріал, або таке напруження, що відповідає найбільшому навантаженню F_v до зруйнування.

5–6 – ділянка знеміцнення. Вона закінчується зруйнуванням зразка у точці 6.

Отже, по осі ординат σ діаграми $\sigma - \epsilon$ можна визначити характеристики трьох властивостей матеріалу: *міцності* – σ_v ; *пружності* – $\sigma_{пр}$; *пропорційності* – $\sigma_{пл}$, а також *границю текучості* – σ_m .

Пластичність – це здатність матеріалів зберігати набуті при деформуванні форму й розміри після усунення причин, що спричинили деформацію. Пластичність матеріалу характеризує δ – *відносне залишкове видовження* після руйнування:

$$\delta = \frac{l_k - l_o}{l_o} \cdot 100\%$$

де l_o – початкова довжина зразка; l_k – довжина після зруйнування.

При навантаженні (розтягуванні) зразка (див. рис. 1.7.) змінюється не лише довжина l , але й поперечні розміри, тобто зменшується площа поперечного перерізу S : до точки 5 (див. рис. 1.7, б) зменшується рівномірно по всій довжині зразка і тоншає. В точці 5 діаграми $\sigma - \epsilon$ починає утворюватися „шийка” – місцеве потоншення, звуження поперечного перерізу. Саме в шийці, тобто при досягненні точки 6 діаграми $\sigma - \epsilon$, відбувається руйнування.

Якщо абсолютне зменшення площі перерізу зразка після зруйнування позначити через ΔS , а відносне $\Delta S/S_0$ – через Ψ , то

$$\Delta S/S_0 \cdot 100\% = (S_0 - S_{ш})/S_0 \cdot 100\% = \Psi,$$

де S_0 – площа перерізу до навантаження; $S_{ш}$ – площа перерізу шийки після руйнування.

Відносне залишкове зменшення площі перерізу після руйнування Ψ – це друга характеристика пластичності.

Матеріали, значення δ та Ψ у яких великі, називаються *пластичними* (золото, свинець, мідь). Навпаки, матеріали, значення δ та Ψ у яких незначні (наприклад, сірі чавуни), називають *крихкими*.

Еластичність – здатність матеріалу потерпати значні зміни розмірів і форми без руйнування при досить слабких діючих силах.

Пружність – це здатність деформованого матеріалу відновлювати первісну форму, розміри після припинення дії зовнішнього навантаження. Обумовлена пружність взаємодією між атомами (молекулами матеріалу та їх тепловим рухом. Характеризується пружність матеріалу показниками:

- *модулем поздовжньої пружності E* (Модуль Юнга), який ще визначає жорсткість матеріалу і характеризує опір матеріалу пружній деформації;

- *модулем зсуву G* – характеристикою зсуву кристалографічних площин твердих тіл при появі дотичних напружень;

- *коефіцієнтом Пуассона μ* – відношення зміни поперечного перерізу до зміни довжини зразка.

Жорсткість – здатність матеріалу до найменших змін розмірів і форми при заданому значенні та типі навантаження.

В'язкість (внутрішнє тертя) – здатність матеріалів опиратися внутрішнім змінам при зовнішньому впливі.

Ударна в'язкість – здатність матеріалу поглинати механічну енергію в процесі деформації або руйнування при динамічних навантаженнях. Зазвичай оцінюється роботою до руйнування надрізаного зразка при ударному згинанні, віднесеній до площі перерізу при надрізі. навантаження.

1.6. ТВЕРДІСТЬ ТА МЕТОДИ ЇЇ ВИЗНАЧЕННЯ.

Твердість – це властивість матеріалів чинити опір проникненню в них загострених, більш твердих тіл – інденторів (англ. *Indent* – зазубрена, виїм).

Методів визначення твердості чимало: дряпанням, динамічні, статичні. Найбільш поширені статичні – вдавлюванням індентора в поверхневі шари випробуваного матеріалу. *Індентор* – кулька, конус або пірамідка – виготовляються з алмазу, загартованої сталі або з твердого сплаву.

Метод Брінелля. Число твердості – НВ, індентор – сталева кулька діаметром D , що дорівнює 10; 5 або 2,5 мм, вдавлюється навантаженням F (Н). За допомогою спеціального міроскопа вимірюється діаметр d відбитка (мм), а відтак визначається число твердості НВ (рис. 1.8, а):

$$HB = F/S,$$

де S – площа поверхні відбитка (мм²), тобто сферичного сегмента $S = \pi D/2 \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})$.

Для того, щоб при випробуванні кульками різних діаметрів одержувати однакові числа твердості, діаметр D і навантаження F слід вибирати за табл. 1.1.

Метод Брінелля дає надійні результати в межах 80...4500 НВ.

Значення HB для деяких матеріалів: свинець (30...80), золото (130...250), залізо (500...800), сталі (1500...3000), загартовані сталі (6000...7000).

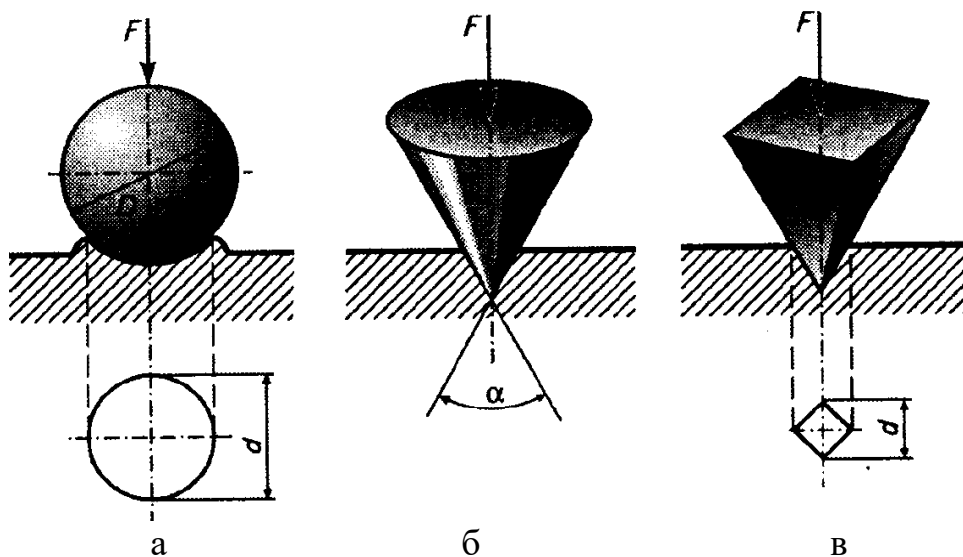


Рис. 1.8. Визначення твердості: а – за Брінеллем; б – за Роквеллом; в – за Віккерсом

Таблиця 1.1.

Матеріал	Твердість НВ, МПа	Товщина зразка, мм	Діаметр Кульки, мм	Наванта- ження, Н	Тривалість наванта- ження, с
Чорні метали	1400...4500	>6	10	3000	10
	1400...4500	6...3	5	7500	10
	1400...4500	<3	2,5	1875	10
	< 1400	>6	10	1000	10
	< 1400	6...3	5	2500	10
	< 1400	<3	2,5	625	10
Кольорові метали	300...1300	>6	10	1000	30
	300...1300	6...3	5	2500	30
	300...1300	<3	2,5	625	30
	80...300	>6	10	2500	60
	80...300	6...3	5	625	60
	80...300	<3	2,5	156	60

Метод Роквелла. Число твердості – HR, індентор – алмазний конус (рис. 1.8, б) або загартована сталева кулька $D=1,59$ мм. Навантаження F на індентор складається з двох частин:

$$F = F_0 + F_1,$$

де $F_0 = 0,1$ кН – попереднє навантаження;

$F_1 = 0,5; 0,9$ або $1,4$ кН – основне навантаження.

Отже, сумарне, або загальне, навантаження F може бути: $0,6; 1,0$ або $1,5$ кН.

Число твердості, за Роквеллом, пов'язане з глибиною проникнення індентора й автоматично визначається твердоміром за допомогою індикатора, що має три „шкали Роквелла” **A, B, C**, а відтак – три можливі числа твердості HRA, HRB, HRC. Причому шкали **A** і **C** – чорного кольору, **B** – червоного (табл. 1.2).

Таблиця 1.2

Матеріали	Навантаження F , кН	Індикатор	Колір шкали	Число твердості	Твердість
Дуже тверді	6	Конус	Чорна	HRA	70
М'які та середні	10	Кулька	Червона	HRB	До 100
Середні та тверді	15	Конус	Чорна	HRC	20...70

HR не має розмірності, вимірюється в межах твердості 20...100 HR, наприклад для загартованих сталей 60...70 HR.

Метод Віккерса. Число твердості – HV, індентор – алмазна чотиригранна піраміда (рис. 1.8, в). Величина навантаження дорівнює 10; 30; 50; 100; 200; 300; 500; 1000 та 1200 Н (частіше 100 Н). Тривалість навантаження для чорних металів становить 10...15 с, для кольорових – 30 с. При відомому навантаженні F вимірюється (за допомогою вмонтованого у прес мікроскопа) діагональ відбитка d (рис. 1.7, в) і визначається число твердості HV (S - площа поверхні відбитка):

$$HV = F/S = 18,54F/d^2.$$

Методом Віккерса можна визначати твердість будь-яких матеріалів – від найм'якших і до алмаза (практично до 9 000 МПа).

Між значеннями твердості, виміряними різними методами, існує відповідна кореляція, яку подають у вигляді таблиць, номограм тощо.

Числа твердості за Брінеллем і Віккерсом практично співпадають до 4 000 МПа, тобто $HB = HV$.

При визначенні твердості дуже тонких стрічок, фольг, дроту малих діаметрів, тонких деформованих шарів, гальванічного покриття, напилення, тобто при визначенні мікротвердості, теж застосовується вдавлення алмазної пірамідки з кутом при вершині $\alpha = 136^\circ$ при навантаженні, що може становити 0,05...50 Н. Випробування проводять на приладі ПМТ-3.

Метод Мооса – десятибальна шкала для визначення твердості мінералів. Визначається твердість дряпанням (алмазним або твердосплавним наконечником) і характеризується кількістю балів НМ (від 1 до 10):

Тальк – 1; гіпс – 2; кальцит – 3; флюорит – 4; апатит – 5; ортоклаз – 6; кварц – 7; топаз – 8; корунд, сапфір – 9; алмаз – 10.

Між твердістю та міцністю (границею міцності σ_e) є досить стійка кореляція (співвідношення або взаємний зв'язок), а саме: $\sigma_e = kHV$.

Для широкого класу матеріалів (при руйнуванні яких утворюється шийка) $k = 0,25...0,55$, тобто $\sigma_e = 0,25...0,55HV$.

Твердість значною мірою зумовлює іншу властивість матеріалів – *зносоустійкість*, тобто здатність матеріалів чинити зношуванню. Зношування (спрацювання) – це процес зміни розмірів, форми, маси або стану поверхневих шарів матеріалу під впливом тертя та зовнішнього середовища. Зношування (спрацювання) буває: абразивне, корозійно-механічне, ерозійне тощо.

Контрольні запитання

1. Що вивчають у курсі матеріалознавства?
3. Які матеріали називають конструкційними?
4. На які види поділяються метали? Які метали називаються чорними?
5. Що таке метали, як їх класифікують?
6. Яка різниця між кристалічним і аморфним тілом?
7. Які типи кристалічних ґраток характерні для металів?
8. Які параметри характеризують кристалічну ґратку?
9. Що таке поліморфізм, алотропія металів?
10. Визначення терміну фаза.
11. Що таке фазове перетворення?
12. Механізм первинної кристалізації.
13. Чим відрізняється ідеальна та реальна будова металевих кристалів?
14. Які основні дефекти кристалічної будови металів?
15. Які з механічних властивостей найбільш важливі?
16. Які основні теплові властивості мають метали?
17. Перелічить основні механічні властивості конструкційних матеріалів.
18. Що таке напруження; в яких одиницях воно вимірюється?
19. Яка різниця між напруженням, тиском та силою? В яких одиницях вони вимірюються?
20. Яка різниця між деформуванням та деформацією? Назвіть основні види деформування та деформацій.
21. Що таке міцність матеріалу, якою характеристикою вона характеризується, в яких одиницях вимірюється?

22. Що таке пружність? Яка її характеристика? Укажіть її на діаграмі $\sigma - \varepsilon$?
23. Що таке границя пропорційності? Як вона позначається?
24. Що таке пластичність матеріалу? Якими величинами вона характеризується?
25. Яка різниця між σ та δ ?
26. Дайте визначення твердості матеріалу.
27. Яка залежність між числами твердості, визначеними різними методами?

ТЕМА 2

ТЕОРІЯ СПЛАВІВ. ДІАГРАМИ СТАНУ СПЛАВІВ.

План:

2.1. Основи теорії сплавів.

2.2. Діаграми стану сплавів.

2.3. Основні види діаграм стану двокомпонентних сплавів.

2.3.1. Діаграма стану сплавів, компоненти яких необмежено розчинні у рідкому стані та практично не розчинні у твердому.

2.3.2. Діаграма стану сплавів, які утворюють у твердому стані кристалічні тверді розчини з необмеженою взаємною розчинністю компонентів.

2.3.3. Діаграма сплавів, компоненти яких утворюють тверді розчини з обмеженою розчинністю.

2.3.4. Діаграма стану сплавів з утворенням хімічної сполуки.

2.1. ОСНОВИ ТЕОРІЇ СПЛАВІВ.

Сплав – це речовина, яку одержують поєднанням (сплавленням, спіканням, електролізом) двох або більше елементів. Структура і властивості сплавів значною мірою відрізняються від структури і властивостей елементів, що їх утворюють. Сплав, виготовлений переважно з металів, який має металеві властивості, називають *металевим сплавом*. Порівняно з чистими металами сплави мають більш цінний комплекс механічних, фізичних і технологічних властивостей. Залежно від кількості елементів (компонентів), що входять до складу розплаву, розрізняють двокомпонентні, трикомпонентні або багатоконпонентні сплави (системи). У розплаві всі компоненти сплаву знаходяться в атомарному стані, утворюючи рідкий однорідний розчин із статично однаковим хімічним складом. Під час тверднення (кристалізації) атоми компонентів розташовуються у певному порядку, утворюючи кристалічну речовину – *сплав*. При цьому існує три типи взаємодії компонентів сплаву:

- утворення механічної суміші компонентів;

- утворення хімічних сполук;
- утворення твердих розчинів.

У разі формування *механічної суміші* компонентів сплаву атоми кожного з компонентів утворюють власні кристалічні ґратки, тобто кожний елемент кристалізується самостійно. Механічну суміш, яку утворюють два компоненти, що нездатні взаєморозчинюватись або утворювати хімічну сполуку при кристалізації з рідкого стану, називають *евтектикою*. Структура сплавів такого типу (Sn – Zn, Sb – Pb) неоднорідна (гетерогенна). Слід очікувати, що властивості цих сплавів будуть усередненими, виходячи з рівня властивостей компонентів та їхнього кількісного вмісту у сплаві.

Утворення *хімічної сполуки* при кристалізації зумовлено здатністю різнорідних атомів (які значною мірою відрізняються за будовою та властивостями) об'єднуватись у певній пропорції, утворюючи новий тип кристалічної ґратки, що відрізняється від ґраток компонентів сплаву. При цьому утворюється речовина з новими властивостями, для якій характерно: чітке співвідношення кількості атомів елементів, що її утворюють A_nB_m (наприклад, Fe_3C , Fe_2O_3); наявність власного типу кристалічної ґратки; певна (постійна) температура плавлення; суттєва відмінність у властивостях порівняно з вихідними елементами; стрибкоподібна зміна властивостей при зміні хімічного складу.

Якщо при переході сплаву з рідкого стану в твердий зберігається однорідність і розчинність елементів, що його утворюють, такий сплав називають *твердим розчином*. При утворенні твердого розчину один з елементів зберігає власну кристалічну ґратку (розчинник), а інший у вигляді окремих атомів розподіляється у його кристалічній ґратці. Залежно від характеру їх розміщення в ґратці розчинника розрізняють тверді розчини заміщення й тверді розчини втілення. При утворенні *твердих розчинів заміщення* атоми компонента, що розчиняється, заміщують частину атомів розчинника у вузлах його кристалічної ґратки. Необмежену розчинність (здатність утворювати тверді розчини при будь-яких пропорціях компонентів) мають лише метали з кристалічною ґраткою

одного типу за умови, що параметри їхніх ґраток відрізняються не більше ніж на 8...15%.

Проте допустимі відміни в параметрах для різних пар металів різні. Взаємодію елементів у сплавах і характер структури зумовлює фізична природа елементів, тобто тип кристалічної ґратки, розташування елементів у періодичній системі Д.І.Менделєєва тощо. Дійсно, метали, розташовані поблизу один від одного у таблиці Д.І. Менделєєва, мають необмежену розчинність: Cu(29) і Ni(28); Fe(26) і Ni(28); Fe(26) і Cr(24); Fe(26) і Co(27); Co(27) і Ni(28); або розташовані в одній групі: As(33) і Sb(51); Au(79) і Ag(47); Au(79) і Cu(29) (цифри у дужках означають номер елемента).

Елементи з кристалічними ґратками різного типу, якщо їхні атоми близькі за розмірами, можуть розчинюватись один в одному обмежено. Чим більша різниця в розмірах атомів компонентів, тим менше вони розчиняються у твердому стані.

Обмежена розчинність компонентів характерна також при утворенні ними твердих розчинів впровадження, тобто таких, коли атоми розчинених компонентів розташовуються (втілюються) у міжвузельних об'ємах метала-розчинника. При цьому атоми розміщуються не в будь-якому міжвузлі, а лише в тих, де для них достатньо вільного об'єму. Ці пустоти малі за розміром, у них можуть розміститись елементи, атоми яких мають відповідні невеликі розміри (водень, азот, вуглець, бор). Вміст їх у твердому розчині втілення не перевищує 1...2 %. Тобто такі сплави є твердими розчинами з обмеженою розчинністю компонентів.

Властивості сплавів, що утворюють тверді розчини, відрізняються від властивостей елементів компонентів. Проте сплави зберігають основні властивості металів, а саме: здатність до пластичної деформації, електропровідність тощо. Відзначимо також, що на відміну від механічної суміші твердий розчин є однорідним (однофазним), складається з одного виду кристалів, має одну (певну) кристалічну ґратку; на відміну від хімічної сполуки твердий розчин існує не за строго визначеного співвідношення компонентів, а в інтервалі концентрацій.

У металознавстві чисті компоненти позначають латинськими літерами А,В,С, а тверді розчини – грецькими літерами α , β , γ тощо.

2.2. ДІАГРАМИ СТАНУ СПЛАВІВ.

Важливо знати стан і структуру сплавів залежно від зміни температури і концентрації компонентів, що їх утворюють. Такий зв'язок наочно відображають *діаграми стану сплавів*, які будують на основі результатів експериментів з використанням методів термічного, магнітного, металографічного та інших аналізів.

Температури, при яких відбуваються зміни стану (перетворення) сплаву, називають *критичними*: $T_{пл}$ – температура плавлення; $T_{кр}$ – температура кристалізації тощо. Для побудови діаграм стану необхідно знати критичні температури сплаву. Визначають їх на основі аналізу швидкостей охолодження (нагрівання), графічно зображених у координатах «температура-час». Кристалічні речовини (метали, сплави) мають певну фіксовану температуру плавлення (при нагріванні) та кристалізації (при охолодженні). Кристалізація (тверднення) чистих металів відбувається за постійної температури, а сплавів – в інтервалі температур. Побудова діаграм стану базується на експериментальному одержанні серії графіків охолодження розплавів з різним (заданим) вмістом компонентів системи та визначення за ними критичних температур (точок) фазових перетворень. Температура початку кристалізації сплаву називають *точками ліквідус* (від лат. *liquidus* - рідкий), а закінчення кристалізації – *солідус* (від лат. *solidus* – твердий). Для побудови діаграми стану на осі абсцис відкладають концентрацію компонентів досліджуваних сплавів (рис. 2.1).

Крайня точка ліворуч по осі концентрації відповідає 100% компонента А і 0% В (початок осі абсцис), а крайня точка праворуч відповідає 100% компонента В і 0% А. Значення температури відкладають по осі ординат. Сплави з різним вмістом компонентів А і В мають різний фазовий склад, структуру, а отже і властивості. Діаграми стану дають уяву про формування структури і фазового складу будь-якого сплаву даної системи залежно від: концентрації компонентів, температури,

заданої швидкості охолодження; дозволяють простежити зміни (за визначених умов) певних фізичних і механічних властивостей.

Перш ніж розглядати діаграми стану, слід визначити деякі терміни і поняття.

Система – це сукупність металів або металевих сплавів, обраних для спостереження впливу на них певних факторів (температури, тиску, концентрації). Систему називають рівноважною, якщо перетворення в ній при нагріванні та охолодженні відбуваються зворотно, а рівноважні умови досягаються за незначних ступенів перегріву чи переохолодження.

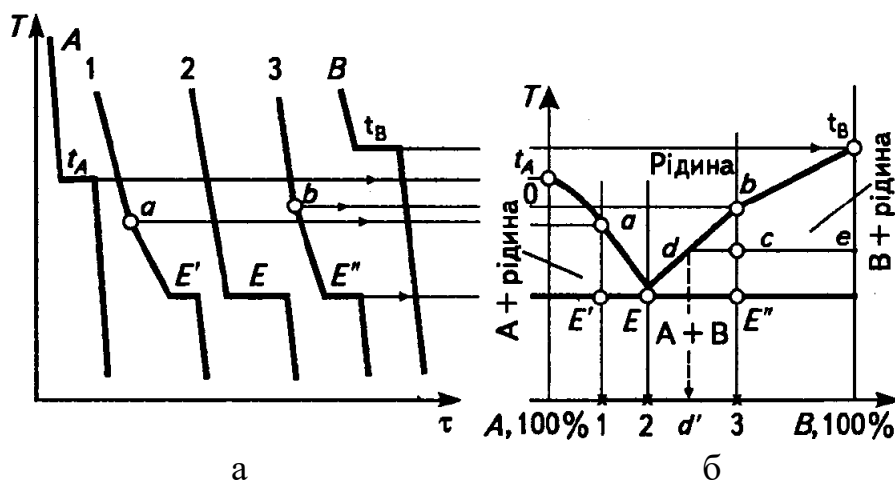


Рис. 2.1. Схема побудови діаграми стану двокомпонентної системи (A-B) з необмеженою розчинністю компонентів у рідкому стані і нерозчинних у твердому: а – графіки охолодження, одержані методом термічного аналізу; б - діаграма фазової рівноваги компонентів A і B.

Компонента – незалежна складова частина системи (сплаву). Компонентами можуть бути чисті метали (елементи) або стійкі хімічні сполуки. Кількість компонентів позначають літерою K .

Фаза – це хімічно однорідна частина системи, відокремлена від інших частин (фаз) поверхнею розділу. У сплавах фазами можуть бути чисті метали, рідкі або тверді розчини, хімічні сполуки. Фази відрізняються одна від одної за: агрегатним станом; хімічним складом; типом кристалічної ґратки. Кількість співіснуючих у сплаві фаз позначають літерою Φ .

Число ступенів свободи визначає кількість незалежних перемінних (температура, концентрація, тиск), які, не порушуючи рівноваги системи, можна

змінювати у певних межах. рівноважним називають такий стан сплаву, що не змінюється у часі. Число ступенів свободи позначають літерою C .

Закономірності всіх змін системи, залежно від внутрішніх і зовнішніх умов, підпорядковані правилу фаз Гіббса:

$$C = K - \Phi + B,$$

де C – число ступенів свободи; K – кількість компонентів; $B=1$ – зовнішні перемінні фактори (температура, тиск); Φ – кількість фаз.

2.3. ОСНОВНІ ВИДИ ДІАГРАМ СТАНУ ДВОКОМПОНЕНТНИХ СПЛАВІВ.

2.3.1. Діаграма стану сплавів, компоненти яких необмежено розчинні у рідкому стані та практично не розчинні у твердому.

До таких сплавів відносять, наприклад, сплави систем Pb-Sb, Sn-Zn. У твердому стані вони утворюють механічну суміш кристалів компонентів. Така суміш, якщо вона закристалізувалась з рідини за температури нижчої від температур плавлення компонентів сплаву, називається *евтектикою*, або *евтектичною сумішшю* (eutektos – з грецької означає легкоплавкий). Сплави хімічного складу, при якому кристалізується лише евтектика (точка E діаграми), називають *евтектичними*. Сплави, що за складом розташовані на діаграмі ліворуч від евтектичного, називають *доевтектичними*, а праворуч – *заевтектичними*. Розглянемо діаграму стану першого типу (рис. 2.1). Якщо два компоненти у твердому стані нерозчинні один в одному (утворюють механічну суміш), добавка одного компонента до іншого знижує температуру початку тверднення (лінія ліквідус на діаграмі). Температура ж закінчення тверднення (лінія солідус) не залежить від складу сплаву даної системи і однакова для всіх сплавів, утворених даною парою компонентів. При температурах точок a і b у розплаві утворюються кристали A (у сплаві 1) і B (у сплаві 3). Структура доевтектичного сплаву 1 складається з первинних кристалів компонента A і евтектики $A+B$ у співвідношенні за об'ємом 50 : 50% (за правилом відрізків). Структура евтектичного сплаву 2 на 100 % складається з евтектичної суміші $A+B$. Сплав 3

(заевтектичний) має структуру, що складається з кристалів компонента B і евтектики $A+B$ при їхньому об'ємному співвідношенні 50 : 50%.

Склад і кількість кожної фази у будь-якій двофазовій області діаграми стану дозволяє визначити *правило відрізків*. Для визначення вмісту компонентів у фазах сплаву, на діаграмі стану проводять горизонтальну лінію (коноїду) до перетину з лініями, що обмежують цю область. Проекції точок перетину коноїди з лініями діаграми на вісь концентрації показують склад фаз. Так, для сплаву Z (див. рис. 2.1) при температурі точки s рідина за своїм складом відповідає точці d' на осі абсцис.

Для визначення кількісного співвідношення фаз визначають довжину відрізків коноїди від заданої точки діаграми до точок, що відповідають складу фаз.

Наприклад (рис. 2.1), у сплаві Z при температурі точки s кількість рідини пропорційна відрізку se і становить 70%, а кількість первинних B -кристалів пропорційна відрізку dc і дорівнює 30%.

2.3.2 Діаграма стану сплавів, які утворюють у твердому стані кристалічні тверді розчини з необмеженою взаємною розчинністю компонентів.

У процесі охолодження таких сплавів з розплаву випадають кристали твердого розчину з різним співвідношенням компонентів. Верхня крива m (рис. 2.2) – *ліквідус*, нижня n – *солідус*.

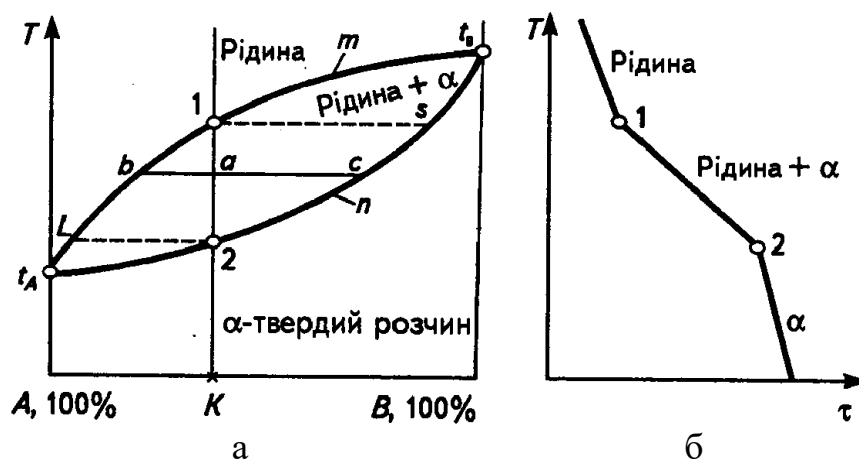


Рис. 2.2. Діаграма стану (а) та крива охолодження (б) сплавів з необмеженою розчинністю компонентів у рідкому і твердому станах

Внаслідок процесів дифузії концентрація сплаву вирівнюється (найактивніше – при повільному охолодженні). Прикладом таких сплавів може служити система сплавів Cu – Ni.

2.3.3 Діаграма сплавів, компоненти яких утворюють тверді розчини з обмеженою розчинністю.

Така діаграма характерна, наприклад, для системи сплавів Cu – Ag (рис. 2.3). Крива AEB – ліквідус, крива $ADECB$ – солідус. Кристали твердого розчину втілення атомів компонента B у кристалічній ґратці компонента A (α -твердий розчин) випадають при температурах відповідно лінії AD . При температурах і концентраціях компонентів, що відповідають лінії CB , кристалізуються тверді розчини втілення атомів компонента A у кристалічній ґратці компонента B (β -твердий розчин). Сплав, склад якого відповідає точці E на діаграмі, кристалізується з утворенням евтектики ($\alpha + \beta$).

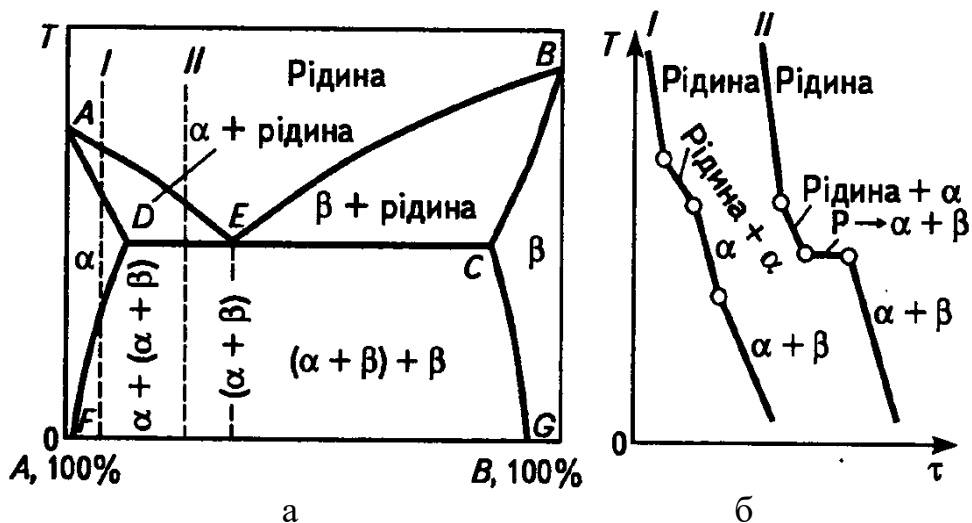


Рис. 2.3. Діаграма стану сплавів з обмеженою розчинністю компонентів у твердому стані (а) та криві охолодження (б)

Сплави між точками D і C після кристалізації з розплаву складаються з кристалів α -твердого розчину і евтектики ($\alpha + \beta$), а між точками C і E – з кристалів β -твердого розчину і евтектики ($\alpha + \beta$). Сплави з вмістом компонента B , меншим ніж у точці D , закінчують кристалізацію по лінії AD і складаються з кристалів α . При зниженні температури (лінії DF) ці кристали стають пересиченими щодо

компонента В, тому з твердого α -розчину утворюються кристали $\beta_{вт}$ - твердого розчину. Таку кристалізацію з твердого розчину називають *вторинною*, а з рідкого – *первинною*. У сплавах з вмістом компонента В більшим ніж у точці Е, при температурах нижчих лінії EC , з кристалів твердого β -розчину утворюються кристали $\alpha_{вт}$.

2.3.4 Діаграма стану сплавів з утворенням хімічної сполуки.

Такий тип діаграми (рис. 2.4) характерний, наприклад, для сплавів системи Mg - Ca. Хімічну сполуку A_nB_m (Mg_4Ca_3) можна розглядати як третій компонент, що поділяє діаграму стану системи $A - B$ (Mg - Ca) на дві діаграми першого типу: системи $A - A_nB_m$ (Mg - Mg_4Ca_3) та $A_nB_m - B$ ($Mg_4Ca_3 - Ca$).

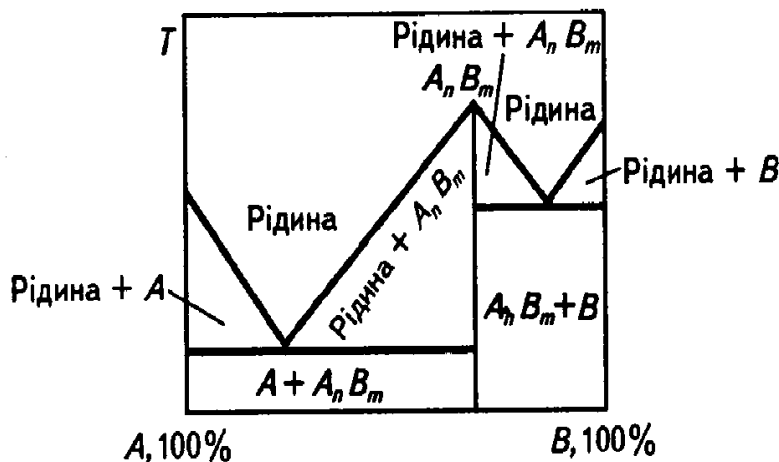


Рис. 2.4. Діаграма стану сплавів, компоненти яких утворюють хімічну сполуку

Визначення зв'язку властивостей сплавів з типом діаграми стану є важливою передумовою для створення нових сплавів і прогнозування їхніх властивостей.

Контрольні запитання

1. Що таке сплав, система, компонент?
2. За якими принципами будуються діаграми стану?
3. Що таке твердий розчин, механічна суміш, хімічна сполука?
4. Які основні типи діаграм стану двокомпонентних сплавів?
5. Який зв'язок існує між типом діаграми і властивостями сплавів?

ТЕМА 3

БУДУВАННЯ ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ. ДІАГРАМА СТАНУ ЗАЛІЗО-ВУГЛЕЦЬ. ЧАВУНИ ТА СТАЛІ.

План:

- 3.1. Діаграма стану системи залізо-вуглець.
- 3.2. Формування структури сталей.
- 3.3. Формування структури білих чавунів.

Залізовуглецеві сплави – сталі й чавуни – найважливіші металеві сплави сучасної техніки. Виробництво чавуну і сталі за обсягом перевершує виробництво всіх інших металів разом узятих більш ніж у десять разів.

Діаграма стану залізо-вуглець дає основне уявлення про будову залізовуглецевих сплавів - сталей і чавунів.

Початок вивченню діаграми залізо - вуглець поклав Чернов Д.К. у 1868 році. Чернов уперше вказав на існування в сталі критичних точок і на залежність їх положення від вмісту вуглецю.

Діаграма залізо - вуглець повинна поширюватися від заліза до вуглецю. Залізо утворює із вуглецем хімічну сполуку: *цементит* – Fe_3C . Кожну стійку хімічну сполуку можна розглядати як компонент, а діаграму – по частинах. Так як на практиці застосовують металеві сплави з вмістом вуглецю до 5 %, то розглядаємо частину діаграми стану від заліза до хімічної сполуки цементиту, що містить 6,67 % вуглецю.

3.1. ДІАГРАМА СТАНУ СИСТЕМИ ЗАЛІЗО-ВУГЛЕЦЬ.

Компонентами залізовуглецевих сплавів є залізо, вуглець і цементит.

1. Залізо – перехідний метал сріблясто-світлого кольору. Має високу температуру плавлення – $1539^{\circ}C \pm 5^{\circ}C$.

У твердому стані залізо може знаходитися у двох модифікаціях. Поліморфні перетворення відбуваються при температурах 911 і $1392^{\circ}C$. При температурі

нижче 911 °С існує Fe_{α} з об'ємно центрованою кубічною решіткою. В інтервалі температур 911...1392 °С стійким є Fe_{γ} із гранецентрованою кубічною решіткою.

Вище 1392 °С залізо має об'ємно центровану кубічну решітку і називається Fe_{δ} або високотемпературне Fe_{α} . Високотемпературна модифікація Fe_{α} не являє собою нової алотропічної форми. Критичну температуру 911 °С перетворення $Fe_{\alpha} \leftrightarrow Fe_{\gamma}$ позначають т. A_3 , а температуру 1392 °С перетворення $Fe_{\alpha} \leftrightarrow Fe_{\gamma}$ – т. A_4 .

При температурі нижче 768 °С залізо феромагнітне, а вище – парамагнітне; т. Кюрі заліза 768 °С позначається A_2 .

Залізо технічної чистоти має невисоку твердість (80 НВ) і міцність (межа міцності – $\sigma_B = 250$ МПа, межа текучості – $\sigma_T = 120$ МПа) і високі характеристики пластичності (відносне подовження – $\delta = 50$ %, а відносне звуження – $\psi = 80$ %).

Властивості можуть змінюватися в деяких межах залежно від величини зерна.

Залізо характеризується високим модулем пружності, наявність якого проявляється й у сплавах на його основі, забезпечуючи високу твердість деталей із цих сплавів.

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

2. Вуглець належить до неметалів. Має поліморфне перетворення, залежно від умов утворення існує у формі графіту з гексагональними кристалічними решітками (температура плавлення – 3500 °С, щільність – 2,5 г/см³) або у формі алмазу зі складними кубічними решітками з координаційним числом рівним чотирьом (температура плавлення – 5000 °С).

В сплавах заліза з вуглецем вуглець знаходиться в стані твердого розчину із залізом і у вигляді хімічної сполуки – цементиту (Fe_3C), а також у вільному стані у вигляді графіту (у сірих чавунах).

3. Цементит (Fe_3C) – хімічна сполука заліза з вуглецем (карбід заліза) містить 6,67 % вуглецю.

Алотропічних перетворень не має. Кристалічні решітки цементиту складаються з ряду октаедрів, осі яких відхилені один від одного.

Температура плавлення цементиту точно не встановлена (1250, 1550 °C). При низьких температурах цементит слабо феромагнітний, магнітні властивості втрачає при температурі близько 217 °C.

Цементит має високу твердість (більше 800 НВ, легко дряпає скло), але надзвичайно низьку, практично нульову, пластичність. Такі властивості є наслідком складної будови кристалічних решіток.

Цементит здатний утворювати тверді розчини заміщення. Атоми вуглецю можуть заміщатися атомами неметалів: азотом, киснем; атоми заліза – металами: марганцем, хромом, вольфрамом й ін. Такий твердий розчин на базі решіток цементиту називається *легованим цементитом*.

Цементит - з'єднання нестійке і за певних умов розпадається з утворенням вільного вуглецю у вигляді графіту. Цей процес має важливе практичне значення при структуроутворенні чавунів.

У системі залізо - вуглець існують наступні фази: *рідка фаза, ферит, аустеніт, цементит*.

1 Рідка фаза. У рідкому стані залізо добре розчиняє вуглець у будь-яких пропорціях з утворенням однорідної рідкої фази.

2 Ферит (Ф) $Fe_{\alpha}(C)$ – твердий розчин проникнення вуглецю в α -залізо.

Ферит має змінну граничну розчинність вуглецю: мінімальну – 0,006 % при кімнатній температурі (точка Q), максимальну – 0,02 % при температурі 727 °C (т. P). Вуглець розташовується в дефектах решіток.

При температурі вище 1392°C існує високотемпературний ферит δ ($Fe_{\delta}(C)$), з граничною розчинністю вуглецю 0,1 % при температурі 1499 °C (т. J).

Властивості фериту близькі до властивостей заліза. Він м'який (твердість – 130 НВ, межа міцності – $\sigma_B = 300$ МПа) і пластичне (відносне подовження – $\delta = 30$ %), магнітний до 768 °C.

3 Аустеніт (А) $Fe_{\gamma}(C)$ – твердий розчин проникнення вуглецю в γ -залізо. Вуглець займає місце в центрі гранецентрованої кубічної решітки. Аустеніт має змінну граничну розчинність вуглецю: мінімальну – 0,8 % при температурі 727 °C (т. S), максимальну – 2,14 % при температурі 1147 °C (т. E).

Аустеніт має твердість 200...250 НВ, пластичний (відносне подовження – $\delta=40...50\%$), парамагнітний.

При розчиненні в аустеніті інших елементів можуть змінюватися властивості й температурні межі існування.

4. Цементит (Ц) – характеристика дана вище.

У залізовуглецевих сплавах наявні фази: цементит первинний (CI), цементит вторинний (CII), цементит третинний (CIII). Хімічні й фізичні властивості цих фаз однакові. На механічні властивості сплавів впливає розходження в розмірах, кількості й розташуванні цих виділень. Цементит первинний виділяється з рідкої фази у вигляді великих пластинчастих кристалів. Цементит вторинний виділяється з аустеніту й розташовується у вигляді сітки навколо зерен аустеніту (при охолодженні - навколо зерен перліту). Цементит третинний виділяється з відпалу й у вигляді дрібних включень розташовується біля границь феритних зерен.

Залежно від вмісту вуглецю залізовуглецеві сплави поділяють на сталі (від 0,02 до 2,14% C) і чавуни (від 2,14 до 6,67% C). Діаграма стану системи Fe-C графічно зображує фазовий стан залізовуглецевих сплавів залежно від вмісту вуглецю та температури за умови дуже повільного їх охолодження або нагрівання. Основою для побудови такої діаграми (рис. 3.1.) є дослідження Д.К. Чернова, пов'язані з відкриттям критичних температур (точок), що залежать від вмісту вуглецю у сплаві, а також уявлень щодо закономірності зміни при певних температурах структурного стану і властивостей залізовуглецевих сплавів. Діаграму Fe-C використовують у теорії та практиці термічної обробки сталей і чавунів.

Діаграма Fe-C показана лише для інтервалу концентрації вуглецю від 0 до 6,67 %, тобто до утворення хімічної сполуки Fe₃C (цементит). Лише ця частина має практичне значення, оскільки сплави з більш високим вмістом вуглецю дуже крихкі. По осі абсцис на діаграмі показано концентрацію вуглецю в масових частках (мас. %), а по осі ординат – температуру в градусах Цельсія (T, °C). Якщо

розглядати Fe_3C як компонент, то для переводу концентрації вуглецю в концентрацію цементиту вміст вуглецю слід помножити на 15.

При охолодженні залізовуглецевих сплавів вуглець може не тільки хімічно взаємодіяти з залізом, утворюючи Fe_3C , але й виділятися у вільному стані у вигляді графіту. Тому розрізняють дві діаграми стану: залізо-цементит ($\text{Fe} - \text{Fe}_3\text{C}$) і залізо – графіт ($\text{Fe} - \text{C}$).

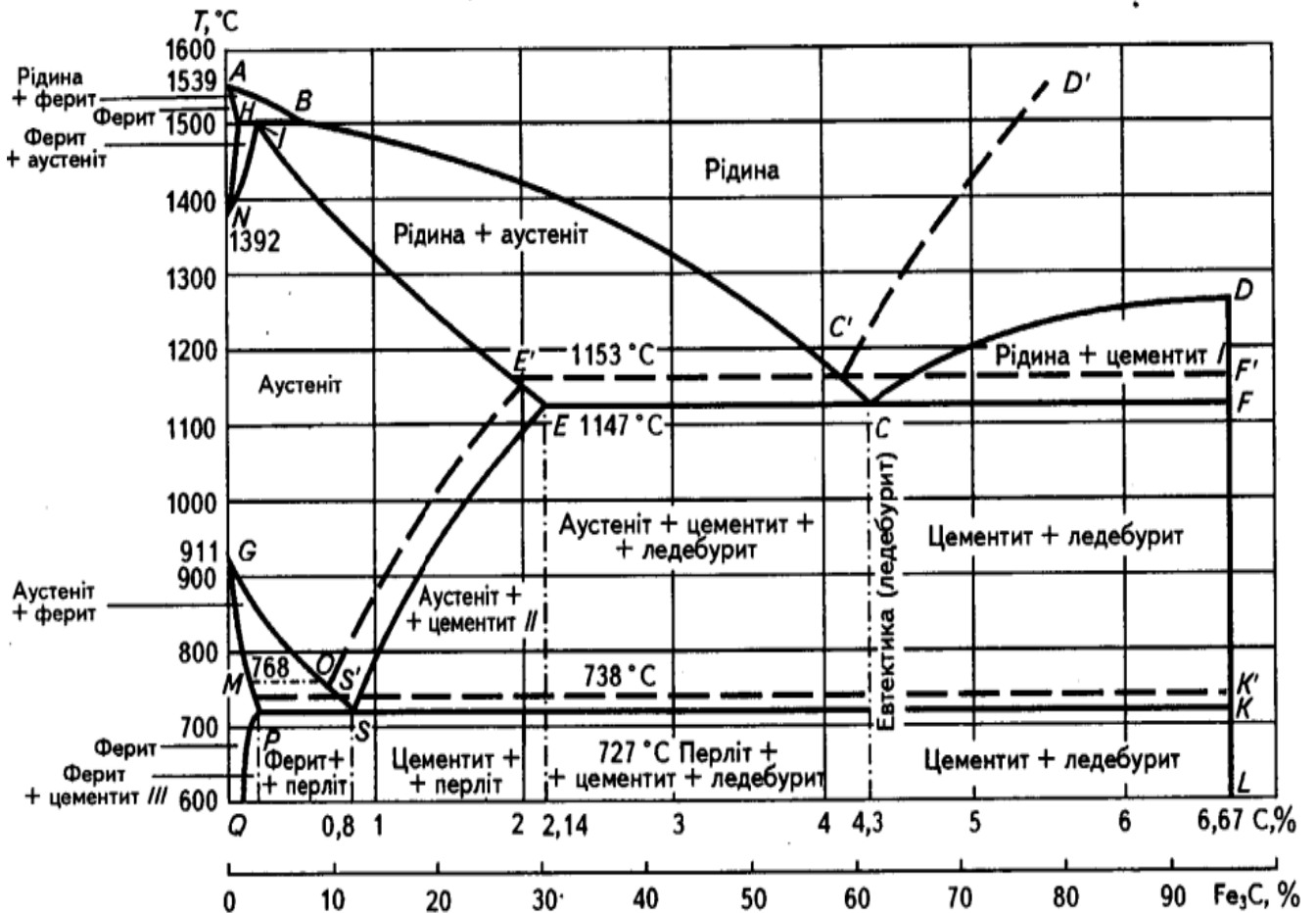


Рис. 3.1. Діаграма стану системи залізо-вуглець ($\text{Fe} - \text{Fe}_3\text{C}$)

На діаграмі перша зображена суцільними лініями, друга – штриховими. Оскільки цементит за певних умов розпадається з утворенням вільного вуглецю (графіту), то діаграму в системі $\text{Fe} - \text{Fe}_3\text{C}$ називають *нестабільною* (метастабільною), а у системі $\text{Fe} - \text{C}$ – *стабільною*.

Основними фазами залізовуглецевих сплавів є рідкі та тверді розчини вуглецю у залізі, цементит та графіт (рис. 3.2). У розплаві заліза при температурі

1147°C розчиняється до 4,3% вуглецю. У твердих розчинах заліза (ферит, аустеніт) розчинність вуглецю значно менша.

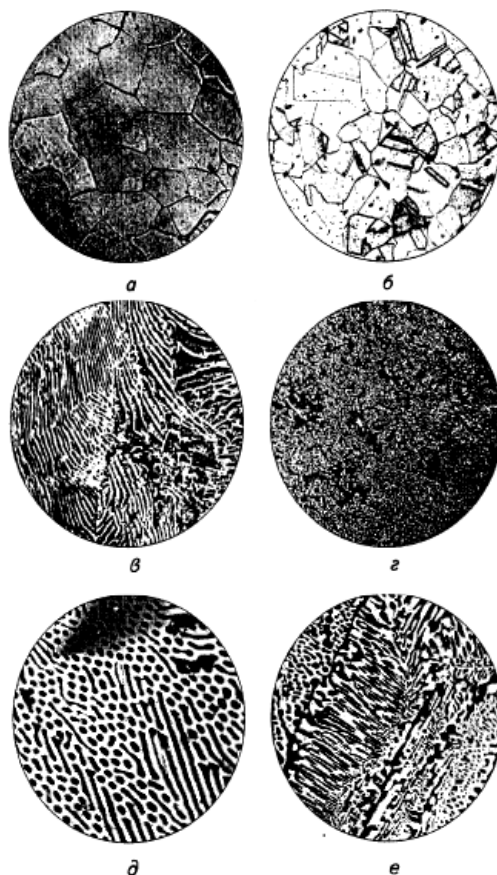


Рис. 3.2. Мікроструктури залізовуглецевих сплавів: А – ферит, $\times 200$; б – поліедри аустеніту, $\times 100$; в – перліт пластинчастий, $\times 200$; г – перліт зернистий, $\times 200$; д, е - ледебурит, $\times 350$

Твердий розчин вуглецю на основі об'ємноцентрованої кубічної ґратки (ОЦК) заліза називають *феритом* (Φ). високотемпературний δ -ферит містить максимальну кількість вуглецю – 0,1%. У низькотемпературному α -фериті максимальна розчинність вуглецю становить 0,025% при 727°C, а при зниженні температури зменшується практично до нуля. Ферит м'який (80...100 НВ), пластичний, нижче 768°C магнітний.

Твердий розчин втілення вуглецю на основі ґранецентрованої кубічної ґратки (ГЦК) γ -заліза називають *аустенітом* (A). розчинність вуглецю в γ -залізі при зростанні температури підвищується і досягає максимуму (2,14% С) при 1147°C. Аустеніт пластичний, немагнітний, твердість його 170 НВ.

Хімічна сполука, яка утворюється в залізовуглецевих сплавах, карбід заліза Fe_3C , має назву *цементит* (*Ц*). Це найбільш тверда (780 НВ) і крихка фаза в системі залізо – вуглець, нижче $217^\circ C$ магнітна. Цементит містить 6,68% С, має складну орторомбічну кристалічну ґратку з 12 атомами заліза і 4 атомами вуглецю, температура плавлення становить близько $1600^\circ C$.

Евтектоїдна (механічна) суміш фериту та цементиту, яка утворюється при $727^\circ C$ і вмісті вуглецю 0,8%, має назву *перліт* (*П*). Залежно від будови перліту змінюються і його властивості. Так, пластинчастий перліт більш твердий, крихкий та міцніший за зернистий (160...230 НВ; $\sigma_v = 600...800$ МПа; $\delta = 15...20\%$).

Евтектичну суміш аустеніту і цементиту (вище $727^\circ C$) або перліту і цементиту (нижче $727^\circ C$) називають *ледебурит* (*Л*). Він утворюється при вмісті вуглецю 4,3% за температури $1147^\circ C$, твердий (800 НВ) і крихкий. Це – структурна складова білих чавунів.

У промислових чавунах основною структурною складовою є графіт. Це одна з поліморфних модифікацій (різновидів) структурно вільного вуглецю з гексагональною кристалічною ґраткою. Твердість і міцність графіту низькі. У сірих чавунах він має вигляд пластин різної форми і розмірів, у ковкому – форму пластівців, у високоміцному – кулясту форму.

Лінії діаграми стану системи Fe - Fe_3C (див. рис. 3.1.) показують (визначають), за яких температур в залізовуглецевих сплавах відбуваються перетворення. Лінія *ABCD*, що об'єднує точки початку кристалізації розплавів з різним вмістом вуглецю, називається *лінією ліквідусу*. Лінія *AHIECF*, що відповідає точкам закінчення кристалізації, називається *лінією солідусу*. *GOS* – лінія верхньої границі області рівноваги α - і γ -фаз. При охолодженні по цій лінії починається виділення α -фази (при нагріванні - γ -фази). *SE* – лінія початку перетворення аустеніту з утворенням цементиту при охолодженні (критичні точки A_{rm}), при нагріванні сплаву критичні точки A_{cm} . *PQ* – лінія початку виділення цементиту (третинного) при охолодженні або розчинення третинного цементиту при нагріванні.

Однофазні області δ -фериту, α -фериту та аустеніту обмежені відповідно лініями *AHN*, *GPQ* і *NIESG*. Лінія *HIV* при перитектичній температурі 1499°C характеризується наявністю трьох фаз: δ -фериту, аустеніту і рідини (розплаву). Сплави по лінії *ECF*, що відповідає евтектичній температурі 1147°C, складаються з рідини, аустеніту і цементиту. Сплави на лінії *PSK*, яка відповідає евтектоїдній температурі 727°C, складаються з аустеніту, фериту і цементиту. При температурах 768°C (лінія *MO* для сталі) і 210°C (для чавуну) спостерігається магнітне перетворення відповідно фериту і цементиту.

Характерні точки на діаграмі відповідають певним температурам і концентраціям вуглецю (мас. %).

Точка *A* відповідає температурі плавлення (або тверднення) чистого заліза (1539°C). Точка *B* вказує на вміст вуглецю (0,5%) у рідкій фазі при перитектичній температурі (1499°C). Точка *H* відповідає граничній кількості вуглецю (0,1%) у δ -фазі при перитектичній температурі. Точка *I* вказує на вміст вуглецю (0,16%) в аустеніті, який перебуває в рівновазі з δ -фазою і рідиною при перитектичній температурі. Точка *C* вказує на вміст вуглецю (4,3%) у рідкій фазі в стану рівноваги з аустенітом при евтектичній температурі (1147°C). Точка *E* відповідає 2,14% C в аустеніті, що перебуває в рівновазі з цементитом при евтектичній температурі. Точка *S* відповідає 0,8% C в аустеніті, який перебуває в рівновазі з перлітом (ферит+цементит) при евтектоїдній температурі (727°C). Точка *P* відповідає 0,02% C – граничній кількості вуглецю, розчиненого у фериті, що перебуває у рівновазі з аустенітом і цементитом при евтектоїдній температурі.

3.2. ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ СТАЛЕЙ.

Залежно від вмісту вуглецю сталі поділяють у відповідності з діаграмою стану на *доевтектоїдні* (від 0,025% до 0,8% C), *евтектоїдні* (0,8% C) і *заевтектоїдні* (більше 0,8% і до 2,14% C).

Відповідно кристалізація сталей може проходити в один, два або три етапи. В температурному інтервалі між лініями *HIV* та *IE* кристалізується аустеніт. Подальше формування структури залежить від складу сталі. В евтектоїдній сталі

аустеніт залишається стабільним при охолодженні до точки S . При охолодженні відносно цієї точки при постійній температурі відбувається евтектоїд не перетворення. В результаті утворюється структура, що складається з суміші зерен (пластин) α -фериту і цементиту. Таку евтектоїдну суміш називають *перлітом*.

При охолодженні доевтектоїдної сталі нижче лінії GS аустеніт втрачає стабільність і починається поліморфне перетворення його у ферит. Кристали фериту утворюються переважно на стиках зерен аустеніту і ростуть здебільшого у вигляді рівноважних зерен. Перетворення супроводжується зміною складу аустеніту відповідно лінії GS . При евтектоїдній температурі 727°C аустеніт завжди набуває евтектоїдної концентрації. При деякому переохолодженні відбувається евтектоїд не перетворення.

Таким чином, структура доевтектоїдної сталі буде складатись з фериту та перліту.

У заевтектоїдній сталі нижче лінії ES аустеніт стає пересиченим щодо вуглецю. Надлишковий вуглець виділяється з аустеніту у вигляді вторинного цементиту по границях аустенітних зерен. Під час охолодження в інтервалі температур перетворення аустеніт збіднюється вуглецем відповідно лінії ES . Як і в доевтектоїдній сталі, аустеніт при евтектоїдній температурі матиме евтектоїдну концентрацію вуглецю і при подальшому охолодженні за постійної температури перетвориться на перліт. Структура заевтектоїдної сталі складається з перліту і вторинного цементиту. Перетворення при нагріванні сталей відбувається у зворотному порядку.

3.3. ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ БІЛИХ ЧАВУНІВ.

У білих чавунах весь надлишковий вуглець перебуває у зв'язаному стані, тобто у вигляді цементиту - Fe_3C . Структура чавуну формується за умов не дуже повільного охолодження розплаву у відповідності з метастабільною діаграмою системи залізо-цементит. Розглянемо формування структури до евтектичного чавуну.

Його кристалізація відбувається у два етапи. В інтервалі температур від лінії ліквідус до солідуса кристалізується аустеніт. При цьому склад рідкої фази змінюється відповідно нахилу лінії *BC* діаграми, тобто розплав збагачується вуглецем. При евтектичній температурі концентрація рідкої фази буде відповідно точці *C*, тобто буде евтектичною. Евтектичний розплав, при деякому переохолодженні відносно евтектичної температури (1147°C), кристалізується в евтектику, яка складається з суміші аустеніту і цементиту (ледебурит). Провідною фазою під час евтектичної кристалізації є цементит, пластини якого пересікаються гілками аустеніту. По закінченні кристалізації структура чавуну складається з аустеніту та ледебуриту.

При подальшому охолодженні в інтервалі температур від 1147°C до 727°C аустеніт збіднюється вуглецем відповідно до лінії *ES* діаграми. З нього виділяється вторинний цементит, який може нашаровуватись на цементит ледебуриту, утворювати приграничну сітку або пластини. Здебільшого вторинний цементит у чавуні не є самостійною структурною складовою. При переохолодженні відносно евтектоїдної лінії діаграми аустеніт складу точки *S* перетворюється на евтектоїд – *перліт*. Таким чином структура до евтектичного білого чавуну буде складатись з перліту та ледебуриту. Оскільки у ледебуриті аустеніт також перетворився на перліт, такий ледебурит інколи називають *видозміненим*.

Користуючись діаграмою, неважко визначити, що структура евтектичного чавуну після повного охолодження являє собою ледебурит (видозмінений), а заевтектичного складається з первинного цементиту та ледебуриту.

Контрольні запитання

1. Чим відрізняються сталь та чавун?
2. Чим відрізняються метастабільна і стабільна діаграми стану системи залізо-вуглець?
3. Які основні фази утворюються в залізівуглецевих сплавах?
4. Що таке критичні точки температури?
5. У якому вигляді знаходиться надлишковий вуглець у білому чавуні?
6. Які характерні точки діаграми стану системи залізо-вуглець вам відомі?
7. На які види поділяють сталі залежно від вмісту вуглецю?
8. Що таке ліквідус, солідус?

ТЕМА 4

КОНСТРУКЦІЙНІ ТА ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ СТАЛІ. ЧАВУНИ.

План:

- 4.1. Вуглецеві сталі.
- 4.2. Леговані сталі.
 - 4.2.1. Класифікація легованих сталей.
 - 4.2.2. Конструкційні леговані сталі.
- 4.3. Сталі зі спеціальними властивостями.
- 4.4. Чавуни, їх класифікація, структура та властивості.

4.1. ВУГЛЕЦЕВІ СТАЛІ.

Залізовуглецеві сплави з вмістом вуглецю від 0,025 до 2,14% називають *сталями*. Залежно від вмісту вуглецю сталі поділяють на:

- низьковуглецеві (до 0,25% C);
- середньовуглецеві (0,25...0,6% C);
- високовуглецеві (більше 0,6% C).

За структурою у рівноважному стані їх поділяють на:

- доевтектоїдні;
- евтектоїдні;
- заевтектоїдні.

Доевтектоїдні сталі (від 0,025 до 0,8% C) мають структуру, яка складається з зерен фериту і перліту (ферит+цементит). Зі зростанням вмісту вуглецю зменшується кількість фериту і зростає кількість перліту. *Евтектоїдна* сталь містить 0,8% C і структура її складається лише з перліту пластинчастої будови. *Заевтектоїдні сталі* (0,8...2,14% C) мають структуру перліту, по границях зерен якого розташований надлишковий цементит.

За призначенням та якістю розрізняють такі групи:

- вуглецеві конструкційні сталі звичайної якості та якісні. Якісні вуглецеві конструкційні сталі, в свою чергу, розділяють на будівельні (низьковуглецеві) та машинобудівельні (середньо- та низьковуглецеві);

- вуглецеві інструментальні якісні та високоякісні сталі.

Марки, хімічний склад і властивості сталей встановлюють відповідними державними стандартами. Вуглецеву конструкційну сталь звичайної якості за ДСТУ 2651:2005 розділяють на групи сталей, які постачаються:

А – з гарантованими механічними властивостями;

Б – з гарантованим хімічним складом;

В – з гарантованими механічними властивостями і з окремими вимогами щодо хімічного складу.

Конструкційну сталь звичайної якості групи А позначають Ст.0, Ст.1, Ст.2, Ст.3, Ст.4, Ст.5, Ст.6. Цифри (умовний номер марки) вказують на середній вміст вуглецю у десятих долях відсотка. Чим більше цифра, тим вище вміст вуглецю. Ці сталі виплавляють в конвертерах або мартенівських печах.

Для сталей групи Б вказують спосіб виробництва літерами М, Б чи К (мартенівський, бесемерівський чи конвертерний). Наприклад, МСт.0, МСт.1, БСт.0, КСт.1 тощо.

Сталь групи В виготовляють в мартенівських печах і конвертерах і позначають ВМСт.1, ВКСт.2, ВКСт.3 та ін.

З гарячекатаної сталі групи А виготовляють деталі машин і механізмів механічною обробкою, не піддаючи попередньо гарячій обробці (куванню, штамповці, зварюванню).

Сталь групи Б призначена для виготовлення деталей гарячою обробкою (куванням, штамповою тощо).

Зі сталі групи В виготовляють вузли машин та механізмів зварюванням. Сталі підвищеної якості (групи В) використовують головним чином в мостосуднобудуванні.

Вуглецеву конструкційну якісну сталь розділяють на дві групи: з нормальним вмістом марганцю, з підвищеним вмістом марганцю. Сталі першої

групи позначають 08, 10, 15, 20, ..., 85. Цифри показують середній вміст вуглецю в сталі в сотих долях відсотка. Наприклад, сталь 30 містить 0,27...0,35% С. Сталі другої групи з підвищеним вмістом (до 1,2%) марганцю позначають 15Г, 20Г, ..., 70Г (буква Г вказує на підвищений вміст марганцю).

Конструкційні якісні вуглецеві сталі одержують в основних конвертерах, мартенівських та електричних печах.

Сталі першої групи 08, 10, 15 і 20 використовують для малонавантажених деталей і елементів зварних, кованих, штампованих конструкцій; сталі 25, 30, 35, 40 і 45 – для виготовлення деталей, що зазнають помірних напружень; сталі 50, 55, 60, 65 і 70 – для виготовлення деталей підвищеної міцності.

Вуглецева інструментальна якісна сталь позначається У7, У8, У9, У10, У11, У12, У13. Літера У означає „сталь вуглецева інструментальна”, а цифра – середній вміст вуглецю в десятих долях відсотка. З цих сталей виготовляють ріжучий, вимірювальний і штамповий інструмент, який має високу твердість і міцність після термічної обробки.

Вуглецеву інструментальну високоякісну сталь позначають, як і якісну, з додаванням букви А: У7А, У8А, У9А і т.д. Високоякісна сталь містить менше сірки та фосфору, а також неметалевих включень, має вищі механічні властивості. Витоплюють високоякісну вуглецеву інструментальну сталь в електродугових та кислих мартенівських печах, а також в основних мартенівських печах.

4.2. ЛЕГОВАНІ СТАЛІ.

Легуючі компоненти входять до сталі для надання їй спеціальних властивостей. До легуючих компонентів відносяться Cr, Ni, W, Mo, V, Cu, Al, Nb, Mn, B, Co тощо. Крім того, для зменшення газонасиченості сталі і вмісту сірки використовують лігатуру (допоміжні сплави) рідкоземельних металів, яка складається з 50% церію, 25% лантану, 15% неодиму і 10% інших рідкоземельних елементів.

Сталі, до складу яких вводять один або кілька легуючих компонентів для надання їм потрібних властивостей, називають спеціальними або легованими.

Залежно від того, яким компонентом сталь легована, її називають хромовою, нікелевою, ванадієвою тощо. Якщо сталь легована кількома компонентами, її називають хромонікелевою, хромомарганцевою, хромонікельвольфрамовою тощо. Основна мета легування – зміна будови і фізико-механічних властивостей сталі (твердості, міцності, опору зносу і корозії), надання їй особливих фізичних і хімічних властивостей – здатність служити в умовах високих і низьких температур, високого і низького тиску, різного агресивного середовища тощо. Переваги легової сталі найбільшою мірою виявляються після її термічної обробки.

Властивості сталі залежать від кількості легуючих елементів і їх взаємодії з вуглецем і залізом. Легуючі компоненти утворюють з залізом тверді розчини і хімічні сполуки. Нікель і кобальт утворюють розчини заміщення з необмеженою розчинністю, решта елементів – з обмеженою розчинністю. Якщо вони присутні у кількостях, що перевищують границю розчинності, їх надлишок утворює з залізом хімічні сполуки (наприклад, FeCr, FeV, Fe₃W₂, Fe₃Mo₂ тощо). При утворенні твердих розчинів змінюються всі властивості сталі, особливо фізичні і механічні, при утворенні хімічних сполук – тільки механічні властивості сталі. Всі легуючі компоненти зміщують критичні точки A₃ (910°C) і A₄ (1401°C), зв'язані з алотропічними перетвореннями Fe. Їх можна розділити на дві нерівні групи:

- Ni, Pt, Mn , що знижують точку A₃ і підвищують точку A₄ і ділянка стабільного існування аустеніту розширюється, а ділянка стабільного існування фериту звужується;

- Cr, W, Mo, Al, Si, V, Ti та інші компоненти підвищують точку A₃ і знижують точку A₄.

Перша група легуючих компонентів знижує точку евтектоїдного перетворення A₁, а друга підвищує її. Всі легуючі компоненти, крім марганцю, при нагріванні затримують ріст зерен аустеніту, що дозволяє піддавати леговані

сталі обробці тиском у більш широкому інтервалі температур, не побоюючись перегріву. Mn, Si, Ni, W, Mo, Cr та інші легуючі компоненти підвищують границю міцності і твердість; Ni, V, Co підвищують в'язкість; Mn, Ni, Cr посилюють опір стиранню; Ni, Cr, Cu, Si, Mo та інші елементи підвищують корозійну стійкість.

4.2.1. Класифікація легованих сталей.

Леговані сталі класифікують за призначенням, хімічним складом, структурою, вмістом легуючих компонентів та іншими ознаками.

За призначенням леговані сталі ділять на три групи:

- конструкційні, призначені для виготовлення деталей машин і елементів конструкцій;
- інструментальні – для виготовлення ріжучого, штампового, вимірювального та іншого інструмента;
- сталі і сплави з особливими властивостями – нержавіючі, жароміцні, теплостійкі та інші.

За хімічним складом класифікація здійснюється так, що умовне позначення показує приблизний хімічний склад сталі. Легуючі елементи позначають українськими літерами: **А** – азот, **Б** – ніобій, **В** – вольфрам, **Г** – марганець, **Д** – мідь, **К** – кобальт, **М** – молібден, **Н** – нікель, **П** – фосфор, **Р** – бор, **С** – кремній, **Т** – титан, **Ф** – ванадій, **Х** – хром, **Ц** – цирконій, **Ч** – рідко земельні метали, **Ю** – алюміній. Наприклад, 20ХГ – хромомарганцева сталь, що містить $\approx 0,20\%$ С, 1% Mn, 1% Cr; 35Х2МА – високоякісна (буква А в кінці марки вказує на знижений вміст шкідливих домішок, а в середині марки – на вміст азоту в сталі) хромомолібденова сталь, яка містить $\approx 0,35\%$ С, 2% Cr і 1% Мо.

За структурою в відпаленому стані леговані сталі розділяють на доевтектоїдні (Ф+П); евтектоїдні (П); заевтектоїдні (П+Ц₂); ледебуритні (Л).

За структурою в нормалізованому стані сталі поділяють на:

- перлітні при вмісті легуючих компонентів до 5%;
- мартенситні при вмісті легуючих компонентів до 15%;

- аустенітні при вмісті легуючих компонентів до 20...30% (головним чином Ni та Mn).

Найпоширеніші леговані сталі доєвтектоїдного, евтектоїдного і перлітного класів (це низько- і середньо леговані конструкційні і інструментальні сталі). Сталі мартенситного, аустенітного, заєвтектоїдного і ледебуритного класів – високолеговані.

За вмістом легуючих компонентів сталі поділяють на:

- низьколеговані (до 2,5% легуючих компонентів);
- середньо леговані (2,5...10% легуючих компонентів);
- високолеговані (понад 10% легуючих компонентів).

4.2.2. Конструкційні леговані сталі.

Конструкційними називають сталі, які застосовуються для виготовлення деталей машин (машинобудівельні сталі), конструкцій і споруд (будівельні сталі). До конструкційних сталей відносять також сталі зі спеціальними властивостями – зносостійкі, корозійно стійкі, жаростійкі, жароміцні тощо.

Конструкції та деталі машин працюють за умов високих динамічних навантажень, високих концентрацій напружень, високих та низьких температур. Ці фактори призводять до крихкого руйнування, що значно знижує надійність конструкцій та машин.

Конструкційні сталі повинні мати високу границю текучості $\sigma_{0,2}$ в поєднанні з високою пластичністю (δ , ψ), опором крихкому руйнуванню, низьким порогом холодноламкості. Довговічність роботи конструкцій і машин залежить від опору втомлюваності, зносу, корозії сталі. Всі наведені характеристики визначають конструкційну міцність сталі. Міцність сталі підвищують зміцненням шляхом термічної, термомеханічної, хіміко-термічної та деформаційної обробок, доборою хімічного складу. Конструкційна сталь повинна мати добрі технологічні властивості: оброблюваність тиском (прокатка, кування, штампова та ін.) і різання, малу схильність до знеуглецювання, деформацій і тріщиноутворення

при відпалі тощо. Будівельні конструкційні сталі, крім того, повинні добре зварюватись.

Конструкційні леговані сталі поділяють на:

- сталі для цементації;
- поліпшувальні;
- високоміцні.

Сталі для цементації використовують для виробів, які працюють за умов тертя, ударних і перемінних навантажень. Надійність і ресурс роботи таких виробів забезпечується конструктивною міцністю і в'язкістю серцевини металу. Для цього сталі, призначені для цементації, насичують з поверхні вуглецем (цементують) і далі піддають гартуванню з низьким відпуском, що забезпечує високу твердість (58...63 HRC) поверхні деталі і потрібну в'язкість серцевини. Хімічний склад таких сталей обмежений вмістом вуглецю до 0,25%, сумарним вмістом легуючих компонентів для низьколегованих сталей до 2,5 % і для середньолегованих – 2,5...10%. Для виробів малих розмірів, що працюють за умов тертя і середніх навантажень, використовують сталі типу 15ХА, 20Х. Відповідальні деталі для експлуатації при високих і

ударних навантаженнях і великих швидкостях виготовляються зі сталей типу 15ХФ, 18ХГ, 25ХГМ. Типовий режим термічної обробки після цементації – гартування з низьким відпуском для одержання структури мартенситу.

Поліпшувані сталі – це низьколеговані сталі з вмістом вуглецю 0,3...0,5%. Для забезпечення потрібних властивостей міцності, пластичності та в'язкості їх піддають гартуванню з високим відпуском (500...600°C), тобто поліпшують. Загальна кількість легуючих компонентів у поліпшуваних сталях становить 3...5%, основний легуючий елемент – хром (0,8...1,1%). Розрізняють хромисті сталі – 40Х, 45Х, для прогартуваності їх додатково легують бором 0,002...0,003% (40ХР) або до 1% марганцем (40ХГ). З них виготовляють деталі для роботи за умов підвищених напружень і знакозмінних навантажень – шатуни, колінчасті вали. Хромомарганцеві сталі, леговані Si та Mn (хромансил), наприклад 30ХГС, добре зварюються. Для великих відповідальних і важконавантажуваних деталей

складної форми використовують сталі зі значною кількістю Ni та Mo, наприклад 40XHM, 30XН2МФ, 40XН2МФ, 40XН2МА тощо.

Високоміцні леговані сталі використовують для виготовлення особливо відповідальних і важконавантажених деталей, які експлуатують за умов різко змінюваних навантажень (деталі шасі, конструкції фюзеляжів тощо). Це комплексно-леговані середньовуглецеві сталі (0,3...0,6% C), які зміцнюють термічною обробкою або піддають термомеханічній обробці. Наприклад, 30XГСН2А, 40XГСН3ВА.

4.3. СТАЛІ ЗІ СПЕЦІАЛЬНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ.

Спеціальні леговані сталі – це високолеговані сталі з явно вираженими особливими властивостями (корозійна стійкість, жаростійкість, жароміцність тощо).

Неіржавіючі або корозійностійкі сталі володіють високою хімічною стійкістю в агресивних середовищах. Одержують їх введенням до складу низько- і середньо вуглецевих сталей значної кількості хрому (не менше 12,5%) і нікелю, а також додатково титану, алюмінію і марганцю. Найпоширеніші хромисті і хромонікелеві сталі. Залежно від структури розрізняють корозійностійкі сталі аустенітні (12X18Н9, 12X18Н10, 04X18Н10, 10X14Г14Н3), феритні (12X17, 08X17Т), мартенситні (40X13), аустенітно-мартенситні (09X15Н18Ю) та аустенітно-феритні (08X21Н6М2Т). Широко їх застосовують у харчовій, нафтопереробній галузях промисловості, а також у транспортному машинобудуванні і будівництві. Розроблено також високолеговані сталі для агресивних середовищ (80% розчин H_2SO_4) зі складною системою легування елементами Cr, N, Mo, Cu.

Жаростійкі (жаровиностійкі) сталі – це такі, що здатні чинити опір корозійному руйнуванню під дією повітря або газового середовища при високих температурах (400...900°C). Жаростійкі сталі містять у своєму складі Al, Cr, Si і не утворюють жаровини. Стійкість таких сталей зумовлено утворенням на поверхні

виробів щільних захисних плівок оксидів вказаних легуючих елементів. Так, для виробів з робочими температурами до 850...900°C (клапани двигунів внутрішнього згорання) використовують сталі 40X9C2, 08X17T; для температур до 1100°C (сопла, жарові труби газових турбін) – сталі типу 36X18H25C2. Хромиста сталь з 30% Cr стійка до температури 1200°C.

Жароміцні сталі – це такі, що забезпечують здатність виготовлених з них виробів витримувати механічні навантаження без деформації й руйнування за високих температур (500...1000°C). Вони містять у своєму складі хром, кремній, нікель, молібден та інші елементи. Залежно від призначення розрізняють клапанні сталі, котлотурбінні, газотурбінні сталі, а також сплави з високою жароміцністю.

Для температур 300...500°C використовують Cr-Si-сталі мартенситного класу (сілъхроми) типу 40X9C2, 40X10C2M. З них виготовляють клапани двигунів автомобілів і тракторів. Високолеговані аустенітні сталі типу 17X18H9 (гомогенні) або 45X14H14B2M (гетерогенні – з дрібними карбідними або інтерметалідними фазами) використовують за температур 600...900°C. Аустенітні сталі досить міцні, але в'язкі і погано обробляються різанням. З них виготовляють парові котли, лопатки газових турбін, сопла реактивних двигунів тощо. Для більш високих температур (800...1000°C) використовують хромонікелеві сплави - ніхроми і німоніки з мінімальним вмістом вуглецю (0,06...0,12% C). Вони містять більше 55% Ni і переважають за властивостями кращі жароміцні сталі. За структурою їх поділяють на гомогенні (ніхроми ХН60Ю, ХН78Т та інші) і гетерогенні (німоніки ХН77ТЮ, ХН77ТЮР тощо), леговані, окрім хрому, ще й елементами, які утворюють з нікелем дисперсні інтерметалідні зміцнюючі фази типу (Ni, Co, Cr)₃Ti, (Ni, Co, Cr)₃Al тощо. Маркування нікелевих сплавів здійснюють літерами, які означають елементи, і цифрами, що вказують на вміст нікелю. Так, сплав ХН70ВМТЮ містить 70% Ni, а також Cr, W, Mo, Ti, Al. Жароміцні сплави на основі кобальту використовують обмежено, наприклад для лопаток соплового апарата реактивних двигунів.

4.4. ЧАВУНИ, ЇХ КЛАСИФІКАЦІЯ, СТРУКТУРА ТА ВЛАСТИВОСТІ.

На утворення тієї чи іншої мікроструктури чавуну сильно впливають його хімічний склад і швидкість охолодження відливки. Залежно від стану вуглецю в чавуні розрізняють:

- білий чавун, в якому весь вуглець зв'язаний в цементит;
- сірий чавун, в якому більша частина або весь вуглець знаходиться у вигляді графіту, що має пластинчасту форму;
- високоміцний чавун, в якому більша частина або весь вуглець являє собою графіт, що має кулясту форму.

Структура сірого чавуну: ферит, перліт та графіт (сірий ферито-перлітний чавун); перліт, графіт (сірий перлітний чавун). Структура високоміцного чавуну: ферит, перліт і кулястий графіт; перліт і кулястий графіт; ферит і кулястий графіт.

Сірі чавуни маркують літерами СЧ. Державний стандарт встановлює такі марки сірих чавунів: СЧ 10, СЧ 15, СЧ 18 і т.д. Іноді в дужках після марки вміщують числові значення твердості за Брінеллем. Наприклад, марка СЧ 15 (163-229).

Високоміцні чавуни маркують літерами ВЧ. Встановлюють такі марки високоміцних чавунів: ВЧ 45, ВЧ 50, ВЧ 60, ВЧ 70, ВЧ 80, ВЧ 100. І тут в дужках після найменування можуть стояти числові значення твердості НВ. Після літер ВЧ стоїть число, що означає тимчасовий опір при розтягненні, наприклад, ВЧ 45 (160-220).

Ковкий чавун отримують у результаті тривалого відпалу білого чавуну. При відпалі (900°C, 20...40 годин) відбувається розпад цементиту (процес графітизації). За складом вихідні білі чавуни доевтектичні і мають структуру – ледебурит, цементит вторинний і перліт. Ковкі чавуни маркують літерами КЧ. Державний стандарт встановлює такі марки ковких чавунів: КЧ 30-6, КЧ 33-8, КЧ 35-10, КЧ 37-12,....., КЧ 60-3, КЧ 63-2 (перше число вказує на границю міцності при розтягненні, друга – відносне видовження).

Чавун має вищі ливарні властивості, він дешевший від сталі, проте не здатний в звичайних умовах оброблятися тиском. У чавунах є домішки Si, Mn, P і

S. Чавуни зі спеціальними властивостями, крім того, містять легуючі елементи Ni, Cr, Cu, Mo тощо. Домішки впливають на кількість і будову графіту, який виділяється. Вуглець у звичайних сірих чавунах міститься в кількості 2, 7...3,7 %. З підвищенням вмісту вуглецю збільшується виділення графіту. У всіх випадках для товстостінних відливок застосовують нижчі границі вмісту вуглецю, для тонкостінних – верхні. Сукупний вміст вуглецю та кремнію суттєво впливає на структуру і хімічний склад чавуну. Швидкість охолодження відливки також суттєво впливає на структуру чавуну. Зі збільшенням швидкості охолодження відливки кількість цементиту зростає, зі зменшенням – збільшується вміст графіту. Тому при одному і тому самому хімічному складові чавуну відливки з різною товщиною стінок будуть мати різну мікроструктуру, а отже, і різні механічні властивості. Марганець розчиняється в чавуні з утворенням твердих розчинів з феритом та цементитом. До деякої міри він перешкоджає графітизації чавуну, нейтралізує шкідливий вплив сірки на чавун. Вміст марганцю у сірому чавуні 0,5...0,8%. Збільшення вмісту марганцю до 0,8...1,0% підвищує механічні властивості чавуну, особливо у відливках з тонкими стінками. Фосфор практично не впливає на процес графітизації. У кількості 0,1...0,3% P знаходиться в чавуні в розчиненому стані. Фосфор підвищує крихкість чавуну, бо при наявності його в кількості 0,5...0,7% утворюється фосфідна евтектика Fe-Fe₃P-Fe₃C, яка має температуру плавлення 950°C. Ця евтектика виділяється у вигляді крихкої суцільної сітки на межах зерен. Фосфор поліпшує текучість рідкого сплаву, його зносостійкість, проте погіршує оброблюваність чавуну. Для відповідальних відливок припускається до 0,2...0,3% P. Відливки, які працюють на стирання, можуть містити до 0,7...0,8% P, тонкостінні відливки і відливки художнього лиття – близько 1% P. Шкідливий вплив сірки нейтралізують додаванням марганцю в кількостях, що перевищують вміст сірки у 5-7 разів. Утворюється MnS, який має температуру плавлення 1620°C. Крім того, переважна частина MnS переходить до шлакової фази. Вміст сірки у чавуні обмежується 0,12%, а у високоміцних – 0,03%.

Легуючі елементи (Ni, Cr, Cu, Ti, Mo) покращують властивості чавуну; Ni та Cr звичайно застосовують сукупно. В результаті легування чавуну перліт подрібнюється або утворюються інші, ще більш тонкі структури.

Контрольні запитання

1. Як і за якими ознаками класифікують вуглецеві сталі?
2. Як маркують вуглецеві сталі і промислові чавуни?
3. Леговані сталі, їх класифікація і маркування.
4. Наведіть приклади легованих зносостійких, інструментальних, корозійностійких сталей.
5. Який вміст вуглецю у легованих конструкційних (цементованих і поліпшуваних) сталях?
6. Які види чавунів вам відомі?

ЛІТЕРАТУРА

1. Хільчевський В.В., Кондратюк С.Є., Степаненко В.О., Лопатько К.Г. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів. – Київ: «Либідь», 2002.-326 с.
2. Кузін О.А., Яцюк Р.А. Металознавство та термічна обробка металів. Підручник - Львів: Афіша, 2002.- 304 с.
3. Є.Г. Афтандіянц, О.В. Зазимко, К.Г. Лопатько. Матеріалознавство: Підручник. К.: Вища освіта, 2012.- с 548.
4. Т.Ф. Архипова. Прикладне матеріалознавство: навч. посібник Вінниця: ВНТУ, 2013. – 60 с.
5. Матеріалознавство: підручник / С.С. Дяченко, І. В. Дощечкіна, А.О. Мовлян, Е. І. Плешаков; за ред. проф. С.С. Дяченко. – Харків : ХНАДУ, 2007. - 440 с.
6. Пахолюк А.П. Основи матеріалознавства і конструкційні матеріали : посібник / А.П. Пахолюк, О.А. Пахолюк. – Львів : Світ, 2005. – 172 с., іл.
7. Попович В.В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: підручник / В.В. Попович, В.В. Попович. – Львів : Світ, 2006. – 624 с.

Навчальне видання

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни

«МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО»

(Частина 1)

(для здобувачів вищої освіти спеціальностей

273 «Залізничний транспорт», 274 «Автомобільний транспорт»»)

(Електронне видання)

Укладачі:

БІЛОШИЦЬКИЙ Микола Володимирович

ТАТАРЧЕНКО Галина Олегівна

БІЛОШИЦЬКА Наталія Іванівна

Техн. редактор Н.І. Білошицька

Оригінал - макет М.В. Білошицький

Підписано до друку _____

Формат 60×841/16. Папір типограф. Гарнітура Times.

Друк офсетний. Умов. друк. арк. ____ . Обл.-вид. арк. ____ .

Тираж ____ прим. Вид. № ____ . Замовл. № ____ . Ціна договірна.

Видавництво Східноукраїнського національного університету
імені Володимира Даля

Адреса видавництва: м. Київ, вул. Іоанна Павла II буд 17, Телефон: +38(050) 218
04 78, факс (064 52) 4 03 42

E-mail: vidavnictvosnu.ua@gmail.com