

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

**Ю. О. КАЗИМИРЕНКО, Н. Ю. ЛЕБЕДЄВА,
В. В. СПІХТАРЕНКО**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до самостійної роботи з дисципліни
"Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів"

Рекомендовано Методичною радою НУК

Миколаїв 2009

УДК 620.22 (075.8)

Казмиренко Ю.О., Лебедєва Н.Ю., Спїхтаренко В.В. Методичнї вказївки до самостїйної роботи студентїв з дисциплїни "Матерїалознавство і технологїя конструкційних матерїалїв". – Миколаїв: НУК, 2009. – 44 с.

Кафедра матерїалознавства і технологїї металїв

Подано короткї вїдомостї з теоретичного курсу дисциплїни "Матерїалознавство", якї супроводжуються перелїком питань для самостїйної самоперевїрки, що надаються до кожного теоретичного роздїлу вїдповїдно змїстових модулїв за кредитно-модульною системою навчання. Наводяться приклади типових тестових завдань для поточної перевїрки знань студентїв.

Призначено для студентїв денної та заочної форм навчання машинобудївного, кораблебудївного інститутїв, а також студентїв спецїальностей технологїчного факультету Інституту комп'ютерних та інженерно-технологїчних наук.

Рецензент С.Г. Кулїк, доцент

Згїдно з наказом ректора НУК № 08 вїд 09.01.2008 методичнї вказївки друкуються в авторськїй редакцїї і вїдповїдальнїсть за їх редагування несе автор.

Тема 1. АТОМНО-КРИСТАЛІЧНА БУДОВА МЕТАЛІВ

Під атомно-кристалічною будовою розуміють упорядковане розміщення атомів, які утворюють кристалічну решітку. Кристалічна решітка являє собою уявну просторову сітку, у вузлах якої розміщені атоми (іони), що утворюють тверде кристалічне тіло. У металі, який знаходиться у твердому стані, атоми фіксовані у відповідному положенні один відносно одного, проте вони не є нерухомими, а безперервно коливаються відносно певного середнього положення.

Найменший об'єм кристалічних решіток, який дає уявлення про атомну структуру металу, називається *елементарною кристалічною коміркою*. Для опису елементарних кристалічних комірок використовують шість величин: ребра комірки – a , b , c (параметри комірки, періоди решітки); кути між ребрами – α , β , γ . Щільність кристалічної решітки характеризується координатним числом і базисом. *Координатне число* – число атомів, розташованих на рівній і найменшій відстані від даного атома. *Базис* – число цілих атомів на одну комірку. Багато металів залежно від температури можуть існувати в різних кристалічних формах, або модифікаціях. Перетворення кристалічної решітки одного типу на кристалічну решітку іншого типу називається *поліморфним перетворенням*.

Методичні рекомендації. В цьому розділі необхідно розглянути типи хімічного зв'язку у твердих тілах. Основну увагу зверніть на особливий тип металевого зв'язку, тому що саме він обумовлює відмінні властивості металів: високу електропровідність і теплопровідність, високу пластичність, металевий блиск. Розгляньте основні типи кристалічних решіток. Визначте періоди, координатне число та базис решітки. Визначте

дефекти кристалічної будови: точкові, лінійні і просторові. Проаналізуйте явища анізотропії і поліморфізму.

Питання для самоперевірки. 1. У чому сутність металевого, іонного і ковалентного типів зв'язку? 2. Наведіть характерні властивості металів і поясніть чим вони визначаються? 3. Дайте характеристику явищу анізотропії властивостей кристалів. 4. Дайте характеристику явищу поліморфізму? 5. Наведіть основні типи кристалічних решіток. 6. Визначте дефекти кристалічної будови і дайте їм характеристику.

Тема 2. КРИСТАЛІЗАЦІЯ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ

Кристалізацією називають перехід металів з рідкого стану в твердий кристалічний. Відбувається вона внаслідок переходу системи до термодинамічно більш стійкого стану з меншою вільною енергією або термодинамічним потенціалом. Вільна енергія системи, що має величезне число охоплених тепловим рухом частинок, становить $F = U - TS$, де U – повна енергія системи; T – абсолютна температура; S – ентропія (характеризує тепловий стан тіла). З підвищенням температури вільна енергія зменшується. Процес кристалізації складається з двох стадій: утворення центрів кристалізації (зародків кристалів) та розростання кристалів навколо цих центрів. Утворений центр кристалізації стає стійким лише при досягненні достатнього (критичного розміру). *Критичним* називається мінімальний розмір зародка, здатного до росту при даних температурних умовах.

Гомогенне виникнення зародків у рідкому металі може відбуватися тільки в дуже чистому металі. В технічних металах завжди присутня велика кількість домішок, які за певних умов полегшують виникнення зародків, оскільки фактично є готовими центрами кристалізації. Таке виникнення зародків на основі сторонніх центрів кристалізації називають *гетерогенним*.

Методичні рекомендації. В цьому розділі необхідно розглянути залежність вільної енергії металу в рідкому та твердому станах від температури. Визначити рівноважну температуру кристалізації (плавлення). Розглянути криві охолодження при кристалізації металу з різними швидкостями, механізм і параметри процесу кристалізації.

Питання для самоперевірки. 1. Визначте енергетичні і температурні умови процесу кристалізації. 2. Що називається ступенем переохолодження і як на нього впливає швидкість охолодження? 3. Визначте

стадії процесу кристалізації; визначте вплив ступеню переохолодження на розмір критичного зародка. 4. Проаналізуйте способи регулювання розмірів зерен в процесі кристалізації. 5. Визначте фактори, які впливають на форму кристалів. Дайте характеристику зонам металевого зливка.

Тема 3. ХОЛОДНА ПЛАСТИЧНА ДЕФОРМАЦІЯ І РЕКРИСТАЛІЗАЦІЯ МЕТАЛІВ

Деформацією називають зміну форми та розмірів тіла під дією сил. Деформація буває *пружною*, яку можна усунути припиненням дії сил, і *пластична*, яка залишається і після того, як сили перестали діяти. У разі пружного деформування змінюється відстань між атомами в кристалічній решітці. При пластичному деформуванні відбувається зсув (*ковзання*) однієї частини кристала відносно іншої. Також пластична деформація реалізується *двійникуванням*, яке завершується зсувом частини кристала в інше симетричне щодо першої частини положення відносно площини двійникування.

Наклеп – зміцнення металу внаслідок пластичної деформації. Особливо інтенсивно властивості міцності підвищуються на початкових стадіях деформації. При великих значеннях деформації настає "насичення", тобто властивості міцності практично не підвищуються, спроможність до пластичної деформації втрачається, починається процес руйнування. У процесі деформації щільність дислокацій збільшується. Накопичення їх відбувається на границях зерен, блоків та включень. Виникають "сидячі" (закріплені) дислокації у кристалічних площинах, по яких не може здійснюватися ковзання. Збільшення щільності дислокацій і основною причиною підвищення властивостей міцності. Вважається, що зміцнення досягає насичення при густині дислокацій, яка дорівнює 10^{12} см^{-2} . Пластична деформація викликає зміни фізичних властивостей металу: підвищується електроопір, коерцитивна сила, збільшується питомий об'єм, зменшується теплопровідність. Температура, за якої властивості інтенсивно змінюються в напрямку до початкових, називається температурним порогом рекристалізації.

Пластична деформація переводить метал у структурно-нестійкий стан. Для збільшення рухливості атомів і переходу металу з нестабільного стану в стабільний необхідно підвищити температуру. При нагріванні в пластично-деформованому металі розвиваються такі процеси: повернення, первинна і вторинна рекристалізації. Процес, при якому вла-

стивості поступово змінюються у напрямку до початкових, називається відпочинком, або поверненням. Після відпочинку не спостерігаються зміни структури. При звичайному металографічному дослідженні виявляється волокниста структура, притаманна деформованому шару. Рентгеноструктурний аналіз виявляє зменшення напруги другого роду, отже, відбувається зміна тонкої структури зерен. При певному підвищенні температури у вузькому інтервалі спостерігається різка зміна властивостей у напрямку до початкових, тобто до тих, які мав матеріал до пластичної деформації. При цьому металографічні дослідження виявляють різку зміну структури деформованого металу. На фоні волокнистої структури з'являються нові рівновісні зерна. З підвищенням температури та збільшенням часу витримки вони заповнюють весь об'єм металу.

Процес зародження нових рівновісних зерен під час нагрівання пластично деформованого металу називається *первинною рекристалізацією*. При рекристалізації утворюються зародкові центри, що являють собою мікрооб'єми з відновленими кристалічними ґратками. Вони з'являються у місцях, де було найбільше викривлених кристалічних ґраток і напруга була максимальною. Виниклі зародки ростуть шляхом приєднання атомів із спотвореного оточення, напруга при цьому зменшується. Розмір зерна після рекристалізації суттєво впливає на властивості металу. Метали та сплави з дрібним зерном є значно міцнішими.

Методичні рекомендації. В даному розділі необхідно розглянути фізичну природу деформації і руйнування. Особливу увагу приділіть механізму пластичної деформації, її впливу на структуру металу, а також на щільність дислокацій. Розберіться в сутності явища наклепу і його практичному використанні. Необхідно знати сутність рекристалізаційних процесів: повернення, первинної рекристалізації, вторинної рекристалізації, що протікають при нагріванні деформованого металу. Усвідомити, як при цьому змінюються механічні і фізико-хімічні властивості. Встановити вплив складу сплаву і ступеня пластичної деформації на протікання рекристалізаційних процесів.

Питання для самоперевірки. 1. Поясніть у чому полягає різниця між пружною і пластичною деформаціями? 2. Як змінюється будова металу в процесі пластичного деформування? 3. Як змінюється щільність дислокацій при пластичній деформації? 4. Як впливають дислокації на міцність металу? 5. Чому спостерігається величезне розходження теоретичної і практичної міцності? 6. Як впливає зміна будови на властивості деформованого металу? 7. У чому сутність явища наклепу і яке він

має практичне використання? 8. Проаналізуйте процеси, які протікають в деформованому металі при нагріванні. 9. Поясніть, як змінюються властивості деформованого металу при нагріванні? 10. Наведіть призначення рекристалізаційного відпалу і як він здійснюється?

Тема 4. ТЕОРІЯ СПЛАВІВ

Сплав – це речовина, яку одержують сплавленням двох або більш компонентів. До інших методів отримання сплаву відносяться спікання, електроліз, сублімація. У цьому випадку речовини називають *псевдосплавами*, але найбільш поширеним є виробництво сплавів через сплавлення різних елементів (речовин). У виробництві переважно використовують не чисті метали чи неметали, а сплави металів з металами або з неметалами, бо вони мають більш високі властивості. Крім того, сплавлення дає змогу в широких межах змінювати в потрібному напрямку ці властивості. Слав, який одержують переважно з металевих елементів і має металеві властивості, називають *металевим сплавом*, будова якого безпосередньо залежить від того, як взаємодіють компоненти сплаву. У твердому стані може не бути хімічної взаємодії між компонентами – простими речовинами, які утворюють сплав. Тоді сплав являє собою механічну суміш окремих частинок, зерен компонентів. Складові сплаву можуть взаємодіяти, утворюючи хімічні сполуки, взаємно розчинятися, утворюючи розчини. Крім розчинів та хімічних сполук, можливо утворення таких фаз, які не належать до згаданих і є проміжними.

Фаза – це однорідна частина системи, яка відокремлена від інших частин поверхнею поділу, при переході через яку різко змінюються склад і властивості. Під *структурою* розуміють форму, розміри та взаємне розташування фаз у матеріалі. *Тверді розчини* – це фази змінного складу, в яких атоми іншого елементу В розміщуються у решітці елементу А, не змінюючи їх типу. Розміщення відбувається заміщенням або шляхом проникнення атомів В між вузлами ґраток А. У першому випадку розчини називають *твердими розчинами заміщення*, у другому – *твердими розчинами проникнення*.

Тверді розчини заміщення. У цьому випадку атоми розчиненої речовини розподіляються у решітці розчинника шляхом заміщення атомів останнього. Утворення твердих розчинів завжди супроводжується збільшенням електроопору; тверді розчини менш пластичні і завжди твердіші порівняно з чистими металами. Якщо розміщення атомів закономірне,

твердий розчин називають впорядкованим. При впорядкованості зменшується електроопір, пластичність, збільшується твердість і міцність. Впорядковані тверді розчини зустрічаються у системах із значною або необмеженою розчинністю у твердому стані. Необмежена розчинність у твердому стані має місце у сплавах міді із золотом, міді з нікелем, германію з кремнієм. *Тверді розчини проникнення.* Такі тверді розчини утворюються при сплавленні перехідних металів з неметалами, які мають малий атомний радіус – Н, N, С, В. Прикладом твердих розчинів проникнення, які мають промислове значення, можуть бути розчини вуглецю в Fe_γ і Fe_α . Викривлення решітки розчинника при цьому значно більше, ніж у твердих розчинах заміщення. У зв'язку з цим більш різко змінюються властивості. При збільшенні кількості розчиненого елемента в твердих розчинах проникнення помітно збільшується електроопір, коерцитивна сила, твердість, міцність, але помітно знижується пластичність, в'язкість.

У сплавах, які складаються більш ніж з двох компонентів, можлива розчинність в одному розчинникові шляхом заміщення і проникнення. Наприклад, при сплавленні заліза з марганцем і вуглецем виникає твердий розчин, в якому марганець розчиняється шляхом заміщення, а вуглець – шляхом проникнення. Також тверді розчини можуть виникати і на базі хімічних сполук. У цьому випадку зберігаються решітка хімічної сполуки $A_n B_m$, але надлишкова кількість атомів, наприклад, В, розчиняється, заміщуючи у ґратках певну кількість атомів А. Можлива також розчинність і третього елемента С у хімічній сполуці. Тверді розчини становлять основу більшості промислових конструкційних сплавів і сплавів спеціального призначення. Слід підкреслити то, що тверді розчини – це кристали, найбільш близькі за властивостями до розчинника, бо зберігають його решітку і тип зв'язку. Наприклад, тверді розчини на базі металів відрізняються високою технологічною пластичністю; добре деформуються у гарячому стані, а багато з них – у холодному.

Проміжні фази. Кристали, які утворюються різними елементами і мають особливий стан кристалічних решіток, відмінних від решіток цих елементів, називають проміжними фазами.

4.1. Основні діаграми стану подвійних систем

Властивості сплаву залежать від багатьох факторів, але перш за все вони визначаються складом фаз та їх кількісним співвідношенням. Ці відомості можна одержати за допомогою аналізу діаграм стану. Знання

діаграм стану дає можливість уявити формування структури всіх сплавів, визначити оптимальну температуру заливки сплаву для одержання литої деталі, оцінити рідкотекучість вибраного сплаву і можливість одержання хімічної неоднорідності; зробити висновок стосовно можливості й умови обробки тиском.

Діаграма стану у випадку повної розчинності компонентів в рідкому і твердому станах. Правило відрізків.

Обидва компоненти необмежено розчинені у рідкому та твердому станах, але не утворюють хімічну сполуку (рис. 1).

Компоненти: А, В. *Фази:* L, α .

Якщо два компоненти необмежено розчиняються у рідкому і твердому станах, можливе існування тільки двох фаз – рідкого розчину L і твердого розчину α . Діаграма складається з трьох областей: рідина, рідина і твердий розчин, твердий розчин. Лінія AmB називається лінією *ліквідус*, а лінія AnB – лінією *солідус*. Точка 1 відповідає початку кристалізації, точка 2 – закінченню. Між точками 1 і 2 (тобто між лініями ліквідус і солідус) сплав перебуває у двохфазному стані. Якщо існують два компоненти і дві фази, система моноваріантна, тобто, якщо змінюється температура, то змінюється і концентрація у фазах; кожній температурі відповідають певні склади фаз: ($c = k - f + 1 = 2 - 2 + 1$).

Концентрація і кількість фаз сплаву, який знаходиться між лініями солідус і ліквідус, визначається правилом відрізків. Так, сплав 1 у точці a складається з рідкої і твердої фаз. Склад рідкої фази визначається проекцією точки, яка лежить на лінії ліквідус, а твердої – проекцією точки c, яка лежить на лінії солідус. Кількість рідкої і твердої фаз визначається співвідношеннями: кількість рідкої фази – ac/bc , кількість твердої фази – ab/bc .

Правило визначення складу фаз (правило концентрацій): для визначення концентрацій компонентів у двох фазах через точку, яка характеризує стан сплаву, проводять горизонтальну лінію (коноду) до перетину з лініями, які обмежують дану область; проекції точок перетину на горизонтальну вісь діаграми покажуть склади фаз.

Правило визначення кількісного співвідношення фаз (правило

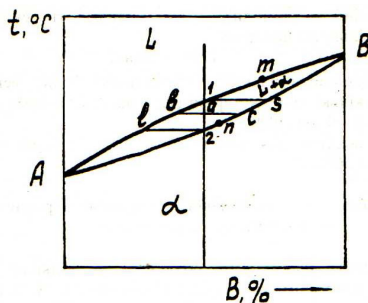


Рис. 1. Діаграма стану сплавів, компоненти яких розчинені в рідкому і твердому станах

відрізків). Через дану точку проводять горизонтальну лінію. Відрізки цієї лінії (коноди), які визначають склад фаз, обернено пропорціональні кількості цих фаз: $L/a = ac/ab$.

Якщо треба визначити кількість тієї чи іншої фази, всю коноду вважають за 100 % сплаву, кількість рідкої фази (як у нашому випадку) розраховують як $ac/bc \cdot 100\%$, твердої – $ab/bc \cdot 100\%$. Ці правила справедливі для двофазної області діаграми стану і не мають сенсу в однофазній області.

Діаграма стану сплавів з обмеженою розчинністю компонентів у твердому стані

Обидва компоненти необмежено розчинні у рідкому стані, обмежено у твердому і не утворюють хімічних сполук. В таких сплавах можлива нонваріантна рівновага, якщо одночасно існують три фази: L, α , β . Залежно від того, яка реакція здійснюється в умовах існування трьох фаз, можуть бути два види діаграм: діаграма з евтектикою та діаграма з перитектикою.

Діаграма з евтектикою (рис. 2)

Компоненти: A, B. Фази: L – рідка фаза, α – твердий розчин компонента B у компоненті A; β – твердий розчин компонента A у компоненті B. У цій системі не утворюються фази, що являють собою чисті компоненти. З рідини можуть виділятися тільки тверді розчини α і β . Лінія DF – показує граничну розчинність компонента B у A. Лінія CG – граничну розчинність компонента A у B. Сплави, які розмістилися між цими лініями за межею розчинності складаються з двох фаз $\alpha + \beta$. Лінія AEB цієї діаграми називається лінією ліквідус; лінія ADECB – лінією солідус. За допомогою правила фаз та правила відрізків можна простежити за процесом кристалізації будь-якого сплаву. *Евтектикою* називають структуру, яка складається з певного поєднання двох (або більше) твердих фаз,

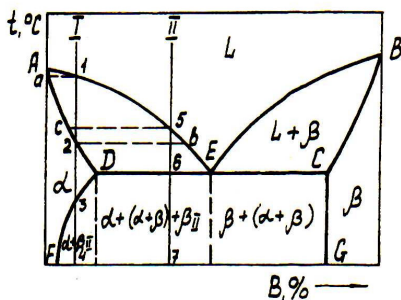


Рис. 2. Діаграма з евтектикою

що одночасно кристалізуються з рідкого сплаву. Сплави, в яких відбувається одночасна кристалізація двох (або більше) фаз при постійній і найнижчій для даної системи температур, називають *евтектичними*. Ті сплави, які лежать лівіше точки E, називають *доевтектичними*, правіше – *зевтектичними*. Якщо відбувається евтектичне перетворення, рідина кристалізується з утворенням двох твердих фаз.

Діаграма з перитектикою (рис. 3)

Перитектичне перетворення спостерігається у багатьох промислових сплавах, наприклад, у сплавах Fe-C (до 0,51 %C), Cu-Zn, Cu-Sn. На відміну від евтектичного перетворення можливий і інший тип нонваріантного перетворення (трифазової рівноваги), коли рідина взаємодіє з кристалами, які раніше випали, і утворює новий вид кристалів. Реакція подібного типу називається *перитектичною*. На діаграмі показано три однофазні зони: рідина – L і обмежені тверді розчини α і β . ACB – лінія ліквідус, APDB – лінія солідус.

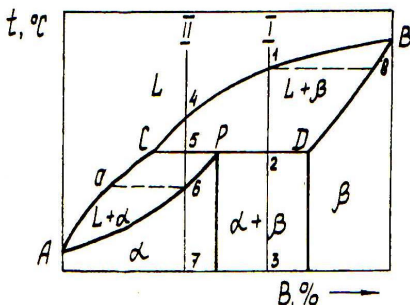


Рис. 3. Діаграма з перитектикою

Діаграми стану сплавів, які утворюють хімічні сполуки

Хімічна сполука (стійка і нестійка) спостерігається в деяких промислових сплавах Fe-Al, Ni-Al, Fe-C. Хімічна сполука характеризується певним співвідношенням компонентів, а це зображається на діаграмі вертикальною лінією A_nB_m , яка проходить на осі абсцис через точку, яка відповідає даному співвідношенню компонентів у хімічній сполуці. Хімічна сполука стійка, якщо її можна нагрівати без розпаду до плавлення, і нестійка, якщо нагрівання призводить до розпаду. Залежно від цього можуть бути два типи діаграм.

Діаграма з стійкою хімічною сполукою (рис. 4)

У даному випадку компоненти A і B утворюють стійку хімічну сполуку A_nB_m . Ця сполука і чисті компоненти не утворюють у твердому стані розчинів, тому твердими фазами у цієї діаграмі є A, A_nB_m і B. З чотирьох можливих у цій системі фаз можуть співіснувати три: L, A, A_nB_m або L, B, A_nB_m . Ця хімічна сполука стійка, тому вона може бути нагріта до своєї температури плавлення (точка C). Хімічна сполука плавиться при постійній температурі. Діаграма має дві евтектичні точки: E_1 та E_2 .

Евтектика E_1 являє собою суміш кристалів компонента A та хімічної сполуки, а евтектика E_2 – кристалів

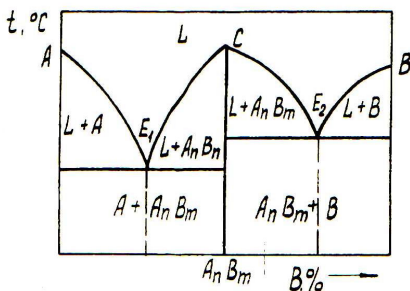


Рис. 4. Діаграма з стійкою хімічною сполукою

В і хімічної сполуки. Відповідні реакції утворення евтектичних сумішей мають такий вигляд:



На лініях E_1C і CE_2 виділяються первинні кристали хімічної сполуки. Таким чином, заевтектичні сплави відносно E_1 та доевтектичні сплави відносно евтектики E_2 у твердому стані складаються з первинних кристалів $A_n B_m$ та евтектики E_1 або E_2 . Кристалізація сплавів за цією діаграмою відбувається аналогічно кристалізації сплавів, які утворюють механічну суміш кристалів чистих компонентів. Різниця тільки у тому, що, крім виділення чистих компонентів A та B , утворюється хімічна сполука. Якщо компоненти A і B утворюють між собою дві або більше хімічних сполук, така діаграма являє собою діаграму, що складається з трьох, з чотирьох тощо простих діаграм механічних сумішей.

Діаграма з нестійкою хімічною сполукою (рис. 5)

На відміну від діаграми зі стійкою хімічною сполукою в цьому випадку два компоненти утворюють нестійку хімічну сполуку, яка при нагріванні до певної температури (t_1) розпадається на рідину та один з компонентів, тобто *не розплавляється повністю*.

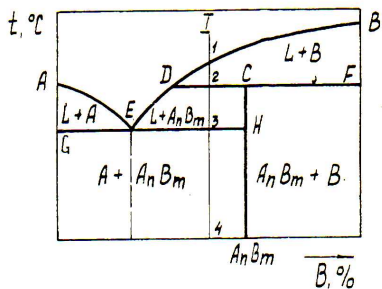


Рис. 5. Діаграма з нестійкою хімічною сполукою

На лінії DCF у рівновазі перебувають три фази: рідина концентрації D , кристали компонента B та кристали хімічної сполуки $A_n B_m$. При нагріванні хімічна сполука $A_n B_m$ розпадається на рідину концентрації D та кристали B . Таким чином, при охолодженні відбувається оборотна реакція: $L_D + B \rightarrow A_n B_m$.

Реакція ця подібна до перитектичної: рідина взаємодіє з кристалами,

які випали раніше, але утворює не твердий розчин, як у випадку перитектичної реакції, а хімічну сполуку.

Процес кристалізації сплаву 1 у рівноважних умовах здійснюється таким чином: у точці 1 починається кристалізація, випадають кристали B і концентрація рідини змінюється за кривою 1- D . У точці 2 при постійній температурі утворюється нестійка хімічна сполука за формулою, що наведена вище. При закінченні реакції залишається рідина, яка кристалізується з утворенням $A_n B_m$ до тих пір, поки концентрація не досягне

точки Е. Тоді рідина, що залишилася, кристалізується в евтектику, яка складається з кристалів А та хімічної сполуки. Таким чином, на кривій маємо дві площадки: верхню, яка відповідає утворенню нестійкої хімічної сполуки, і нижню, яка відповідає утворенню евтектики $A + A_n B_m$.

Діаграма стану для сплавів з поліморфним та евтектоїдним перетвореннями (рис.6)

Велике практичне значення мають сплави, в яких один з компонентів або обидва зазнають поліморфного перетворення. Якщо для таких сплавів застосувати термічну обробку,

то можна одержати метастабільний стан структури з новими властивостями. У діаграмах, що розглядалися, вивчалася первинне перетворення, яке пов'язане з процесом кристалізації з рідкого сплаву. При вторинній кристалізації завдяки зміні розчинності при зміні температури виділяються вторинні кристали. Вторинна кристалізація спостерігається і в тому випадку, якщо хоч один з компонентів зазнає поліморфного (алотропічного) перетворення. У діаграмах з поліморфним перетворенням верхня частина діаграми характеризує первинну кристалізацію, нижня – вторинну. Вид діаграми стану залежить від того, які сполуки утворюються між алотропічними формами двох компонентів. Компоненти: А і В. Компонент має дві модифікації: A_α і A_β . Перша існує при низькій температурі, друга – при високій. Компонент В теж має дві модифікації: низькотемпературну B_α і B_β . Якщо низькотемпературні модифікації обмежено розчинені одна і одній, а високотемпературні – необмежено, тоді маємо поєднання діаграм. Завдяки первинній кристалізації всі сплави цієї системи утворюють однорідний β - твердий розчин, який при зниженні температури розпадається завдяки обмеженій розчинності. α – обмежений твердий розчин компонента В в α -модифікації компонента А; α' – обмежений твердий розчин компонента А в α -модифікації компонента В. Лінії ac та ce відповідають температурі початку розпаду β -твердого розчину (необмеженого розчину високотемпературних модифікацій компонентів А і В). Якщо температура знижується нижче лінії ac , у рівновазі перебувають кристали твердих розчинів β і α . Якщо температура стає нижчою від положення лінії ce , у рівновазі перебувають β і α' фази. Склад

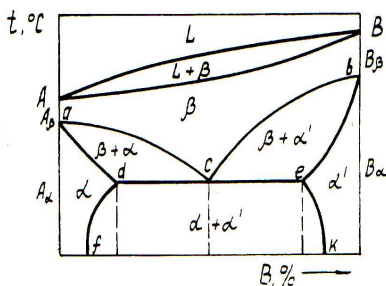


Рис. 6. Діаграма стану для сплавів з поліморфним і евтектоїдним перетвореннями

β -твердого розчину зі зниженням температури змінюється за лінією sv , а α' -фази за лінією ve . При досягненні ізотерми dce твердий розчин, склад якого відповідає точці c (β_c), розпадається при постійній температурі: $\beta_c = \alpha_d + \alpha'_e$. Розпад β -розчину на суміш двох фаз α і α' можна описати подібно до евтектичного перетворення, але в цьому випадку початковою фазою буде твердий розчин (не рідина, як при евтектичному перетворенні). Подібне перетворення на відміну від евтектичного називається *евтектоїдним*, а суміш кристалів ($\alpha + \alpha'$) – *евтектоїдом*. Сплави, які розміщені лівіше точки c , називаються *доевтектоїдними*; сплав, який відповідає точці c – *евтектоїдним*; а сплави, які розміщені правіше точки c – *заевтектоїдними*.

4.2. Фізичні та механічні властивості сплавів у рівноважному стані. Правило Курнакова

Властивості сплавів значною мірою визначаються фазовим складом, який можна характеризувати діаграмою стану. Вперше за зв'язок між видом діаграми та властивостями вказав Н.С. Курнаков. На рис. 7 наведені 4 основні типи діаграм стану й закономірності зміну властивостей сплаву із зміною концентрації. Ці закономірності вказують на те, що у твердих розчинах такі властивості як твердість, питомий електроопір,

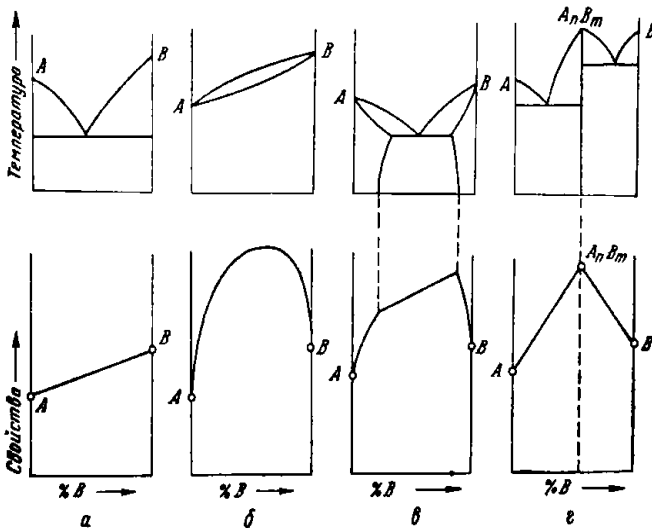


Рис. 7. Закономірності Н.С. Курнакова

коерцитивна сила та інші завжди переважають над властивостями початкових компонентів.

Тобто на цьому рисунку схематично наведено чотири варіанти:

1. При утворенні сумішей (рис. 7,*а*) властивості сплаву змінюються за лінійними законами (адитивне). Властивості сплавів знаходяться в інтервалі між властивостями чистих компонентів.

2. При утворенні твердих розчинів (рис. 7,*б*) властивості сплаву змінюються за криволінійними залежностями, однак, деякі властивості, у першу чергу електроопір, можуть значно відрізнятись від властивостей компонентів. Тобто при утворенні механічної суміші електроопір підвищується незначно, а при утворенні твердого розчину – сильно. Тому розпад твердого розчину на дві (або більш) фази призводить до підвищення електропровідності.

3. При утворенні обмежених твердих розчинів (рис. 7,*в*) властивості у інтервалі концентрацій, який відповідає однофазним твердим розчинам, змінюється за криволінійним, а двофазній області діаграми – за прямолінійним законом. При цьому крайні точки на прямій є властивостями чистих фаз максимально насичених твердих розчинів, які утворюють дану суміш.

4. При утворенні хімічної сполуки на діаграмі концентрація – властивості (рис. 7,*г*), концентрація хімічної сполуки відповідає максимуму (або мінімуму) на кривій. Ця точка перелому, яка відповідає хімічній сполуці, називається *сингулярною (особливою) точкою*. По діаграмі склад – властивості знаходимо стехіометричне співвідношення компонентів даної хімічної сполуці, при цьому визначається, який концентрації відповідає сингулярна точка.

Вивчення властивостей в залежності від зміни концентрації (тобто побудова діаграми *склад – властивості*) є важливим при вивченні та побудові діаграм стану. Цей метод був покладений Н.С. Курнаковим в основу *фізико-хімічного аналізу сплавів*.

Методичні рекомендації. Необхідно чітко представляти будову металів і сплавів у твердому стані. Уяснити, що таке твердий розчин, хімічна сполука, механічна суміш. Необхідно засвоїти загальну методику побудови діаграм стану для різних випадків взаємодії компонентів в твердому стані. При вивченні діаграм стану вміти застосовувати правила відрізків (для визначення складу та кількості фази, або структурної складової в сплаві), правило фаз (для побудови кривих нагрівання і охолодження). За допомогою правила Курнікова встановлювати зв'язок між складом, бідовою та властивостями сплаву.

Питання для самоперевірки. 1. Дайте визначення: компонент, фаза, фізико-хімічна система, число ступенів свободи? 2. Що являють собою тверді розчини заміщення і проникнення? 3. Визначте методи побудови діаграм стану? 4. Наведіть рівняння правила фаз і поясніть фізичний смисл числа ступенів свободи. 5. Поясніть принцип побудови кривих нагрівання й охолодження за допомогою правила фаз. 6. Як буде виглядати ділянка кривої охолодження, якщо число ступенів свободи дорівнює двом і існує одна фаза? Те ж, для числа ступенів свободи, рівного одиниці, у випадку випадання твердої фази з рідкої. Те ж, для числа ступенів свободи, рівного нулю. 7. Яким чином визначаються концентрація фаз і їх кількісне співвідношення? 8. У чому розходження між евтектичною і перитектичною кристалізаціями? 9. У чому розходження між евтектоїдним і евтектичним перетвореннями? 10. Проаналізуйте зв'язок між типом діаграми стану і властивостями сплавів за правилом Н.С. Курнакова.

Тема 5. ДІАГРАМА СТАНУ ЗАЛІЗО-ЦЕМЕНТИТ

Діаграма стану залізо – цементит (залізо – вуглець) дає основні уявлення про будову залізо-вуглецевих сплавів – сталей і чавунів.

Компоненти: в системі Fe – C два компонента: Fe і C. *Залізо* – метал м'який і у чистому виді не застосовується, його температура плавлення становить 1539 °С. У твердому стані воно може бути в двох модифікаціях: α (ОЦК) і γ (ГЦК). Принципово важливим фактором є то, що α -залізо існує у двох інтервалах температур: нижче 911 °С і від 1392 до 1539 °С. Пояснення цього явища слід шукати в зміні величин вільної енергії залежно від температури. При 768 °С залізо зазнає магнітне перетворення; вище 768 °С воно стає немагнітним і цю точку називають точкою Кюрі і позначають A_2 . *Вуглець* – є неметалевим елементом, густиною 2,5 г/см³, температура плавлення становить приблизно 4000 °С. Вуглець поліморфний. У звичайних умовах він існує у вигляді модифікацій графіту, але може існувати й вигляді нестабільної модифікації алмазу. Вуглець розчиняється у залізі в рідкому та твердому станах, також може бути у вигляді хімічної сполуки – цементиту, а у високовуглецевих сплавах – у вигляді графіту.

Фази системи Fe – C: *рідина* – рідкий розчин вуглецю у залізі; існує вище лінії ліквідус, позначається літерою L; *ферит* – твердий розчин вуглецю у α -залізі, позначається Ф або Fe α (α -Fe). Розрізняють низькотемпературний α -ферит, який розчиняє до 0,02 % вуглецю та високотем-

пературний δ -ферит з граничною розчинністю вуглецю 0,1 %; *аустеніт* – твердий розчин вуглецю у γ -залізі; позначається А або Fe γ (або γ -Fe). Гранична розчинність вуглецю у γ -залізі 2,14 %. Аустеніт пластичний, але має більшу міцність ніж ферит; *цементит* – хімічна сполука заліза з вуглецем – карбід заліза Fe₃C. Цементит утримує 6,67 % вуглецю. Позначається цементит хімічною формулою або літерою Ц; *графіт* – алотропічна модифікація вуглецю. Позначається графіт літерою Г. Кристалічна решітка графіту гексагональна шарувата. Графіт м'який, має низьку міцність, електропровідний, хімічно стійкий.

Структурні складові. *Перліт* – це евтектоїдна суміш фериту та цементиту, позначається літерою П, його називають ще евтектоїдом. Можна дати і таке визначення: перліт це продукт евтектоїдного розпаду аустеніту. Перліт утримує 0,8 % С і є структурною складовою. Частіше будова його пластична. *Ледебурит* – евтектична суміш аустеніту та цементиту, позначається літерою Л. Суміш містить 4,3 % вуглецю. Це теж структурна складова. При охолодженні ледебуриту нижче 727 °С аустеніт, який входить до його складу, перетворюється в перліт і при нормальній температурі він являє суміш цементиту та перліту. Ледебурит має велику твердість та крихкість. Він не піддається обробці тиском та майже не оброблюється різанням. Діаграма стану залізо – цементит характеризує фазовий склад та перетворення в сплавах з концентрацією від чистого заліза до цементиту. Особливість діаграми полягає у тому, що на осі концентрації часто позначають дві шкали, які вказують на кількість вуглецю та цементиту. Перетворення в сплавах діаграми стану відбувається при кристалізації рідкої фази (L) і твердому стані. Первинна кристалізація відбувається в інтервалі температур, які визначаються лінією ліквідус (ABCD) і солідус (AHJECF) (рис. 8).

Вторинна кристалізація відбувається завдяки перетворенню заліза однієї алотропічної модифікації в іншу та зміни розчинності вуглецю в аустеніті та фериті. При зниженні температури ця розчинність зменшується. Лінія ES характеризує зміну концентрації вуглецю в аустеніті, а лінія PQ – у фериті. Цементит має незмінний склад (вертикальна лінія DFK), змінюється тільки форма та розмір кристалів, що впливає на властивості сплавів. Найбільші кристали цементиту утворюються, коли він виділився з рідини при первинній кристалізації, такий цементит називається первинним; цементит, який виділився з аустеніту – вторинним; цементит, який виділився з фериту – третинним. Відповідно лінія CD на діаграмі стану називається лінією первинного цементиту, ES – лінією вторинного цементиту; PQ – лінією третинного цементиту.

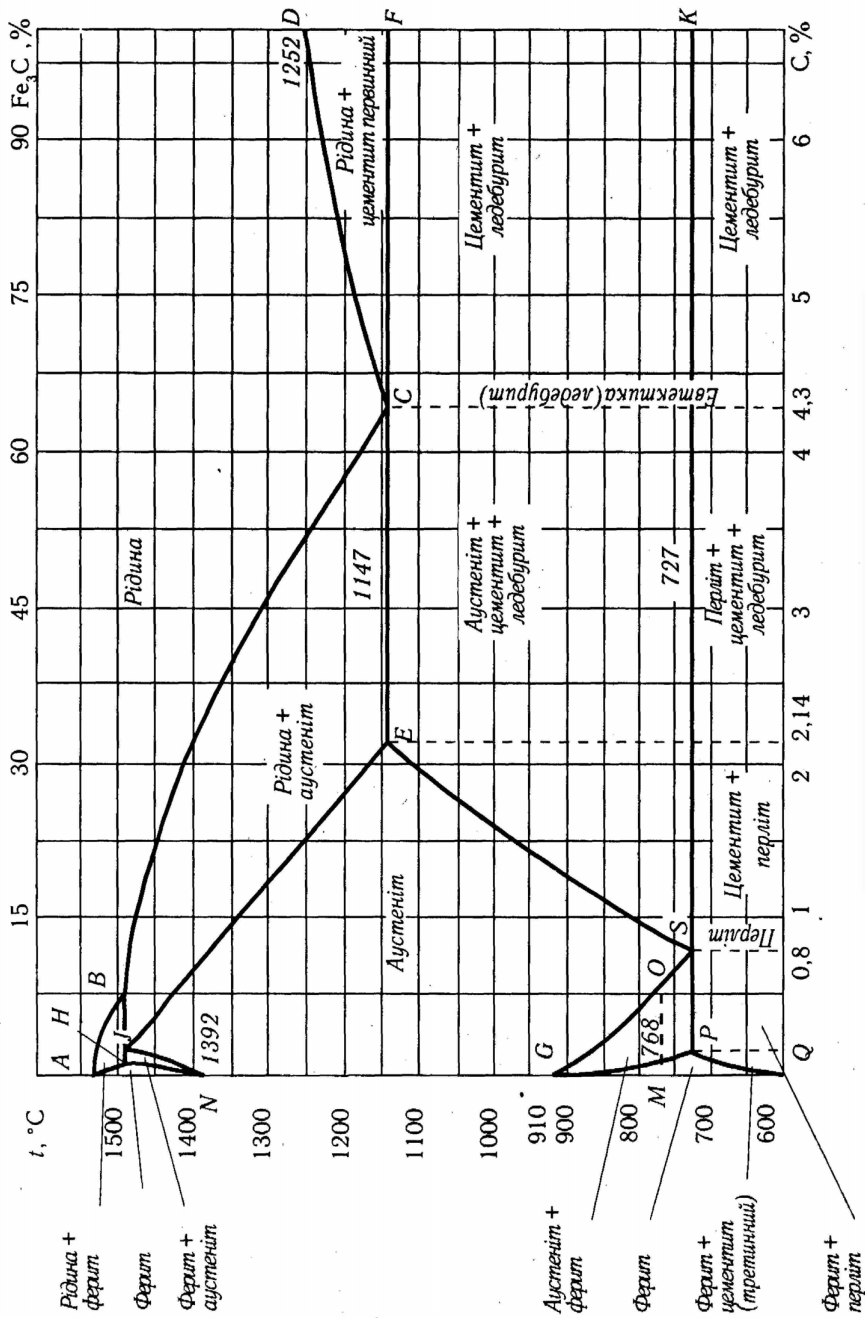


Рис. 8. Діаграма стану залізо-цементит

Точка А визначає температуру плавлення чистого заліза, точка D – температуру плавлення цементиту. Точки N і G відповідають температурам поліморфних перетворень заліза. Точки H і P характеризують граничну концентрацію вуглецю відповідно у високотемпературному і низькотемпературному фериті. Точка E визначає найбільшу концентрацію вуглецю в аустеніті. Температури основних точок діаграми наведені в таблиці:

Точки діаграми	Температура, °С	Концентрація вуглецю, %	Точки діаграми	Температура, °С	Концентрація вуглецю, %
A	1539	0	C	1147	4,3
H	1499	0,10	F	1147	6,67
J	1499	0,16	G	911	0
B	1499	0,51	P	727	0,02
N	1392	0	S	727	0,8
D	1260	6,67	K	727	6,67
E	1147	2,14	Q	400	0,006

У системі залізо – цементит відбувається три ізотермічних перетворення:

перитектичне перетворення на лінії HJB (1499 °С): $L_B + \Phi_H \rightarrow A_J$

евтектичне перетворення на лінії PSK (1147 °С): $L_C \rightarrow A_C + \Pi_F$

евтектоїдне перетворення на лінії ECF (727 °С): $A_S \rightarrow \Phi_P + \Pi_K$

Критичними точками сплаву називають температури при яких відбуваються певні перетворення. Кожну критичну точку позначають великою літерою *A* з відповідним індексом: A_1 – для точок, що відповідають лінії PSK, тобто евтектоїдному перетворенню; A_2 – для магнітного перетворення α -заліза по лінії MO при 768 °С (точка Кюрі); A_3 – Для точок лінії GS, тобто для поліморфного $\alpha \leftrightarrow \gamma$ -перетворення, що відповідає початку виділення фериту за аустеніту при охолодженні, або кінцю розчинення фериту в аустеніті при нагріванні; A_{ct} – для точок лінії SE, що відповідає початку виділення вторинного цементиту з аустеніту при охолодженні, або завершення його розчинення при нагріванні.

Практично встановлено, що температури критичних точок бувають різними залежно від того, відбувається нагрівання чи охолодження (має місце термічний гістерезис). При охолодженні поруч з літерою *A* ставлять індекс *r*, а при нагріванні – індекс *c*, наприклад A_{c1} , A_{r1} .

Методичні рекомендації. Студент зобов'язаний уміти на пам'ять накреслити діаграму стану залізо – цементит і визначити усі фази і структурні складові цієї системи, а також будувати за допомогою правила фаз криві охолодження (чи нагрівання) для будь-якого сплаву; чітко розбиратися в класифікації залізовуглецевих сплавів і засвоїти, що розходження між трьома класами (технічне залізо, сталь, чавун) не є формальним (по вмісту вуглецю). Різні класи сплавів принципово різні за структурою і властивостями. Необхідно знати, що технічні залізовуглецеві сплави складаються не тільки з заліза і вуглецю, але обов'язково містять постійні домішки, що попадають у сплав у результаті попередніх операцій при виплавці. Розберіть діаграму стану залізо – графіт, що по графічному накресленню майже не відрізняється від діаграми залізо – цементит, що полегшує її запам'ятовування. Кількісні зміни в положенні ліній діаграми стосуються зсуву евтектичної та евтектоїдної ліній у крапці S' і E'. Якісна зміна полягає в заміні цементиту графітом в структурі у всіх випадках. Усвідомте вплив постійних домішок на будову чавуна і розберіться в розходженні металевої основи сірих чавунів різних класів. Запам'ятайте механічні властивості і призначення чавунів різних класів і їх маркування. Зверніть увагу на способи одержання ковких і високоміцних чавунів. Повинна бути вивчена фізична сутність процесу графітизації.

Питання для самоперевірки. 1. Дайте визначення: ферит, аустеніт, перліт, цементит і ледебурит? 2. Проаналізуйте перетворення, які відбуваються в сплавах при температурах $A_1, A_2, A_3, A_4, A_{cm}$. 3. Які структура і властивості технічного заліза, сталі і білого чавуна? 4. Як класифікують за структурою сталі і білі чавуни? 5. У яких умовах виділяється первинний, вторинний і третинний цемент? 6. Яка будова ледебуриту при кімнатній температурі, трохи вище евтектоїдної температури $727\text{ }^\circ\text{C}$ і трохи нижче евтектичної температури $1147\text{ }^\circ\text{C}$? 7. У чому відмінність сірого чавуна від білого? 8. Яка будова евтектики і евтектоїда в сірому і білому чавунах? 9. Класифікація і маркування сірих чавунів. 10. Які структури сірих чавунів? 11. Як одержують ковкий чавун? Його будова, властивості і призначення. 12. Як одержують високоміцний чавун? Його будова, властивості і призначення. 13. У чому розходження в будові ковкого і модифікованого чавунів? 14. Порівняйте механічні властивості сірого, ковкого і високоміцного чавунів.

Тема 6. ТЕОРІЯ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ СТАЛІ

Методичні рекомендації. Теорія і практика термічної обробки сталі – головні питання металознавства. Термічна обробка – один з основних способів впливу на будову, а отже, і на властивості сплавів. При вивченні перетворень переохолодженого аустеніту особливу увагу зверніть на діаграму ізотермічного розпаду, що встановлює зв'язок між температурними умовами перетворення, інтенсивністю розпаду і будовою продуктів перетворення. Розберіться в механізмі й особливостях перлітного, проміжного і мартенситного перетворень, що відбуваються відповідно у верхній, середній і нижній температурних областях. Усвідомте будову і властивості перліту, сорбіту, троститу, бейніту, мартенситу й особливі розходження і подібність однойменних структур, одержуваних при розпаді аустеніту і відпуску загартованої сталі. Вивчіть вплив легуючих елементів на кінетику і характер перетворення аустеніту в перлітній, проміжній і мартенситній областях. У зв'язку з впливом легуючих елементів на діаграми ізотермічного розпаду аустеніту розгляньте причини одержання різних класів за структурою (перлітного, мартенситного, аустенітного). Усвідомте вплив легуючих елементів на перетворення при відпусці. Варто пам'ятати, що легуючі елементи, як правило, загальмовують процеси перетворень. Запам'ятайте практичне значення термокінетичних діаграм.

Питання для самоперевірки. 1. Поясніть механізм утворення аустеніту при нагріванні сталі. 2. Які механізми і температурні області утворення структур перлітного типу (перліту, сорбіту, троститу) і бейніту? 3. В чому розходження між перлітом, сорбітом і троститом? 4. Що таке мартенсит і в чому сутність і особливості мартенситного перетворення? 5. Що таке критична швидкість гартування? 6. Що описує мартенситна крива? 7. Від чого залежить кількість залишкового аустеніту? 8. У чому сутність перетворень, що відбуваються при відпуску? 9. Що таке коагуляція і як змінюються структура і властивості сталі в зв'язку з коагуляцією карбідної фази при відпуску? 10. Поясніть, чим відрізняються структури троститу, сорбіту і перліту відпуску від однойменних структур, що утворюються при розпаді переохолодженого аустеніту? 11. Яке практичне значення термокінетичних діаграм? 12. Поясніть, як впливають легуючі елементи на перлітне перетворення? 13. Як впливають легуючі

елементи на мартенситне перетворення? 14. Як протікає проміжне перетворення в легованій сталі? 15. Як впливають легуючі елементи на перетворення при відпуску? 16. Поясніть сутність явища відпускну крихкості? 17. Як можна усунути відпускну крихкість другого роду?

Тема 7. ТЕХНОЛОГІЯ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ

Термічною обробкою прийнято називати технологічні процеси, що складаються з нагрівання та охолодження металевих виробів і напівфабрикатів з метою зміни їх структури і властивостей. *Загартованість* – здатність сталі підвищувати твердість внаслідок гартування. Загартованість залежить головним чином від вмісту вуглецю в сталі. *Прогартуваність* – здатність сталі гартуватися на визначену глибину.

Залежно від режимів нагрівання й охолодження термічну обробку поділяють на: відпал; нормалізацію; гартування; відпуск.

Відпал – це операція, при якій сталь нагрівають вище критичних точок, витримують при цій температурі і потім повільно (звичайно разом з піччю) охолоджують. Розрізняють дифузійне, повне і неповне відпалювання. *Дифузійному відпалу* піддають великі зливки з метою підвищення їх хімічної однорідності, або гомогенізації. При *повному відпалу* зменшується твердість і підвищується пластичність сталі. Метою *неповного відпалу* є зняття внутрішніх напружень сталі.

Нормалізація полягає у нагріванні сталі на 30...50 °С вище критичних точок, витримуванні при цій температурі й наступному охолодженні на спокійному повітрі, тобто відрізняється від відпалу швидкістю охолодження. Для вуглецевих сталей нормалізація звичайно заміняє триваліший за часом процес відпалу.

Гартування – зміцнювальний вид термообробки, який широко застосовується в машинобудуванні для підвищення міцності, твердості та стійкості до спрацювання сталевих деталей. Зміна властивості сталі після гартування пов'язана з утворенням метастабільної (нерівноважної) структури.

Для набуття метастабільних структур сталеві деталі нагрівають і витримують при температурі існування аустеніту, а потім охолоджують зі швидкістю, яка дає змогу зафіксувати мартенсит. Мартенсит – орієнтована голчата структура, яка являє собою пересичений твердий розчин вуглецю в α -залізі. Результати гартування залежать від температури нагрівання, тривалості витримки, швидкості охолодження деталей тощо.

Практично з метою перетворення перліту на аустеніт сталь потрібно нагріти вище лінії евтектоїдного перетворення, витримати до утворення однорідного за складом аустеніту й охолодити з критичною швидкістю гартування, що не допускає утворення рівноважної структури. Процес гартування сталі внаслідок перетворення кристалічних решіток супроводжується збільшенням внутрішніх напружень, які можуть бути більшими за границю міцності сталеві деталі, що гартується.

Гартують, як правило сталі, з підвищеним умістом вуглецю, а сталі, в яких він менший за 0,3 %, не гартують, оскільки в них не відбувається суттєвого підвищення твердості та міцності. Міцність сталі після гартування підвищується в міру збільшення вмісту вуглецю до 0,7 %, а потім вона залишається практично сталою на рівні приблизно 670 НВ.

Загартована доевтектоїдна сталь, як правило, має структуру дрібноголкового мартенситу з незначною кількістю залишкового аустеніту, евтектоїдна сталь – структуру мартенситу з залишковим аустенітом, а заевтектоїдна – структуру мартенситу із вторинним цементитом і залишковим аустенітом.

Залежно від режиму термообробки розрізняють повне та неповне гартування сталі. Для повного гартування сталь нагрівають на 30...50 °С вище критичної точки A_{c3} (A_{cm}), а для неповного – вище точки A_{c1} , але нижче A_{c3} (A_{cm}). Температура гартування визначається залежно від вмісту вуглецю по лініях діаграми стану сплавів залізо-цементит.

Для доевтектоїдної сталі застосовують тільки повне гартування, а для заевтектоїдної – неповне, коли в її структурі залишається надмірний цементит, який не розчинився. Цементит – складова міцна, тому наявність його в загартованій сталі підвищує міцність, але і крихкість деталі. З метою зменшення крихкості загартованої сталі перед гартуванням слід виконати нормалізацію або сфероїдизацію сталі, щоб подрібнити цементитну сітку. Нагрівати заевтектоїдну сталь вище критичної точки A_{cm} (повне гартування) недоцільно, оскільки при охолодженні в сталі утвориться великогочатий мартенсит. Крім того, збільшується аустенітне зерно, з поверхні виробів вигоряє вуглець і підвищується гартівні напруження.

Для неповного гартування виробів з доевтектоїдної сталі їх потрібно нагрівати в інтервалі температур, що відповідають критичним точкам $A_{c1} - A_{c3}$, внаслідок чого утворюється структура аустеніту з деякою кількістю фериту. Після охолодження вона буде складатися з мартенситу і фериту. Останній має невелику міцність, він м'який і його присутність

в загартованій сталі небажана, тому що ферит зменшує міцність сталі. Отже, неповне гартування доєвтектоїдної сталі недоцільне.

У практиці термообробки перетворення аустеніту часто відбувається при неперервному охолодженні сталі з різною швидкістю. Оскільки діаграми ізотермічного перетворення аустеніту побудовано в координатах температура – час, вони дають можливість дістати якісне уявлення про характер перетворень при неперервному охолодженні сталі. Для цього накладемо криві охолодження евтектоїдної вуглецевої сталі на її С-подібну діаграму (рис. 9,а). Швидкість охолодження V характеризується нахилом кривої (одиниця швидкості охолодження – $^{\circ}\text{C}/\text{c}$). Чим повільніше відбувається охолодження сталі, тим більш пологою стає крива її охолодження. Перетворення аустеніту при дуже малій швидкості V_1 відбувається в умовах, близьких до рівноважних, за температури, наближеної до A_1 . При цьому утворюються грубо дисперсні феритно-цементитні суміші. Під час неперервного охолодження аустеніт переохолоджується до температури нижче точки A_{r1} , при цьому підвищення швидкості охолодження зумовлює зниження температури перлітного перетворення (рис. 9,б). Ця температура характеризує нерівноважні умови перетворення сталі. Перетворення аустеніту на перліт при неперервному охолодженні сталі розвивається в інтервалі температур. Чим більша швидкість охолодження і менший температурний інтервал розпаду аустеніту, тим вища дисперсність феритно-цементитних сумішей, що утворюються. При невеликій швидкості охолодження V_1 утворюється *перліт*, при більшій V_2 – *сорбіт*, а при ще більшій V_3 – *троостит*.

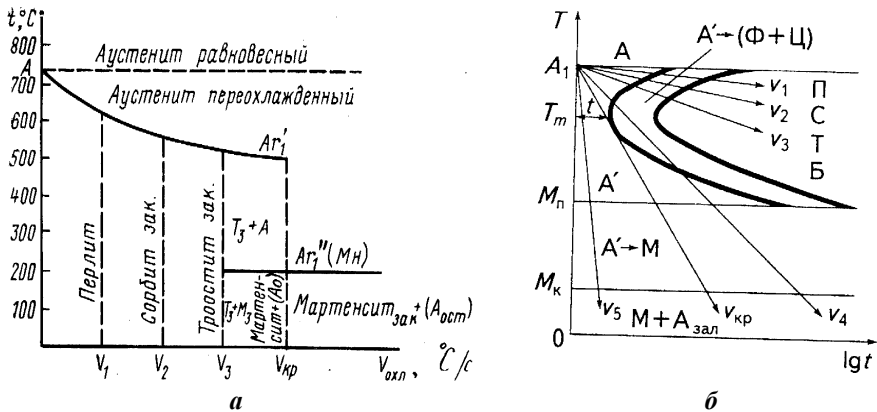


Рис. 9. Залежність структури евтектоїдної вуглецевої сталі (а) і положення критичної точки (б) від швидкості охолодження

При значно більших швидкостях охолодження сталі, наприклад V_4 , аустеніт розпадається у двох температурних інтервалах: частина його зазнає спочатку перлітного, а потім бейнітного перетворення, а залишкова частина переохолоджується до температури, що відповідає точці M_n , і перетворюється на мартенсит. Внаслідок цього утворюється змішана структура трооститу, бейніту та мартенситу. При швидкостях охолодження сталі спостерігаються дві критичні точки: A_p і M_n . Таким чином, утворення чисто бейнітної структури при неперервному охолодженні аустеніту вуглецевої сталі неможливе.

При надто швидкому охолодженні, наприклад зі швидкістю V_5 , переохолоджений аустеніт повністю зберігається до лінії точок M_n і перетворюється на мартенсит. Нижче точки M_n дифузійна рухливість атомів вуглецю стає дуже малою. В цих умовах перетворення аустеніту відбувається бездифузійним шляхом: кристалічні ґрати Fe_γ завдяки кооперативному (одночасному) зміщенню однієї чи кількох суміжних площин атомів заліза перетворюються на ґрати Fe_α . Оскільки дифузійні процеси загальмовані, весь вуглець, розчинений в аустеніті, залишається в ґратах Fe_α . Розчинність вуглецю в аустеніті значно більша (максимум у 100 разів), ніж у фериті; тому утворюється пересичений твердий його розчин в α -залізі, який називається *мартенситом*. Мартенситне перетворення сталі завершується після досягнення температури, що відповідає точці M_k . Це перетворення відбувається в сталі при її гартуванні.

При утворенні мартенситу ґрати Fe_α дуже спотворюються, перетворюючись із кубічних на тетрагональні. Це дуже міцна та тверда структурна складова сталі, разом з цим і крихка. Велика твердість мартенситу пояснюється значними внутрішніми напруженнями в його решітці, зумовленими надмірно розчинним вуглецем, подрібненням блокової структури його зерна та високою щільністю дислокацій. Властивості мартенситу залежать від умісту вуглецю в ньому: зі збільшенням умісту вуглецю твердість, а в деякому інтервалі й границя міцності зростають, а пластичність та ударна в'язкість падають.

Мінімальна швидкість охолодження сталі, яка забезпечує утворення чисто мартенситної структури, називається *критичною швидкістю гартування* ($V_{кр}$). Її можна визначити графічно, провівши дотичну до кривої початку ізотермічного перетворення сталі біля її виступу. Числове значення критичної швидкості гартування сталі можна знайти за формулою

$$V_{кр} = \frac{A_1 - T_m}{1,5\tau_m},$$

A_1 – температура критичної точки сталі, °С; T_m – температура біля виступу кривої початку ізотермічного перетворення сталі, °С; τ_m – тривалість мінімальної стійкості аустеніту, с.

Дійсна критична швидкість гартування сталі приблизно в 1,5 рази менша, ніж визначена графічно. Це і враховується коефіцієнтом у знаменнику формули. Значення критичної швидкості гартування залежать від стійкості аустеніту. Чим вона вища тобто чим правіше зсунуті криві на С-подібній діаграмі, тим менша критична швидкість гартування сталі. Отже, її значення залежить від умісту вуглецю в сталі.

Вирішальну роль в утворенні мартенситу при гартуванні сталі відіграє швидкість охолодження аустеніту. Як впливає з діаграми ізотермічного розпаду аустеніту (рис. 9) вона має бути більшою за $V_{кр}$, не повинна виходити за межі інтервалу температур мінімальної стійкості аустеніту (поблизу точки T_m).

В області температур, розташованих вище точки T_m , вигідним є охолодження сталі з помірною швидкістю. Для середньо вуглецевих сталей область мінімальної стійкості лежить між 650 і 500 °С. При вищих температурах аустеніт відносно стійкий, і передчасне перетворення його на ферито-перлітну суміш не відбувається. В той же час при плавному охолодженні сталі в області високих температур вирівнюється температура по перерізу і зменшуються температурні напруження. Сталь ще досить пластична, тому ймовірність короблення сталевих виробів та утворення тріщин – мінімальна.

Повільне охолодження сталі бажане також в області, розташованій нижче інтервалу температур мінімальної стійкості аустеніту, тому що там його стійкість знову підвищується. При 300 °С і нижче швидке охолодження сталі особливо небезпечне внаслідок того, що вона стає не такою пластичною, ніж при високих температурах. Термічні напруження в сталі додаються до напружень, які виникають при перетворенні аустеніту на мартенсит. Тому при швидкому охолодженні підвищується небезпека утворення тріщин і короблення сталі.

Швидкість охолодження сталевих деталей можна регулювати, застосовуючи різноманітні гартівні середовища: воду, водяні розчини солей, кислот, лугів і полімерів, різні масла, розплавленні солі та метали, емульсії тощо.

Головною вимогою до гартівних середовищ є велика охолодна здатність в інтервал температур 650...550 °С і зменшена охолодна здатність при 300 °С та нижче.

Відпуск сталі належить до завершальних операцій її термообробки і здійснюється після гартування сталі. Відпуском усувають надмірну крихкість загартованої сталі та здобувають структуру, стійкішу при звичайній температурі, з кращими механічними властивостями. Відпуск сталі полягає в тому, що загартовані деталі нагрівають до температури, нижчої за межу структурних перетворень (727°C), витримують і потім охолоджують з довільною швидкістю.

Залежно від температури та структури металу, що утворилася, розрізняють низький, середній та високий відпуск сталі.

Низький відпуск здійснюється нагріванням сталі до $150\text{...}250^{\circ}\text{C}$ й охолодженням її з будь якою швидкістю. Цей вид відпуску застосовують для різноманітного різального та вимірювального інструментів з вуглецевих і низьколегованих сталей, а також деталей після обробки їхніх поверхонь гартуванням, цементацією тощо.

Середній відпуск здійснюється нагріванням сталі до $300\text{...}450^{\circ}\text{C}$, коли мартенсит перетворюється на троостит відпуску. Середній відпуск використовується, наприклад, при виготовленні різних сталевих деталей, що працюють за умов тертя (пружин, ресор штампів тощо).

Високий відпуск здійснюється нагріванням сталі до $500\text{...}650^{\circ}\text{C}$, коли мартенсит перетворюється на сорбіт відпуску. Деякі сталі після цього відпуску охолоджують у воді або маслі. Високий відпуск застосовують для деталей з конструкційних сталей, що працюють при підвищених і динамічних навантаженнях.

Процес гартування з високим відпуском називають *поліпшенням сталі*. Після такої обробки сталь набуває кращого поєднання міцності та в'язкості порівняно з відпалом і нормалізацією.

У сталі, обробленій на сорбіт відпуску, зменшується твердість до $250\text{...}350\text{ НВ}$, знижується міцність у $1,5\text{...}2$ рази, а пластичність і в'язкість збільшується в кілька разів. Відпуск при температурі $600\text{...}650^{\circ}\text{C}$, усуває внутрішні напруження в сталі повністю.

Сталеві деталі гартування мають метастабільну структуру. Нагрівання їх збільшує рухливість атомів, що сприяє процесу утворення більш рівноважної структури. Найважливішою особливістю при відпуску сталі є розпад мартенситу. Зміна структур, яка відбувається при відпуску деталей з вуглецевих сталей, визначається температурою і тривалістю відпуску, а також концентрацією вуглецю в сталі. Чим більше вміст вуглецю в аустеніті, тим вища перенасиченість α -розчину та нижча температура мартенситного перетворення при гартуванні сталі, тим більша кількість залишкового аустеніту в ній.

Методичні рекомендації. Усвідомте вплив швидкості охолодження на структуру і властивості сталі і фізичну сутність процесів відпалу, нормалізації, гартування й обробки холодом. При вивченні технологічних процесів термічної обробки особливу увагу зверніть на різновиди режимів і їхнє призначення. Для з'ясування причин браку при термічній обробці сталі треба насамперед розібратися в природі термічних і фазових напружень. Усвідомте розходження між загартовуваністю і прогартовуваністю сталі, а також фактори, що впливають на ці характеристики. Розберіться в сутності способу одержання високоміцних деталей – термомеханічній обробці. Різні види поверхневого гартування дозволяють отримати особливе сполучення властивостей поверхневого шару і серцевини, що приводить до підвищення експлуатаційних характеристик виробу. При вивченні індукційного гартування усвідомте зв'язок між глибиною проникнення загартованого шару і частотою струму. Гартування при нагріванні струмами високої частоти приводить до одержання більш високих механічних властивостей, ніж при звичайному нагріванні. Для одержання оптимальних результатів варто керуватися діаграмами припустимих і переважних режимів нагрівання під гартування струмами високої частоти. Необхідно мати на увазі, що сучасні автоматичні і напівавтоматичні агрегати для термічної обробки можуть бути включені в технологічні лінії машинобудівних заводів, у зв'язку з чим при масовому виробництві відпадає необхідність у спеціальних термічних цехах і відділеннях.

Питання для самоперевірки. 1. Наведіть визначення основних процесів термічної обробки: відпалу, нормалізації і гартування. 2. Визначте різновиди процесу відпалу і для чого вони застосовуються? 3. Яка природа фазових і термічних напружень? 4. Які вам відомі різновиди гартування й у яких випадках вони застосовуються? 5. Які види і причини браку при гартуванні? 6. Які вам відомі групи охолоджувальних середовищ і які їхні особливості? 7. Від чого залежить прогартовуваність сталі й у чому її технологічне значення? 8. Які вам відомі технологічні засоби зменшення деформації при термічній обробці? 9. Для чого і як виконується обробка холодом? 10. Як змінюються швидкість і температура нагрівання виробів з лекованої сталі в порівнянні з вуглецевою? 11. У чому сутність і особливості термомеханічної обробки? 12. Як впливає поверхнєве гартування на експлуатаційні характеристики виробів? 13. Як регулюється глибина загартованого шару при обробці струмами високої частоти? 14. Які сутність і призначення діаграми припустимих

і переважних режимів нагрівання під гартування струмами високої частоти? 15. Які переваги поверхневого індукційного гартування?

Тема 8. ХІМІКО-ТЕРМІЧНА ОБРОБКА

Методичні рекомендації. При вивченні основ хіміко-термічної обробки варто виходити з того, що принципи хіміко-термічної обробки єдині. Процес хіміко-термічної обробки складається з виділення атомарної речовини, що насичує, зовнішнім середовищем, захоплення (сорбція) цих атомів поверхнею металу і дифузії їх усередину металу. Тому потрібно розглянути реакції в газовому середовищі при цементації чи азотуванні і засвоїти сучасні представлення про дифузію в металах. У більшості випадків насичення може проходити з твердого, рідкого і газового середовищ, а тому потрібно знати найбільш вдалі варіанти насичення для кожного методу хіміко-термічної обробки і кінцеві результати (поверхневе зміцнення і зміна фізико-хімічних властивостей).

Розберіться в технології проведення окремих видів хіміко-термічної обробки. Усвідомте переваги й області використання цементації, азотування, ціанування і різних видів дифузійної металізації. Поясніть вплив легування на механізм формування структури поверхневого шару.

Питання для самоперевірки. 1. У чому полягають фізичні основи хіміко-термічної обробки? 2. Визначте хімізм процесу азотування. 3. Визначте хімізм процесу цементації. 4. Визначте призначення і режим термічної обробки після цементації. 5. Чим відрізняються режими цементації легованої сталі й вуглецевої? 6. Які властивості цементованих і азотованих виробів? 7. Визначте хімізм і призначення процесу ціанування. 8. У чому розходження між дифузійним і гальванічним хромуванням? 9. Для яких цілей і як відбувається нітроцементация?

Тема 9. КОНСТРУКЦІЙНІ СТАЛІ

Методичні рекомендації. Потрібно засвоїти принципи маркірування сталі і вміти по маркіруванню визначити склад і особливості даної сталі, а також мати загальне представлення про різні групи сталі. Добре розберіться у впливі легуючих елементів на зміну структури і властивостей сталі, особливу увагу приділіть технологічним особливостям термічної обробки легованої сталі різних груп. Розгляньте способи класифікації (за структурою в нормалізованому стані і, що особливо важливо для

машинобудівників, по призначенню), основні принципи вибору для різного призначення: що цементуються, що поліпшуються, пружинно-ресорних, зносостійких, високоміцних, нержавіючих, жароміцних і інших сталей.

При вивченні жароміцних сталей зверніть увагу на особливості поведінки металу в умовах навантаження при підвищених температурах. Усвідомте сутність явища повзучості й основних характеристик жароміцності; які граничні робочі температури й області застосування сталей різного структурного класу. Як приклади вказати дві- три марки сталі кожної групи, розшифрувати склад, призначити режим термічної обробки й охарактеризувати структуру, властивості й область застосування.

Питання для перевірки. 1. Як впливають легуючі елементи на положення критичних точок $A_1, A_2, A_3, A_4, A_{cm}$? 2. Які легуючі елементи є карбідоутворюючими? 3. Які легуючі елементи сприяють графітизації? 4. Як впливають легуючі елементи на властивості фериту й аустеніту? 5. Як класифікують леговані сталі за структурою в рівноважному стані? 6. Як класифікуються леговані сталі? Як класифікуються конструкційні сталі за технологією термічної обробки? 7. Які вимоги пред'являються до цементованих виробів? 8. Чим визначається вибір марки цементуємої сталі для виробів різного призначення? Приведіть приклади марок сталей, використовуваних у різних умовах роботи. 9. Яка термічна обробка цементуємих деталей? 10. Чим пояснюється призначення процесу поліпшення для конструкційної сталі? 11. Як впливає ступінь легування на механічні властивості сталі, що поліпшується? 12. Термічна обробка сталей, що поліпшуються. 13. Чим визначається вибір марки сталі, що поліпшується, для виробів різного призначення? Приклади марок сталі, використовуваних у різних умовах роботи. 14. Які вимоги пред'являються до ресорно-пружинних сталей і як вони класифікуються по міцності? 15. Приведіть приклади марок сталі для ресор і пружин, що працюють у різних умовах. 16. Термічна обробка ресорно-пружинної сталі. 17. Які ви знаєте зносостійкі сталі? 18. Які особливості мартенситостаріючих сталей? 19. Приведіть приклади марок високоміцної сталі, призначте режим обробки. 20. Які вимоги пропоновані до нержавіючих сталей? 21. У чому сутність електрохімічної корозії (основи теорії)? 22. Вкажіть марки хромистих нержавіючих сталей, їх склад, термічна обробка, властивості і призначення. 23. Вкажіть марки хромонікелевих нержавіючих сталей. Їх властивості, склад, термічна обробка, призначення. 24. Що таке окалиностійкість? 25. Які вимоги пропоновані до жаростійких ста-

лей? 26. Якими способами можна підвищити окалиностійкість? 27. Якими способами можна підвищити жароміцність сталі? Поясніть природу зміцнення. 28. Приведіть приклади жароміцних сталей перлітного, мартенситного й аустенітного класів. Вкажіть їх склад, обробку, властивості й області застосування. 29. Які особливості застосування металокерамічних сплавів?

Тема 10. ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ СТАЛІ

Методичні рекомендації. Вивчіть класифікацію інструментальних сталей у залежності від застосування інструмента й у зв'язку з цим розгляньте основні експлуатаційні властивості інструмента кожної групи. Особливу увагу приділіть швидкорізальним сталям. Усвідомте причини їх високої червоностійкості й особливості термічної обробки. При вивченні штампових сталей необхідно розрізнити умови роботи штампів для деформування в холодному стані і штампів для деформування в гарячому стані. Студент зобов'язаний уміти вибрати марку сталі для інструмента різного призначення, розшифрувати її склад, призначити режим термічної обробки, пояснити сутність перетворень, що відбуваються при термічній обробці, і вказати одержувані структуру і властивості.

Питання для самоперевірки. 1. Як класифікуються інструментальні сталі? 2. Вимоги пропонувані до сталей для різального інструмента. 3. Приведіть приклади вуглецевих і легованих сталей, використовуваних для різального інструмента. Вкажіть їх склад, режим термічної обробки, структуру і властивості. 4. Вкажіть і розшифруйте основні марки швидкорізальної сталі. 5. У чому сутність явища червоностійкості і яким чином можна підвищити червоностійкість інструмента? 6. Яка термічна обробка швидкорізальної сталі? 7. Як підрозділяються штампові сталі? Вимоги пропонувані до штампових сталей для деформування металу в холодному стані та до сталей – для деформування металу в гарячому стані. 8. Які сталі застосовуються для штампів холодного штампування? Вкажіть їх склад, термічну обробку, структуру і властивості. 9. Які сталі застосовуються для пресформ лиття під тиском? 10. Які вимоги пред'являються до сталей для вимірювального інструмента? Вкажіть марки сталі, їх склад, термічну обробку, структуру і властивості. 11. Що являють собою тверді сплави? Які їх властивості і переваги? 12. Вкажіть марки твердих сплавів, їх склад і призначення.

Тема 11. КОЛЬОРОВІ МЕТАЛИ ТА СПЛАВИ

В машинобудуванні і суднобудуванні часто використовують такі кольорові метали як алюміній, магній, титан, мідь, нікель, олово, свинець, вольфрам та інші. Найчастіше використовують сплави на основі цих металів, до яких відносяться: дюралюміній, силумін, бронзи, латуні, бабіт, а також тугоплавкі метали та їх сплави. До тугоплавких металів та їх сплавів відносяться сплави на основі: хрому, ванадію, ніобію, танталу, молібдену, вольфраму. Новим перспективним напрямком удосконалення машино- та суднобудівних галузей є використання спечених порошкових матеріалів.

Силумін – сплав кремнію з алюмінієм, в яких міститься 12...14 % кремнію. Силуміни є ливарними сплавами. *Латунь* – сплав міді з цинком. В залежності від складу латуні використовують для обробки тиском або для литва. *Бронза* – сплав міді зі всіма металами, крім цинку (наприклад з оловом, алюмінієм, берилієм, манганом). Бронзи використовують для вироблення пружин, мембран, підшипників, втулок. *Бабіт* – антифрикційний підшипниковий сплав на олов'янистих та свинцевих основах. Використовуються для виготовлення підшипників та інших деталей антифрикційного призначення. Сплави на основі *нікелю* мають підвищену корозію – і жаростійкість, жароміцність, особливі електричні та магнітні властивості. Їх використовують в хімічному апаратобудуванні, для виготовлення камер згоряння, деталей газових турбін, газопроводів.

Сплави на основі *хрому* використовують для виготовлення лопаток газових турбін, фасонних виливків для роботи в газових продуктах згоряння, агресивних кислих середовищах. Сплави *ванадію* використовують для виготовлення оболонок тепловидільних елементів ядерних реакторів з натрієвим теплоносієм, труб для атомних реакторів. Сплави *ніобію* використовують як конструкційний матеріал з робочою температурою 1100...1250 °С у термоядерній, комірній і електровакуумній техніці. Сплави *танталу* мають виняткову стійкість у сильних кислотах, розплавах лужних металів. Їх поставляють у вигляді листів, тонкостінних труб, дроту, а також заготовок, одержаних методом порошкової металургії або електронно-променевою плавкою. Використовують їх для виготовлення відповідальних деталей ракетних двигунів на твердому та рідкому паливі. Робоча температура цих сплавів становить 1300...1600 °С і вище.

Сплави *молібдену* застосовують для виготовлення прес-форм, електродів ерозійно-іскрових апаратів, в електронній і вакуумній промисловості – контурів ядерних реакторів. Деталі з цих сплавів можуть працювати тривалий час при температурі 1200...1350 °С і короткочасно – до 1600 °С. Сплави вольфраму використовуються для виготовлення екранів печей, високотемпературних термопар, електричних контактів, електродів для зварювання металів у газових середовищах реакторів ядерних двигунів.

Питання для самоперевірки. 1. Властивості і застосування алюмінію. 2. Як класифікуються алюмінієві сплави? 3. Які сплави змінюються шляхом термічної обробки? Вкажіть їх марки, склад, режим термічної обробки, властивості. 4. У чому сутність процесу старіння? 5. Які сплави змінюються нагартовкою? 6. Які ви знаєте ливарні алюмінієві сплави? Приведіть їх марки, склад, обробку, властивості. 7. Як і для чого виробляється модифікування силуміну? 8. Які ви знаєте жароміцні алюмінієві сплави? Вкажіть граничні робочі температури їх використання. 9. Які властивості магнію? 10. Як класифікуються магнієві сплави? 11. Вкажіть марки, склад, обробку, властивості і призначення різних сплавів на основі магнію. 12. Як впливають домішки на властивості чистої міді? 13. Як класифікуються мідні сплави? 14. Які сплави відносяться до латуней. Їх маркірування і склад. 15. Наведіть кілька прикладів латуней із вказівкою їх складу, структури, властивостей і призначення. 16. Які сплави відносяться до бронз? Їх маркірування і склад. 17. Вкажіть будову, властивості і призначення різних бронз. 18. Якій термічній обробці піддається берилієва бронза? 19. Вкажіть призначення і властивості сплавів на основі цинку. 20. Які вимоги пред'являються до антифрикційних сплавів? 21. Вкажіть склад, властивості й області застосування сплавів на основі олова і свинцю.

ПРИКЛАДИ ТЕСТОВИХ ПИТАНЬ

МОДУЛЬ 1

1. Для сухого шліфування мікрошліфів застосовують папір (25, 16, 12, 10, 8, 6, 4), що відповідає відповідно ГОСТу. Що наприклад означає цифра 25?

1) розмір абразивних часток 2,5 мм; 2) розмір абразивних часток 25 мм; 3) розмір абразивних часток 25 мкм; 4) розмір абразивних часток 250 мкм.

2. Для мокрого шліфування використовують водостійкий шліфувальний папір (16Н, 16Л, 12Н, ..., 4Н, 4Л). Що означає буква Н?

1) зміст основної фракції абразивних часток у межах 44-45%;
2) зміст основної фракції абразивних часток у межах 55-60%;
3) зміст основної фракції абразивних часток більш 60%; 4) зміст основної фракції абразивних часток менш 44%.

3. Згідно до ГОСТу 9206-50 застосовують при виготовленні мікрошліфів алмазні пасти (наприклад 60/40 маркується червоним кольором). Що означають цифри 60/40?

1) розмір абразивних часток 6...4 мкм, 2) розмір абразивних часток 60...40 мкм, 3) розмір абразивних часток 0,6...0,4 мм.

4. Для чого проводять травлення мікрошліфів?

1) для виявлення мікроструктури; 2) для розчинення неметалічних часток; 3) різні частинки структури окрашуються у різний колір.

5. Що таке мікроаналіз?

1) дослідження структури за допомогою мікроскопа, 2) визначення типу кристалічних решіток, 3) визначення фазового складу сплаву; 4) визначення механічних властивостей на мікро зразках; 5) виявлення наявності сірі і фосфору в сплаві.

6. Що називається "аустенітом"?

1) твердий розчин вуглецю в альфа залізі; 2) твердий розчин вуглецю в гамма залізі; 3) механічна суміш фериту з цементитом; 4) хімічна сполука заліза з вуглецем.

7. Що називають цементитом?

1) хімічна сполука вуглецю з залізом; 2) твердий розчин вуглецю в альфа залізі; 3) твердий розчин вуглецю в гамма залізі; 4) механічна суміш фериту з цементитом.

8. Що називається феритом?

1) твердий розчин вуглецю в альфа залізі; 2) твердий розчин вугле-

цю в гамма залізі; 3) механічна суміш фериту з цементитом; 4) хімічна сполука заліза з вуглецем.

9. Що називається перлітом?

1) твердий розчин вуглецю в альфа залізі; 2) твердий розчин вуглецю в гамма залізі; 3) механічна суміш фериту з цементитом; 4) хімічна сполука заліза з вуглецем.

10. Твердий розчин вуглецю в альфа залізі називають ...?

1) цементитом; 2) феритом; 3) перлітом; 4) аустенітом.

11. Твердий розчин вуглецю в гама залізі називають ...?

1) цементитом; 2) феритом; 3) перлітом; 4) аустенітом.

12. Механічну суміш фериту з цементитом називають ...?

1) феритом; 2) перлітом; 3) аустенітом.

14. Хімічну сполуку заліза з вуглецем називають ...?

1) цементитом; 2) феритом; 3) перлітом; 4) аустенітом.

15. Що означає лінія "ліквідус" на діаграмі стану Fe-C?

1) лінія початку кристалізації сплаву; 2) лінія кінця кристалізації сплаву; 3) лінія алотропічних перетворень у твердої фази; 4) лінія евтектичних перетворень.

16. Що означає лінія "солідус" на діаграмі подвійних сплавів?

1) температура кінця кристалізації; 2) температура початку кристалізації; 3) температура алотропічного перетворення; 4) температуру початку вторинних перетворень.

17. Що називають фазою?

1) однорідна частина металу або сплаву, яка має однаковий хімічний склад; 2) дрібнодисперсна механічна суміш (евтектика); 3) дрібнодисперсна механічна суміш (евтектоїд).

18. Який сплав називається сплавом "хімічна сполука"?

1) при взаємодії компонентів з утворенням нових кристалічних решіток; 2) при взаємодії компонентів на атомарному рівні, утворюючи одні ґрати початкового компоненту; 3) при механічному перемішуванні компонентів.

19. Що означає лінія "солідус" на діаграмі стану?

1) лінія початку кристалізації; 2) лінія кінця кристалізації; 3) лінія алотропічних перетворень; 4) лінія магнітних перетворень.

20. В чому відмінність евтектики від евтектоїда?

1) способом перетворення; 2) це різні типи сплавів; 3) ступенем дисперсності; 4) характером перетворень.

21. Які кристалічні ґрати має γ -Fe: 1) ОЦК, 2) ГЦК, 3) ГПУ.
22. Яку поліморфну або алотропічну модифікацію заліза мають ґрати ґранецентрованого куба: 1) γ , 2) α , 3) δ , 4) δ .
23. Які кристалічні ґрати має δ – залізо? 1) ґранецентрованого кубу; 2) об'ємноцентрованого кубу; 3) гексагональну.
24. Які кристалічні ґрати має β – залізо?
1) ґранецентрованого кубу; 2) об'ємноцентрованого кубу; 3) гексагональну.
25. Що називають анізотропією?
1) властивості в усіх напрямках однакові; 2) властивості в усіх напрямках різні; 3) коли метал знаходиться у рідкому стані.
26. Які особливості твердого розчину?
1) мають кристалічні ґрати металу – розчинника; 2) кристалічні решітки відрізняються від розчинника і розчиненої речовини; 3) не мають кристалічних решіток.
27. Хімічні сполуки мають ...?
1) кристалічні ґрати усіх компонентів; 2) кристалічні ґрати того компоненту, якого більше у хімічній сполуці; 3) характерні для себе кристалічні решітки.
28. Чи можна роздивитися під мікроскопом компоненти, які входять до твердого розчину? 1) так; 2) ні

МОДУЛЬ II

1. σ_g якого чавуну є найбільшим:
1) СЧ38, 2) АСЧ1, 3) КЧ38-12, 4) ВЧ40-10.
2. До яких властивостей відноситься корозійна стійкість металів?
1) до хімічного; 2) до фізичного; 3) до експлуатаційного; 4) до механічного; 5) до технологічних проб.
3. Яка величина зчитується зі шкали прибору Роквелла?
1) число твердості HRB або HRC; 2) діаметр відбитка; 3) глибина проникнення наконечника в метал; 4) відношення навантаження до площі відбитка в МПа; 5) твердість HB, МПа.
4. Який вплив надає модифікатор 1-го роду на структуру сірого чавуну?
1) подрібнює графітні включення; 2) сприяє округленню графітних зерен; 3) не робить істотного впливу на форму й розмір графіту; 4) "заліковує" мікротріщини.
5. Під мікроскопом знайдена структура, що складається з 20% фериту, 80% перліту й графіту пластівчастої форми. Що це за матеріал?

1) сірий ливарний чавун; 2) високоміцний чавун; 3) ковкий чавун; 4) білий чавун.

6. Що конкретно визначає дослідник при вимірі твердості на пресі Бринелля?

1) діаметр відбитка лупою Бринелля; 2) глибину відбитка лупою Бринелля; 3) величину твердості, указану на приборі; 4) визначають радіус відбитка.

7. Який вплив робить модифікатор 2-го роду на графітні включення?

1) подрібнюють графітні включення; 2) сприяє округленню графітних включень; 3) не робить істотного впливу на графіт; 4) переводить графіт у пластівчасту форму.

8. Яке поняття належить до технологічних властивостей?

1) жидкотекучість; 2) щільність; 3) корозійна стійкість; 4) ударна в'язкість.

9. Що називається ледебуритом?

1) твердий розчин вуглецю в альфа залізі, 2) механічна суміш перліту із цементитом, 3) механічна суміш фериту із цементитом, 4) хімічна сполука заліза з вуглецем.

10. Які чавуни краще працюють при знакозмінному навантаженні?

1) КЧ500-12; 2) СЧ240; 3) СЧ120; 4) ВЧ1000-6.

11. Який вид термічної обробки полягає в нагріванні металу до 1000–1050 °С, витримці при цій температурі й повільному (разом з піччю) охолодженні:

1) відпал; 2) відпуск; 3) гомогенізація; 4) гартування; 5) нормалізація.

12. До якого виду термічної обробки можна віднести операцію, пов'язану з нагріванням загартованої сталі 40 до $t = 600$ °С й охолодженням на повітрі:

1) відпуску; 2) загартуванню; 3) нормалізації; 4) відпалу.

13. Яку форму графітових включень має чавун КЧ35-10:

1) пластинчасту; 2) пластівчасту; 3) кулясту.

14. До якої групи відноситься чавун зі структурою "перліт + ледебурит + цементит:

1) доевтектичний; 2) евтектичний; 3) заевтектичний.

15. Який параметр режиму термічної обробки визначає в основному кінцеву структуру й властивості виробів:

1) максимальна температура нагріву; 2) час витримки сплаву при температурі нагріву; 3) швидкість охолодження; 4) швидкість нагріву.

16. Яку форму графітових включень має чавун СЧ 21:
1) пластинчасту; 2) пластівчасту; 3) кулясту.
17. Як охолоджують при гартуванні леговану сталь:
1) разом з піччю; 2) на повітрі; 3) у маслі; 4) у воді.
18. При температурі якої критичної точки при нагріванні за евтектоїдної сталі закінчується утворення аустеніту:
1) A_3 , 2) A_4 , 3) A_{cm} , 4) A_1 .
19. Яку форму графітових включень має чавун ВЧ 60-12:
1) пластинчасту; 2) пластівчасту; 3) кулясту.
20. Як охолоджують сталь при нормалізації:
1) разом з піччю; 2) на повітрі; 3) у маслі; 4) у воді.
21. У якого чавуну графіт знаходиться в пластівчастій формі:
1) СЧ38; 2) АСЧ1; 3) КЧ38-12; 4) ВЧ40-10.
22. При температурі якої точки при нагріванні закінчується утворення аустеніту в евтектоїдної сталі: 1) A_3 , 2) A_4 , 3) A_{cm} , 4) A_1 .
23. Як роблять охолодження при повному відпалі:
1) разом з піччю; 2) на повітрі; 3) у маслі; 4) у воді.
24. Яким індензором користуються при визначенні твердості по Роквеллу при навантаженні 1500 Н:
1) сталеву кулькою діаметром 1,58 мм; 2) сталеву кулькою діаметром 10 мм; 3) алмазним конусом.
25. Який відпуск застосовують для пружин і ресор:
1) низький; 2) середній; 3) високий відпуск.
26. При температурі якої точки відбувається перетворення аустеніту в перліт при охолодженні до евтектоїдної сталі:
1) A_3 , 2) A_4 , 3) A_{cm} , 4) A_1 .
27. Яким індензором користуються при визначенні твердості по HRB:
1) сталева кулька діаметром 1.58 мм; 2) сталева кулька діаметром 10 мм; 3) алмазний конус.
28. Який відпуск створює найкраще сполучення міцності й пластичності загартованої сталі: 1) низький, 2) середній, 3) високий.
29. δ якого чавуну є найбільшим:
1) СЧ38, 2) АСЧ1, 3) КЧ38-12, 4) ВЧ40-10.
30. До якого виду термічної обробки можна віднести операцію, пов'язану з нагріванням сталі 40 до $t = 650\text{ }^\circ\text{C}$ і охолодженням на повітрі:
1) низькому (рекристалізаційному) відпалі; 2) гартуванню, 3) нормалізації; 4) відпуску.
31. У якого чавуну графіт перебуває в кулястій формі:
1) СЧ38; 2) АСЧ1; 3) КЧ38-12; 4) ВЧ40-10.

32. При температурі якої критичної точки починає утворюватися ферит при охолодженні до евтектоїдної сталі:

1) A_3 , 2) A_4 , 3) A_{cm} , 4) A_1 .

33. Яка мікроструктура являє собою евтектоїдну суміш фериту й цементиту: 1) перліт; 2) аустеніт; 3) ледебурит.

34. Як провадять охолодження загартованої сталі при відпуску:

1) разом з піччю; 2) на повітрі; 3) у маслі; 4) у воді.

35. Який з методів визначення твердості є найбільш точним:

1) HRB; 2) HRC; 3) HRA; 4) HB.

МОДУЛЬ III

1. Як змінюється міцність сталі з підвищенням вмісту вуглецю:

1) монотонно зростає; 2) зменшується; 3) спочатку збільшується, а потім, минувши екстремум, зменшується.

2. До якого виду термічної обробки можна віднести операцію, пов'язану з нагрівом сталі 40 до $t = 840\text{ }^\circ\text{C}$ і охолодженням у воді:

1) рекристалізаційному відпалу; 2) гартуванню; 3) нормалізації; 4) дифузійному відпалу.

3. До якого виду відноситься пластична деформація заліза при температурі $300\text{ }^\circ\text{C}$, якщо температура його плавлення $1539\text{ }^\circ\text{C}$:

1) холодної; 2) гарячої.

4. Що називається "наклепом"?

1) поверхневе зміцнення сплаву в холодному стані; 2) поверхневе зміцнення сплаву в гарячому стані; 3) хіміко-термічна обробка сплавів; 4) спеціальна термічна обробка; 5) зміна поверхні сплаву при зварюванні.

5. З якої сталі доцільно виготовити залізничні рейки?

1) Ст.2; 2) БСт.4; 3) ВСт.6; 4) 45; 5) У12А.

6. З якої сталі доцільно виготовити інструмент для нарізування різьблення (мітчик)?

1) сталь 45; 2) сталь У7А; 3) сталь Ст.6; 4) сталь У9А; 5) сталь АРМКО.

7. З якого матеріалу можна виготовити напилок із дрібною насічкою (надфіль)? 1) У7А; 2) У13А; 3) 85; 4) Ст.6; 5) ВСт.7.

8. З якого матеріалу найбільше доцільно виготовити обробкою тиском ящик для зберігання інструментів? 1) У12А; 2) Ст.2; 3) 65; 4) 20; 5) ВСт.3.

9. З якого матеріалу доцільно виготовити слабку пружину?

1) ВСт.6; 2) Ст.3; 3) СЧ120; 4) 45; 5) 70.

10. Скільки вуглецю міститься в легованій, інструментальній сталі 9ХС? 1) 9% С; 2) 0,9% С; 3) 0,09% С.

11. Які сталі відносяться до низьколегованих?

1) легуючих елементів менш 1%; 2) легуючих елементів менш 2,5%; 3) легуючих елементів менш 5%.

12. Вуглецеві інструментальні сталі маркіруються, як наприклад: У9. Що означає цифра 9?

1) 9% С; 2) 0,9% С; 3) 0,09% С; 4) умовний номер марки.

13. Сталь звичайної якості має позначення ВстЗсп. Що позначає цифра 3?

1) 3% С; 2) 0,3% С; 3) 0,03% С; 4) умовний номер марки.

14. Що позначає літера В у марці стали ВСтЗсп?

1) відповідність механічним властивостям; 2) відповідність хімічним властивостям; 3) відповідність механічним і хімічним властивостям.

15. Від чого залежить прогартовуваність стали?

1) чим більше легуючих компонентів; 2) чим менше легуючих компонентів; 3) не залежить від легуючих компонентів.

16. Швидкорізальні сталі застосовують для виготовлення різального інструменту працюючого на високих швидкостях різання. Що позначає цифра 18 у сталі Р18? 1) 0,18% С, 2) 1,8% С, 3) 18% W.

17. До якого класу за структурою відноситься сталь У9?

1) до евтектична; 2) евтектична, 3) заевтектична.

18. До яких властивостей відноситься корозійна стійкість металів?

1) хімічного; 2) фізичного; 3) експлуатаційного; 4) механічного; 5) технологічних проб.

19. В основу позначення марок легованих сталей покладена буквенно-цифрова система. Наприклад: 60С2. Скільки вуглецю в даній сталі?

1) 0,06% С, 2) 0,6% С, 3) 6% С, 4) 60% С.

20. Які сталі відносять до високолегованих?

1) які утримують більш 10% легуючих компонентів; 2) які утримують більш 25% легуючих компонентів; 3) які утримують більш 40% легуючих компонентів.

21. Що називається ледебуритом?

1) твердий розчин вуглецю в альфа залізі; 2) механічна суміш перліту із цементитом; 3) механічна суміш фериту із цементитом; 4) хімічна сполука заліза з вуглецем.

22. Що позначає буква А в високоякісній легованій сталі 12Х2Н4А?

1) високоякісна; 2) містить азот; 3) поставляється по механічних властивостях.

23. В основу позначення марок легованих сталей покладена буквенно-цифрова система. Наприклад: 60С2. Що позначає буква С?

1) вуглець; 2) кремній; 3) марганець.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. *Арзамасов Б.Н.* Материаловедение: Учебник / *Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин, Н.М. Рыжков, В.И. Силаева.* – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 648 с.

2. *Дубовий О.М.* Матеріалознавство для суднобудівників. – Миколаїв, 1997. Ч. 1. – 86 с.

3. *Дубовий О.М., Лебедєва Н.Ю.* Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни "Матеріалознавство і термічна обробка металів та зварних з'єднань". – Миколаїв: УДМТУ, 2003. – 68 с.

4. *Кузін О.Л., Яцюк Р.А.* Металознавство і термічна обробка металів. Підручник. – Львів: Афіша.– 2002. – 304 с.

5. Металознавство: Підруч. / *О.М. Бялік, В.С. Черненко, В.М. Писаренко, Ю.Н. Москаленко.* – 2-ге вид., перероб. і доп. – К. : Політехніка, 2002. – 384 с.

6. Металознавство: Підруч. / *О.М. Бялік, В.С. Черненко, В.М. Писаренко, Ю.Н. Москаленко.* – К. : Політехніка, 2001. – 375 с.

7. *Спіхтаренко В.В.* Інструкція по техніці безпеки робіт у лабораторії матеріалознавства. – Херсон: ХФ НУК, 2004. – 26 с.

8. *Спіхтаренко В.В.* Практикум з матеріалознавства та ТКМ. – Херсон: ХФ НУК, 2008.-56 с.

9. Фізичні основи міцності та пластичності металів: Навч. посібник / *С.С. Дяченко.* – Х. : ХНАДУ, 2003. – 226 с.

ЗМІСТ

<i>Тема 1.</i> Атомно-кристалічна будова металів	3
<i>Тема 2.</i> Кристалізація металів і сплавів	4
<i>Тема 3.</i> Холодна пластична деформація і рекристалізація металів	5
<i>Тема 4.</i> Теорія сплавів	7
4.1. Основні діаграми стану подвійних систем	8
4.2. Фізичні та механічні властивості сплавів у рівноважному стані. Правило Курнакова	14
<i>Тема 5.</i> Діаграма стану залізо-цементит	16
<i>Тема 6.</i> Теорія термічної обробки сталі	21
<i>Тема 7.</i> Технологія термічної обробки	22
<i>Тема 8.</i> Хіміко-термічна обробка	29
<i>Тема 9.</i> Конструкційні сталі	29
<i>Тема 10.</i> Інструментальні сталі	31
<i>Тема 11.</i> Кольорові метали та сплави	32
Приклади тестових питань	34
Рекомендована література	41

Навчальне видання

КАЗИМИРЕНКО Юлія Олексіївна
ЛЕБЕДЄВА Наталія Юріївна
СПІХТАРЕНКО Володимир Володимирович

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до самостійної роботи з дисципліни
"Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів"

(українською мовою)

Комп'ютерна верстка *В.Г. Мазанко*
Коректор *М.О. Паненко*

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців,
виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції
ДК № 2506 від 25.05.2006 р.

Підписано до друку 30.03.09. Папір офсетний. Формат 60×84/16.
Друк офсетний. Гарнітура "Таймс". Ум. друк. арк. 2,6. Обл.-вид. арк. 2,8.
Тираж 100 прим. Вид. № 4. Зам. № 35. Ціна договірна

Видавець і виготівник Національний університет кораблебудування,
54002, м. Миколаїв, вул. Скороходова, 5

ДЛЯ ЗАМЕТОК