

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Київський національний університет будівництва і архітектури

Є.М.Петрикова, А.А.Майстренко, Н.О.Амеліна, О.Ю.Бердник

АРМАТУРА ДЛЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

Конспект лекцій у трьох частинах

Частина 1 «Метали і сплави»

для студентів за освітнім рівнем «Бакалавр»
спеціальності 192 «Будівництво і цивільна інженерія»
спеціалізації 192.04 «Технологія будівельних конструкцій, виробів і
матеріалів»

Київ 2023

УДК 624.012

A83

Укладачі: Є.М. Петрикова, канд.техн.наук, доцент
А.А.Майстренко, канд.техн.наук, доцент
Н.О.Амеліна, канд.техн.наук, доцент
О.Ю.Резник, канд.техн.наук, доцент

Рецензент: О.Г. Гелевера канд.техн.наук, доцент

Відповідальний за випуск :В.І.Гоц, д-р. техн.наук, професор

Затверджено на засіданні кафедри технології будівельних конструкцій та виробів, протокол № від 2022 року.

Є.М. Петрикова, А.А.Майстренко, Н.О.Амеліна, О.Ю.Резник
Арматура для залізобетонних конструкцій. Конспект лекцій. Частина 1 .
Метали і сплави/Уклад. Є.М.Петрикова та ін. – Київ:КНУБА, 2023 – с.

Розглянуто основи класифікації металів і металевих сплавів, основні властивості металів., принципи будови металів і сплавів. Наведено класифікацію, властивості, характеристики і структура залізовуглецевих сплавів та перетворення в системі Fe - Fe₃C. Розглянуто основи термічної обробки металевих сплавів

Призначено для студентів за освітнім рівнем «Бакалавр» спеціальності 192 «Будівництво і цивільна інженерія» спеціалізації 192.04 «Технологія будівельних конструкцій, виробів і матеріалів» для поглибленого засвоєння теоретичного курсу та підготовки до контролю знань з дисципліни "Арматура для залізобетонних конструкцій".

©КНУБА, 2023

Тема 1. Метали і сплави. Класифікація. Основні властивості металів. Будова металів і сплавів.

План

- 1.1. Метали і сплави.
 - 1.1.1. Метали.
 - 1.1.2. Металеві сплави
- 1.2. Класифікація металів і сплавів.
- 1.3. Основні властивості металів.
- 1.4. Будова металів і сплавів
 - 1.4.1. Види кристалічних ґраток (решіток).
 - 1.4.2. Види зв'язку в металах і металевих сплавах.
 - 1.4.3. Будова сплавів на субмікро-, мікро- і макроскопічному рівнях.
 - 1.4.4. Анізотропність і спайність кристалів. *Алотропія металів.*
 - 1.4.5. Кристалізація металів.

1.1. Метали і сплави.

1.1.1 Метали.

Металами називають речовини, характерними ознаками яких при звичайних умовах, є висока міцність, пластичність, тепло- і електропровідність, особливий блиск, що має назву металевого.

До металів належить більшість хімічних елементів періодичної системи Менделєєва (рис. 1.1). У твердому та рідкому стані вони відрізняються від елементів – неметалів – характерними металічними міжатомними зв'язками з узагальненими та рухливими електронами. Такі зв'язки зумовлюють електро- та теплопровідність металів, їх міцність; металам властиві також пластичність і ковкість, непрозорість і металічний блиск.

	IA	IIA	IIIB	IVB	VB	VIB	VIB	VIB	VIB	IB	IB	IIIA	IVA	VA	VIA	VIA	VIIA	VIIA
1	H																	He
2	Li	Be										B	C	N	O	F		Ne
3	Na	Mg										Al	Si	P	S	Cl		Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	**	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Uub	Uut	Uuq	Uup	Uuh	Uus	Uuo
			*лантаниди	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
			**актиниди	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

Рис. 1.1. Метали і неметали в періодичній системі Менделєєва

Метали, що використовують в техніці, називають **технічними**. До них відносять залізо, алюміній, магній, мідь, свинець, цинк, олово, нікель, титан.

В ряді випадків метали використовують майже в чистому вигляді, в технічно чистому вигляді, тобто з малим вмістом домішок, наприклад залізо, мідь і алюміній в електро- та радіотехніці. Інші метали, наприклад тантал, ніобій, гафній, цирконій, використовують у надчистому вигляді, тобто з мільйонними частками процента всіх домішок, у приладобудуванні і в атомній техніці.

Здатність металів до утворення з'єднань з різними фізико-механічними властивостями створила сприятливі умови для отримання сплавів. Металічні сплави застосовують незрівнянно ширше і різноманітніше. В практиці використовують більше 10 тис. сплавів.

Металічними (металевими) сплавами називають сполучення двох або кількох металів і неметалів, у яких зберігаються металічні властивості.

Більшість сплавів отримують у рідкому стані (сплавленням), проте їх можна створювати також методом спікання, електролізу, конденсації (згущення) із пароподібного стану та ін.

Компонентами сплавів називають речовини, що утворюють систему. Системою називають сукупність речовин у твердому, рідкому і газоподібному станах.

Системи бувають прості і складні. Прості системи складаються з одного компонента. Складна система включає кілька компонентів і являє собою всі можливі кількісні сполучення їх при різних температурах.

Для металевих сплавів *системою* називають метали і металеві сплави. Компонентами можуть бути хімічні елементи (метали і неметали) або їх сполуки у складі сплаву.

За кількістю компонентів сплави поділяють на подвійні, потрійні і т. д. Чистий метал є однокомпонентною системою.

Залежно від природи компонентів, з яких складається сплав, розрізняють:

- сплав – механічна суміш компонентів;
- сплав – твердий розчин компонентів;
- сплав – хімічна сполука компонентів.

Сплави – механічні суміші неоднорідні і являють собою найдрібнішу суміш кристалітів компонентів.

Сплави – тверді розчини і сплави – хімічні сполуки, однорідні, причому одні можуть утворюватися при різному співвідношенні компонентів, а інші – тільки при суворо визначеному ваговому співвідношенні компонентів, як будь-яка хімічна сполука.

У *сплавах – твердих розчинах* атоми розчинної речовини заміщують атоми розчинника в кристалічній ґратці (рис. 1.2, а) або впроваджуються в неї (рис. 1.2, б);

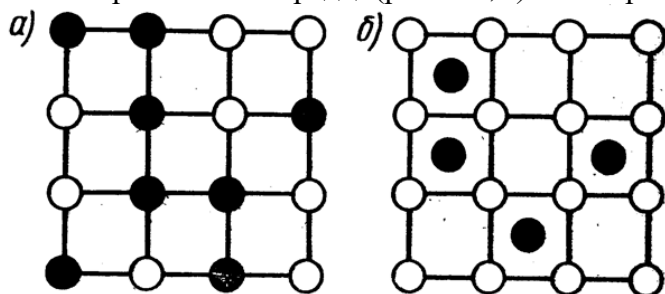


Рис. 1.2. Схематичне зображення кристалічної ґратки металевих сплавів: а – з атомами заміщення; б – з атомами вбудовування (впровадження)

Сплави – хімічні сполуки – утворюють нову особливу кристалічну решітку (ґратку).

Фазою називають однорідну частину системи, відділену від інших складових (фаз) поверхнею поділу. Отже, фазами можуть бути:

- хімічні елементи,
- тверді й рідкі розчини;
- хімічні сполуки.

У рідкому стані однорідна система містить одну фазу; при затвердінні завжди є дві фази – рідка і тверда. Після затвердіння утворюється або одна фаза (хімічний елемент, хімічна сполука, твердий розчин), або сплав, який містить суміш фаз.

При переході через поверхню розділу фаз міняється хімічний склад сплаву і його будова.

В твердих металевих сплавах фази можуть складатись:

- з зерен чистого металу,
- твердого розчину
- хімічних сполук декількох компонентів.

Фази чистого металу складаються з одного хімічного елемента (Fe, Al, Cu і інші), кристали якого не мають сторонніх включень в вигляді атомів інших хімічних сполук (рис.1.3)

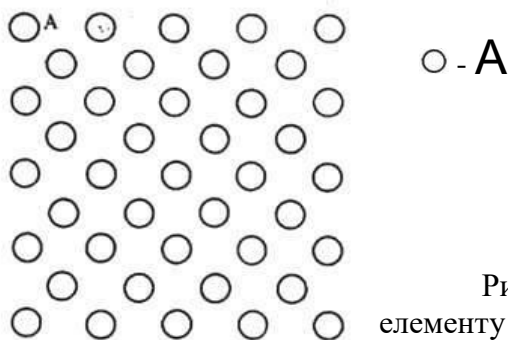


Рис.1.3. Схема розміщення атомів в системі з чистого елемента (металу)

Фази твердих розчинів утворюються з кількох хімічних елементів, що входять в сплав з закономірним розташуванням атомів в кристалевій решітці.

При цьому зберігається кристалева градка (решітка) основного хімічного елемента (наприклад заліза, міді, алюмінію), що є розчинником, а хімічні елементи – домішки, які розчиняються, втрачають свою кристалічну будову і в вигляді окремих атомів розподіляються в решітці основного металу (рис.1.4).

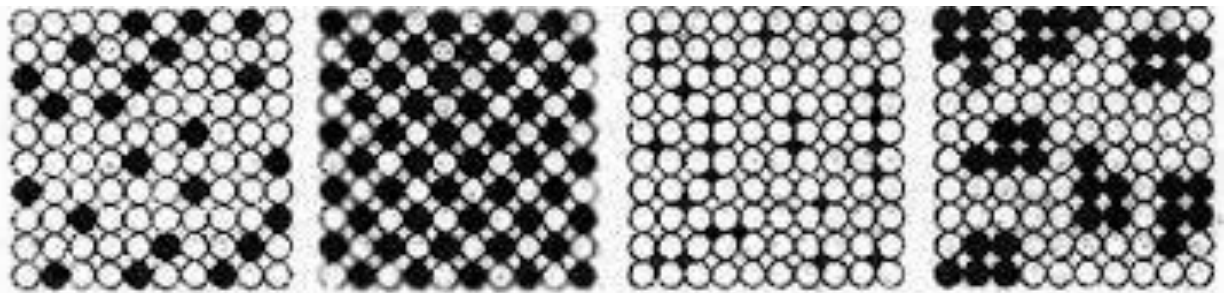


Рис.1.4. Схеми розміщення атомів в металевих сплавах

Розрізняють три типи твердих розчинів:

- вбудовування (внедрения – рос);
- заміщення;
- віднімання (вычитания – рос).

Тип розчину	Схематичне зображення	Характеристика
вбудовування (внедрения – рос)		В розчині вбудовування атоми розчинного елемента вбудовуються між атомами розчинника, спотворюючи його ґрадку. До таких елементів відносять металоїди – <i>вуглець, водень, азот, бор</i> і інші, концентрація яких в твердому розчині може складати 1-2%.
заміщення		В розчині заміщення атоми розчинного елемента займають місце атомів розчинника в кристалевій решітці. При цьому розміри атомів основного металу і домішки повинні відрізнятись не більше ніж на 15%. Наприклад, добре заміщуються атоми Fe і Cr, Cu і Ni, Ti і V і інші.
віднімання (вычитания – рос).		В розчині віднімання в кристалічній ґрадці основного металу залишаються незаповнені місця.

Фази хімічного з'єднання мають наступні основні особливості:

- атоми хімічних елементів з'єднання значно відрізняються своїми властивостями (розміщуються в таблиці Менделєєва далеко один від одного);
- мають строго визначене співвідношення (стехіометричні пропорції), що виражено видом A_nB_m ;
- мають свою кристалічну ґрадку і свою закономірність розташування в ній атомів;
- мають властивості, які помітно відрізняються від властивостей вихідних хімічних компонентів.

1.2. Класифікація металів і сплавів.

Всі метали і отримані з них сплави поділяють на чорні і кольорові.

До чорних відносять залізо (Fe), що є найважливішим промисловим металом, в чистому вигляді і в сплавах з вуглецем (C) та з іншими елементами.

До сплавів цієї групи належать сталь, чавун і феросплави (феро – від латинської назви заліза «ферум»).

На долю чорних металів припадає близько 94-95% металопродукції, що виробляється в світі. Вони є основним конструкційним матеріалом у машинобудуванні і одним з основних у будівництві. Через це технічний рівень народного господарства країни характеризується насамперед кількістю чорних металів, що виплавляється.

Решта металів та їх сплавів належать *до групи кольорових металів* (рис.1.5). Їх прийнято поділяти на *легкі* (густина до 3 г/см³) (наприклад на основі алюмінію, магнію) та *важкі* (на основі міді). Чим менша атомна маса металу і чим більший радіус атома металу тим менша густина. Самий легкий метал – літій (густина = 0,53 г/см³), найважчий – осмій (густина = 22,6 г/см³).

Розрізняють також *благородні* і *рідкісні* метали. Виділяють групу *тугоплавких* металів – на основі молібдену, ванадію

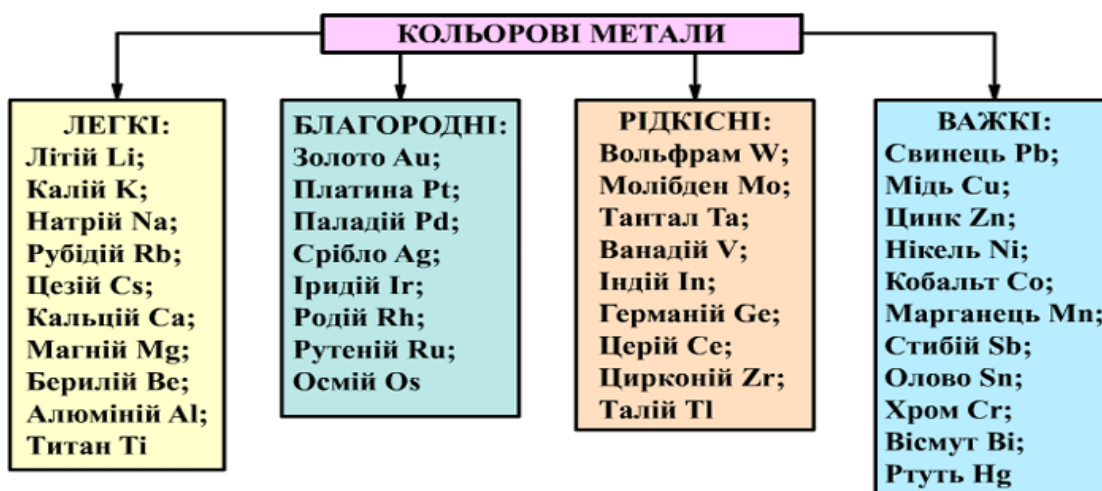


Рис. 1.5. Основна класифікація кольорових металів

Кольорові метали поділяють на такі групи:

- рідкісні (літій, рубідій, цезій, берилій, молібден, вольфрам, цирконій, гафній, ванадій, ніобій, тантал та ін.),
- рідкісноземельні (скандій, ітрій, лантан і лантаноїди),
- розсіяні (галій, індій, талій і германій),
- лужні (літій, натрій, калій, рубідій, цезій, францій),
- лужноземельні (кальцій, стронцій, барій, радій),
- благородні (золото, срібло, платина, паладій, родій, іридій, рутеній та осмій),
- радіоактивні (технецій, прометій, полоній, францій, радій, актиній та актиноїди) тощо.

Із кольорових металів важливе промислове значення мають мідь Cu, алюміній Al, магній Mg, свинець Pb, цинк Zn, олово Sn, титан Ti. Крім перелічених промислове застосування мають також такі кольорові метали: хром Cr, нікель Ni марганець Mn, молібден Mo, кобальт Co, ванадій V, вольфрам W, цирконій Zr, тантал Ta, ніобій Nb, реній Re, індій In та напівпровідники — германій Ge, селен Se, телур Te.

Але цінність кольорових металів порівняно з чорними дуже висока, через що в усіх випадках, коли це допустимо, їх намагаються замінити чорними металами або пластмасами.

1.3. Основні властивості металів.

У металів виділяють *механічні, технологічні, фізичні і хімічні властивості*.

До *фізичних* властивостей належать: колір, щільність, температура плавлення, електропровідність, магнітні властивості, теплопровідність, теплоємність, розширення і стиск при нагріванні, охолодженні та при фазових перетвореннях;

Усі метали, крім ртуті та францію, за звичайної температури – це тверді речовини кристалічної будови.

У кристалічному стані вони добре відбивають світло і тому непрозорі, мають характерний металічний блиск. Найкраще відбивають світло індій та срібло, тому їх використовують для виготовлення джекал у прожекторах і рефлекторах.

Майже всі метали (за винятком золота та міді) мають білий або сірий колір з різними відтінками. У порошко-подібному стані більшість металів набувають чорного або темно-сірого кольору.

Усі метали добре проводять електричний струм і теплоту.

Метали – пластичні речовини.

Здатність плавитися при нагріванні використовують для виготовлення відливок заливанням розплавленого металу ц форми. Деякі складні сплави мають настільки низьку температуру плавлення, що розплавляються в гарячій воді. Такі сплави застосовують для відливання друкарських матриць, у приладах, призначених для запобігання пожегам і т.д.

Метали з високою електропровідністю (мідь, алюміній) використовують в електромашинобудуванні, для спорудження ліній електропередач, а сплави з високим електроопором – для ламп розжарювання, електронагрівальних приладів.

Магнітні властивості металів відіграють першорядну роль в електромашинобудуванні (електричні генератори, електродвигуни, трансформатори) і приладобудуванні (телефонні і телеграфні апарати) тощо.

Теплопровідність металів дає можливість рівномірно нагрівати їх для оброблення тиском, термічної обробки; вона забезпечує також можливість паяння металів, зварювання їх і т.ін.

Деякі сплави металів мають коефіцієнт лінійного розширення, близький до нуля; такі сплави застосовують для виготовлення точних приладів. Розширення металів треба брати до уваги при будівництві довгих споруд, наприклад мостів, трубопроводів. Треба також враховувати, що дві деталі з металів з різним коефіцієнтом розширення, скріплені між собою, згинаються при нагріванні.

До *хімічних* властивостей (рис. 1.6) відносять — окислюваність, розчинність, корозійна стійкість, вогнетривкість.

Корозійна стійкість особливо важлива для виробів, які працюють у хімічно активних середовищах (колошникові ґратки, деталі машин у хімічній промисловості). Для деталей і споруд, які повинні мати високу корозійну стійкість, виробляють спеціальні нержавіючі, кислотостійкі та вогнетривкі сталі і сплави. Для виробів також застосовують захисні покриття.

До *механічних* властивостей відносять — міцність, твердість, пружність, пластичність, в'язкість, крихкість;

Міцність — властивість матеріалу чинити опір руйнуванню і появі залишкових деформацій під дією зовнішніх сил.

Питома міцність — відношення границі міцності до щільності; для деяких, наприклад, алюмінієвих, сплавів або титану вона вища, ніж для сталі.

Перша вимога, яка ставиться до кожного виробу, — це достатня міцність. Метали — міцні матеріали, тому навантажені деталі машин, механізмів та споруд, як правило, виготовляють з металів.

Твердістю — називається здатність матеріалу чинити опір деформації в поверхневому шарі при місцевій силовій контактній дії.

ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МЕТАЛІВ

	Li	K	Ca	Na	Mg	Al	Mn	Zn	Cr	Fe	Ni	Sn	Pb	(H)	Cu	Hg	Ag	Pt	Au			
ВІДНОВЛЮВАЛЬНА ЗДАТНІСТЬ МЕТАЛІВ В ВІЛЬНОМУ СТАНІ	←				ЗБІЛЬШУЄТЬСЯ																	
ВЗАЄМОДІЯ З КИСНЕМ ПОВІТРЯ	ШВИДКО ОКИСЛЮЮТЬСЯ ПРИ ЗВИЧАЙНІЙ ТЕМПЕРАТУРІ				ПОВІЛЬНО ОКИСЛЮЮТЬСЯ ПРИ ЗВИЧАЙНІЙ ТЕМПЕРАТУРІ АБО ПРИ НАГРІВАННІ											НЕ ОКИСЛЮЮТЬСЯ						
ВЗАЄМОДІЯ З ВОДОЮ	ПРИ ЗВИЧАЙНІЙ ТЕМПЕРАТУРІ ВИДІЛЯЄТЬСЯ H ₂ І УТВОРЮЄТЬСЯ ГІДРООКСИД				ПРИ НАГРІВАННІ ВИДІЛЯЄТЬСЯ H ₂ І УТВОРЮЮТЬСЯ ОКСИДИ								H ₂ З ВОДИ НЕ ВИТІСНЯЄТЬСЯ									
ВЗАЄМОДІЯ З КИСЛОТАМИ	ВИТІСНЯЄ ВОДЕНЬ З РОЗБАВЛЕНИХ КИСЛОТ (ОКРІМ HNO ₃)														НЕ ВИТІСНЯЮТЬ ВОДЕНЬ З РОЗБАВЛЕНИХ КИСЛОТ				РЕАГУЮТЬ З КОНЦ. І РОЗБАВЛ. HNO ₃ І З КОНЦЕН. H ₂ SO ₄ ПРИ НАГРІВАННІ		З КИСЛОТАМИ НЕ РЕАГУЮТЬ, РОЗЧИНЯЮТЬСЯ В "ЦАРСЬКІЙ ВОДЦІ"	
ЗНАХОДЖЕННЯ В ПРИРОДІ	ТІЛЬКИ В СПОЛУКАХ								В СПОЛУКАХ І В ВІЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ							ГОЛОВНИМ ЧИНОМ В ВІЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ						
СПОСІБ ОТРИМАННЯ	ЕЛЕКТРОЛІЗ РОЗПЛАВІВ						ВІДНОВЛЕННЯ ВУГІЛЛЯМ, ОКСИДОМ ВУГЛЕЦЮ (II), АЛЮМОТЕРМІЯ; ЕЛЕКТРОЛІЗ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ СОДЕЙ															
ОКИСЛЮВАЛЬНА ЗДАТНІСТЬ ІОНІВ МЕТАЛІВ	←				ЗРОСТАЄ											→						

Рис. 1.6. Хімічні властивості металів

Пружність — здатність матеріалу відновлювати свою форму після, того як перестануть діяти зовнішні сили, які спричинили зміну форми (деформацію).

Пластичність — властивість металу деформуватися без руйнування під впливом зовнішніх сил і зберігати нову форму після того, як ці сили перестануть діяти. Пластичність — властивість, протилежна пружності. Пластичність металів дає можливість обробляти їх тиском (кувати, прокатувати, волочити).

В'язкість матеріалу називають здатність його поглинати механічну енергію і при цьому проявляти значну пластичність аж до руйнування. В'язкість — властивість, протилежна крихкості. В'язкі метали застосовують у тих випадках, коли деталі під час роботи зазнають ударних навантажень.

Експлуатаційні властивості. Багато виробів крім загальної міцності повинні характеризуватися ще й особливими властивостями. Наприклад, різальні інструменти повинні мати високу твердість. Для виготовлення різальних та інших інструментів застосовують інструментальні сталі і сплави, а для ресор і пружин — сталі і сплави, які мають високу пружність.

Технологічні властивості. Мають важливе значення при тих або інших видах обробки. До технологічних властивостей відносять: прогартовуваність, рідиннотекучість, ковкість, зварюваність, оброблюваність різанням.

Сучасними методами випробовування металів є механічні випробовування, хімічний, спектральний, металографічний та рентгенографічний аналізи, технологічні проби, дефектоскопія, а також випробовування на оброблюваність різанням, корозійні випробовування металів та ін. Ці випробовування дають можливість дістати уявлення про природу металів, їх будову, склад і властивості, а також визначити якість готових виробів.

1.4. Будова металів і сплавів.

Речовини в твердому стані мають кристалічну або аморфну будову (рис.1.7).

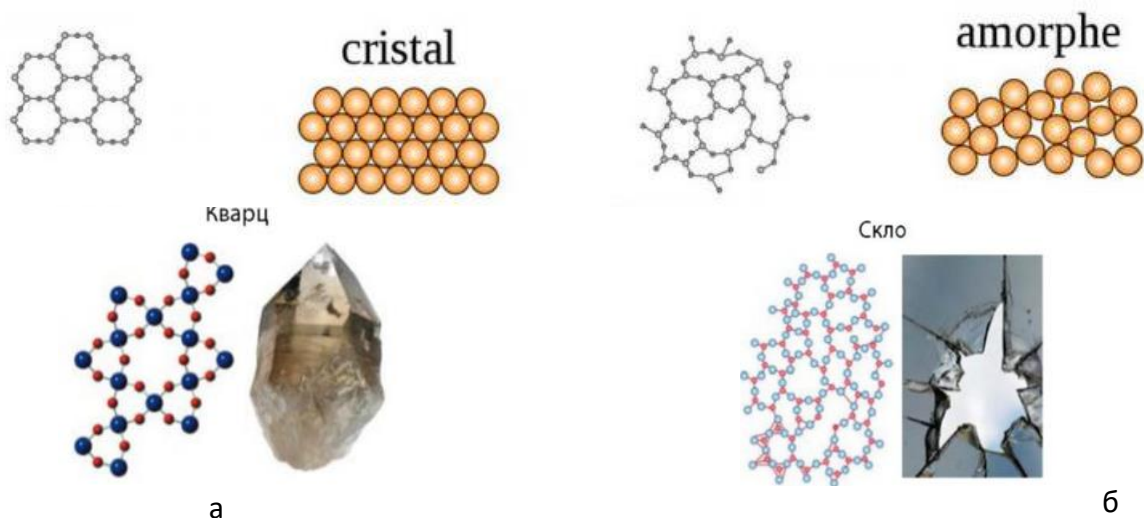
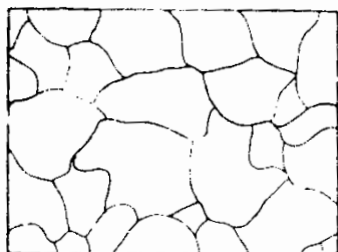


Рис. 1.7. Схеми будови речовин:
а – кристалічна; б – аморфна

В ідеальній кристалічній речовині атоми розташовані за геометрично правильною схемою і на певній відстані один від одного, в аморфному ж (склі, каніфолі) атоми розташовані безладно.

Основна більшість елементів (близько 80) з 92, що зустрічаються в природних умовах, відносяться до металів, властивості яких обумовлені особливістю їх внутрішньої будови. У всіх металів і їх сплавів будова кристалічна.



На рис. 1.8 показано мікроструктуру чистого заліза. Кристалічні зерна невизначеної форми не схожі на типові кристали - многогранники, тому їх називають кристалітами, зернами або гранулами. Проте будова кристалітів настільки ж закономірна, як і в розвинутих кристалів.

Рис.1.8 Схематичне зображення мікроструктури чистого заліза

1.4.1. Види кристалічних ґраток (решіток).

При затвердінні атоми металів утворюють кристали, які можна розглядати як геометрично правильні системи, побудовані у вигляді кристалічних решіток (ґраток).

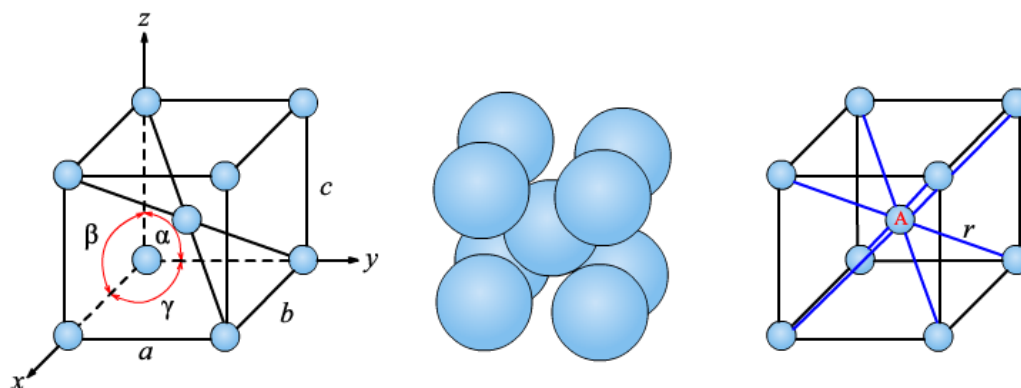
Ідеальна кристалічна решітка характеризується певним, закономірним розташуванням атомів в просторі (площини a , b , c). Ряд взаємно паралельних площин утворюють просторову кристалічну решітку. В вузлах перетинання площин розміщуються атоми металу. Порядок розташування атомів у решітці може бути різним.

Кристалічна решітка металів і сплавів характеризується формою комірки (чарунки), розміром решітки, щільністю упаковки і координаційним числом.

Форми кристалічної решітки (чарунки) більшості металів можуть бути:

- **кубічна об'ємноцентрована** (форма центрованого куба (α і β -залізо, α -титан, хром, молібден, вольфрам, ванадій). Комірка кубічної об'ємноцентрованої решітки (рис. 1.9) обмежується дев'ятьма атомами, вісім з яких розташовані по вершинах куба, а дев'ятий

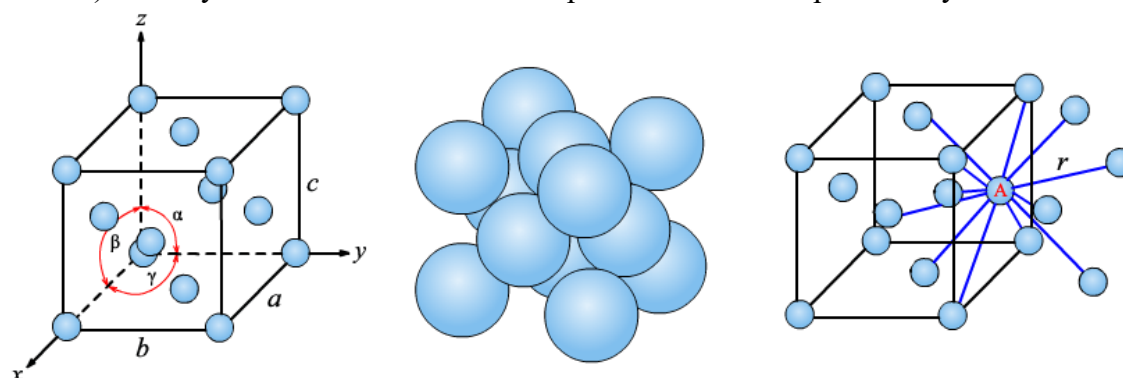
- у його центрі. Повторенням цієї комірки шляхом переносів утворюється вся структура кристала.



Параметр	Значення
Кути між осями	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
Період ґратки	$a = b = c$
Кількість атомів на чарунку	$n = 2$
Координатне число	$Z = 8$
Коефіцієнт компактності	$K = 0,68$

Рис. 1.9. Ґратка об'ємцентрична кубічна (Mo, W, V, Fe_α):
r – найменша відстань до сусідніх атомів

- **кубічна ґранецентрована** (куб з центрованими ґранями (γ-залізо, алюміній, мідь, нікель, свинець, β-кобальт). Елементарна комірка кубічної ґранецентрованої решітки (рис. 1.10) обмежується 14 атомами: 8 з них розташовані по вершинах куба і 6 — по ґранях.



Параметр	Значення
Кути між осями	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
Період ґратки	$a = b = c$
Кількість атомів на чарунку	$n = 4$
Координатне число	$Z = 12$
Коефіцієнт компактності	$K = 0,74$

Рис. 1.10. Ґратка ґранецентрична кубічна (Al, Cu, Au, Ag, Fe_γ):
r — найменша відстань до сусідніх атомів

- **тетрагональна або гексоганальна ґранецентрована** (гексагональна комірка, як у шестигранній призми, (магній, цинк, α-кобальт). Елементарна комірка гексагональної решітки (рис.1.11) обмежена 17 атомами, з них 12 атомів розташовані по вершинах шестигранної призми, 2 атоми – у центрі основ і 3 – усередині призми.

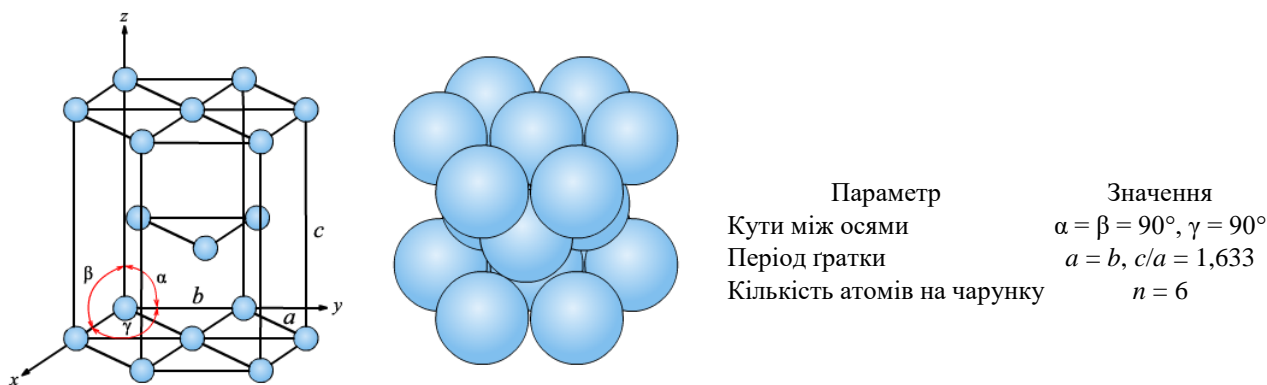


Рис. 1.11. Ґратка гексагональна щільного пакування

Форма кристалічної решітки залежить від багатьох факторів – температури, тиску, фізичної будови атомів, методів термічної обробки і інші.

Розміри кристалічної решітки характеризуються параметрами (періодами) (сторона куба або шестигранника) – відстанями між центрами атомів a, b, c , що розміщені в вузлах елементарної комірки. Параметр решіток у міді 0,36 нм, в алюмінію 0,405 нм, у цинку 0,267 нм і т. д.

Щільність і ступінь пакування атомів кристалічної решітки характеризується відношенням об'єму, зайнятого атомами, до об'єму кристалічної решітки.

Залежно від форми кристалічної чарунки і ступеня її пакування кожний атом має різне число взаємних контактів з іншими атомами. Ця величина характеризується координаційним числом – числом атомів, що знаходяться на найбільш близькій рівній відстані від даного атома:

- кубічна об'ємноцентрована решітка – К8;
- кубічна гранецентрована решітка – К12;
- тетрагональна або гексагональна гранецентрована – Т08.

Кожний з металів має свою характерну кристалічну комірку, яка багатократно повторюється і утворює решітку його структури. Міцність решітки забезпечується силами міжатомної взаємодії.

1.4.2. Види зв'язку в металах і металевих сплавах.

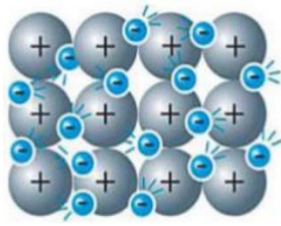
Кожний атом складається з позитивно зарядженого ядра і кількох шарів (оболонки) негативно заряджених електронів, які рухаються навколо ядра. Електрони зовнішніх оболонок атомів металів називають валентними. Вони легко відщеплюються, швидко рухаються між ядрами і називаються вільними. Внаслідок наявності вільних електронів атоми металів є позитивно зарядженими іонами.

Отже, у вузлах решіток, містяться позитивно заряджені іони. Іони, проте, не перебувають у спокої, а безперервно коливаються біля положення рівноваги. З підвищенням температури амплітуда коливань збільшується, що веде до розширення кристалів, а при температурі плавлення коливання частинок збільшується настільки, що кристалічна решітка руйнується.

На основі квантово-механічної трактовки міжатомних сил зв'язку в металічній решітці поділяються на 4 типи: металевий зв'язок; зв'язок Ван-дер-Вальса; іонний зв'язок і ковалентний зв'язок.

В металах діють всі види зв'язку. В перехідних металах, до яких відноситься і сталь, переважає металевий зв'язок, структура якого дуже складна.

Металевий зв'язок, виникає за рахунок сил притягання між решіткою з позитивно заряджених іонів і оточуючим їх газом вільних електронів. Вільні електрони не зв'язані з



яким-небудь певним атомом і їх рухливість в решітці обумовлена її напруженістю, тепло і електропровідністю.

Рис. 1.12. Схематичне зображення металевого зв'язку.

Зв'язок Ван-дер-Вальса, джерелом якого є поляризаційний ефект, що викликається впливом поля електронів, що рухаються навкруг ядра даного атома, на рух електронів навкруг ядра сусіднього атома

Іонний зв'язок – результат електростатичного при тяжіння разноіменно заряджених іонів. При достатньо тісному зближенні електронні оболонки іонів приходять в дотик.

Ковалентний зв'язок, що виникає при взаємодії групи електронів, які обертаються навкруг двох атомів металу і одночасно не зв'язаних ні з одним з них.

1.4.3. Будова сплавів на субмікро-, мікро- і макроскопічному рівнях.

Будова реального сплаву відрізняється в значній мірі від ідеальної кристалічної будови металів на всіх рівнях: субмікро-, мікро- і макроскопічному. Цьому сприяють багаточисленні фактори кристалізації сплавів, технологічної обробки металів (наприклад зміцнення арматури), напруженого стану виробу (попередньо-напружена арматура в збк) і т.п.

Субмікрокристалічна будова. На субмікрокристалічному рівні розглядають закономірності кристалічної будови сплаву в межах декількох параметрів решітки.

Внутрішнє напруження, міжатомні зв'язки, хімічні домішки, температура і тиск визначають енергетичний стан сплаву, а значить і його будову. Всі ці фактори в залежності від агрегатного стану сплаву можуть викривляти (потворити) елементарні комірки металу, приводячи їх до не бездоганності. Причому не бездоганність (тобто дефекти) реальної кристалічної решітки може бути значною.

Дефекти в структурі металу можуть бути *точковими, лінійними і об'ємними*.

Точкові дефекти викликають спотворення атомної ґратки металу до 6 її періодів при появі атомів заміщення і вбудовування, вакантних місць в решітці і атомів в міжвузлях, кількість цих дефектів зростає з підвищенням температури.

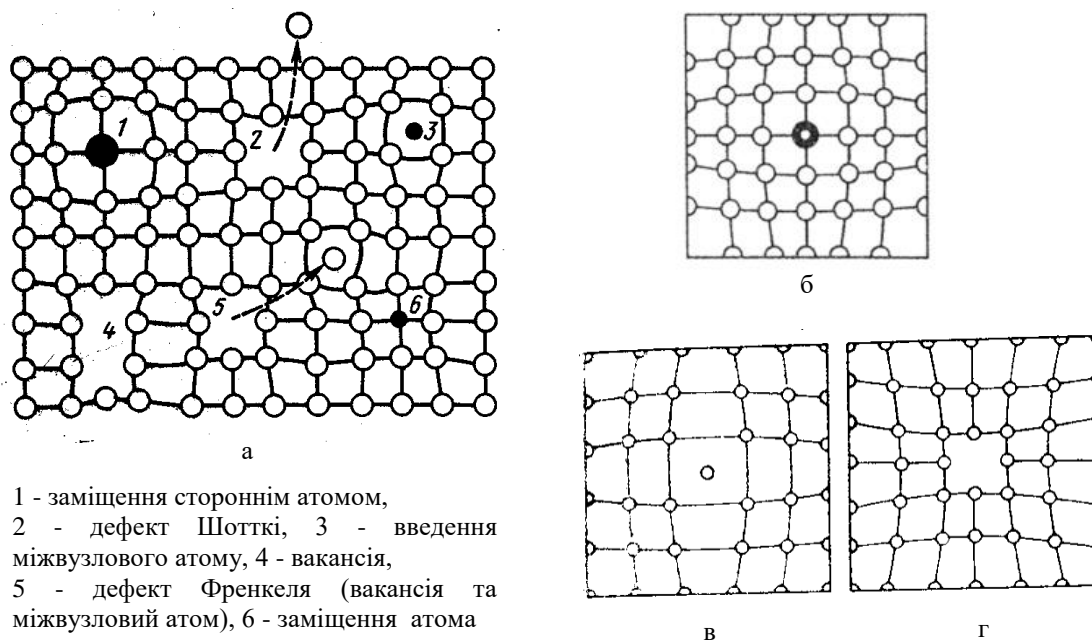
Тобто точковими дефектами є (рис. 1.13): пусті вузли, або вакансії; міжвузлові атоми; сторонні атоми (кількість яких дуже велика навіть у технічно чистих металах; особливо багато таких атомів у сплавах).

Атоми заміщення і вбудовування виникають за рахунок різної щільності заповнення локальних об'ємів елементарної чарунки атомами різних елементів з неоднаковими атомними радіусами. Таке явище спостерігається при наявності різних домішок в металі (хром, кремній, марганець, вуглець в залізі; олово, алюміній, цинк в міді іт.д): постійних, прихованих, випадкових і легуючих елементів.

Атоми в міжвузлях формуються в період вбудовування атомів домішок в решітку заліза або в період дифузії атомів заліза з решітки.

Вакантні місця в решітці утворюються в тому випадку, коли атом, долає енергію потенційного бар'єру, полищає своє місце в вузлі кристалічної решітки і переміщується в міжвузля.

Завдяки взаємодії один з одним атоми безперервно обмінюються кінетичною енергією – то віддають її сусідам, то отримують від них. Атоми, набуваю підвищену кінетичну енергію (за рахунок підвищення внутрішніх напружень, температури), отримують можливість долати міжатомні зв'язки і вириватись з вузлів решітки, залишаючи вільні (вакантні) місця. Що приводить до появи дефектів структури.



1 - заміщення стороннім атомом,
 2 - дефект Шоттки, 3 - введення міжвузловий атому, 4 - вакансія,
 5 - дефект Френкеля (вакансія та міжвузловий атом), 6 - заміщення атома

Рис. 1.13. Точкові дефекти в кристалах:
 а – схема точкових дефектів у кристалі; б – атоми вбудовування і заміщення; в – атоми в міжвузлях; г – вакантні місця

Лінійні дефекти. Найважливішими лінійними дефектами є дислокації. **Дислокації** – лінійні дефекти, що викликають порушення ідеальної будови кристалічної решітки і характеризуються великою протяжністю в одному напрямі (на десятки і навіть тисячі її періодів) і малою в другому. Дислокаційні види дефектів поділяють на *лінійні, гвинтові і часткові*.

Взаємодія дислокацій з іншими видами дефектів в значній мірі визначає реологічні властивості матеріалу.

Лінійна дислокація (рис.1.14) утворюється шляхом появи додаткової атомної площини (екстраплощини) в кристалі. Екстраплощина CC_1 викликає пружне викривлення площин NN_1 і BB_1 кристалічної решітки розміром 2-5 періодів під дією сили зрізу Q, Q_1 .

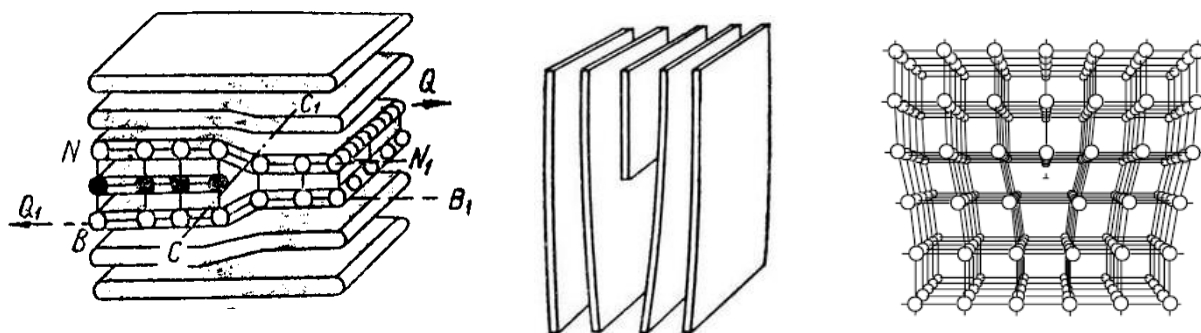


Рис. 1.14. Схема лінійної дислокації

Гвинтова дислокація (рис. 1.15) – це пряма лінія DD_1 , навкруг якої атомні площини L вигнуті по гвинтовій поверхні. Гвинтова дислокація може бути правою при обертанні атомної поверхні по годинній стрілці або лівою – при обертанні проти годинникової стрілки.

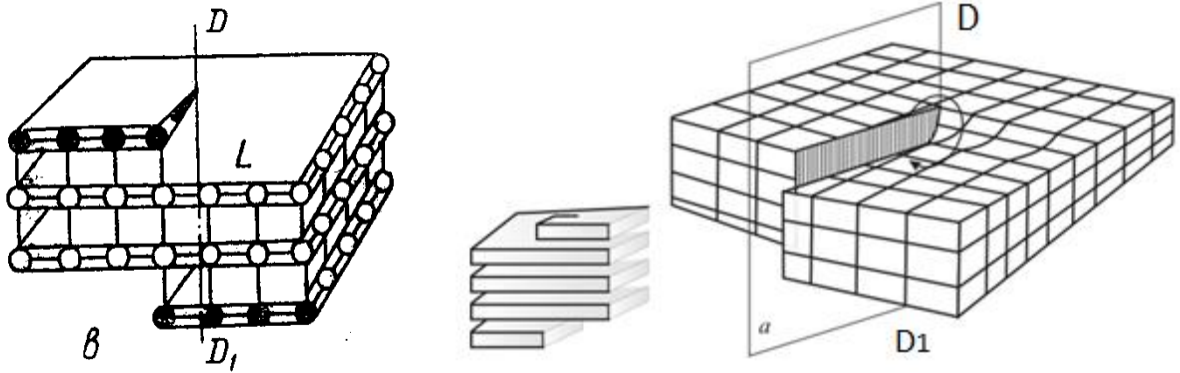
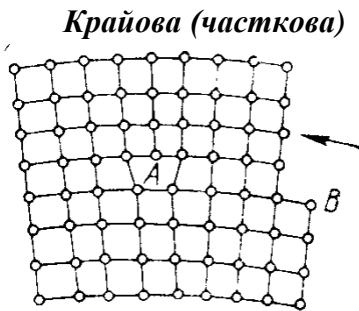


Рис. 1.15. Схема гвинтової дислокації



Крайова (часткова) дислокація утворюється в деяких областях кристалів в місцях щільно упакованої решітки, коли атоми одної площини не мають характерного протистояння відносно інших площин, а їх центри зміщені на півперіоду. Тобто ніби зсув частини кристалічної решітки (по лінії *AB*).

Рис. 1.16. Схема крайової дислокації

В металах знаходиться велика кількість дислокацій різних видів. Так щільність дислокацій в відпаленому металі складає 10^7 - 10^8 на 1 см^2 , а в деформованому – 10^{12} - 10^{13} . В результаті такого скопичення дислокацій і точкових дефектів в металі утворюються система дислокаційних гілок, що викликають значне викривлення (спотворення) кристалічної решітки металу на субмікроструктурному рівні.

Об'ємні дефекти викликають викривлення кристалічної решітки на десятки параметрів по довжині і ширині. Характерним об'ємним дефектом є локальне скопичення вакансій в колонії, які повністю порушують взаємозв'язок атомів, й відповідно і решітки. Зазвичай при підвищенні енергетичного стану системи (навантаження, температура) колонії вакансій є джерелом зародження мікротріщин.

Мікроскопічна будова. Під мікроскопічною будовою розглядають будову металу на рівні його зерен. Метали мають полікристалічну будову. **Зернами** називають кристали, що мають неправильну форму, різні розміри і різну орієнтацію в просторі. Структура самих зерен відноситься до субмікроскопічного рівня будови металу, а їх форма і взаємне розташування – до мікроскопічного рівня.

Розміри зерен можуть бути різними – від 10^{-4} до 1 см , а розорієнтування зерен відносно друг друга складають десятки градусів (рис. 1.17, а). В свою чергу, всередині зерен можуть бути ділянки, які розорієнтовані на декілька градусів, що мають назву **фрагментів** (рис. 1.17, б). Розмір фрагментів зазвичай, розміром 10^{-5} – 1 см , розорієнтовані на кути в декілька хвилин (рис. 1.17, в, г, д). Такі ділянки називають блоками мозаїчної структури. В результаті полігональна структура сталі має багато чисельні границі і розділи мозаїчних блоків, фрагментів і зерен, які мають великий вплив на розвиток непружних процесів в металі за рахунок наявності пустот, неметалевих включень, мікротріщин на границі розділів (рис. 1.17, в).

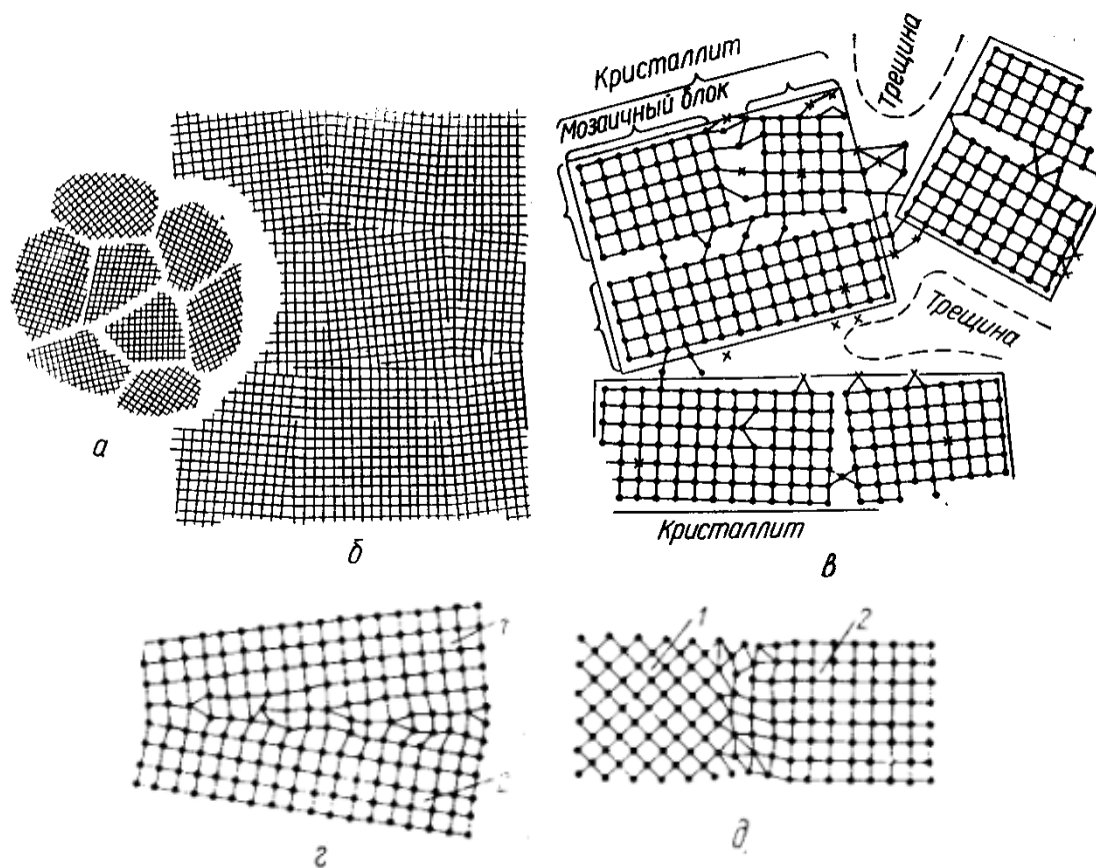


Рис. 1.17. Схеми будови металів:
 а – полікристалічні зерна; б – фрагментація і блочність зерен; в – розділи зерен; г – ділянка границі субзерен або блоків; д – приклад різної орієнтації кристалевих ґрадок зерен

Поверхневі дефекти спричинюються наявністю субзерен або блоків 1, 2 всередині кристала (рис. 1.17, г), а також різною орієнтацією кристалічних решіток зерен 1, 2 (рис. 1.17, д).

По границях зерен решітка одного кристала переходить у решітку іншого, тут порушено симетрію розташування атомів.

Макроскопічна будова. Під макроскопічною будовою розуміють *стан поверхні металевих виробів* (поверхня періодичного профілю арматури, швелерів, штаби, відливок і т.д.). На поверхнях арматури періодичного профілю, листової сталі прокату (кутиків, двотаврів і інше) в процесі прокатування зароджуються і в деяких випадках розвиваються мікротріщини. Їх скопичення спостерігається особливо в місцях перетину ребер. Макроструктура прокату змінюється в залежності від напрямлення руху валків відносно оброблюваного металу і його деформацій (при поздовжній, поперечній і поперечно-гвинтовому прокатуванні). Всі види пластичної обробки металу (прокат, штампування) супроводжується нерівномірною деформацією виробів по всім трьом вимірам, що призводить до локалізації макроструктури на незначних площах поверхні.

1.4.4. Анізотропність і спайність кристалів. Алотропія металів.

Анізотропність кристалів. В окремих кристалах властивості різні в різних напрямках. Якщо взяти великий кристал (є лабораторні і виробничі методи вирощування крупних кристалів), вирізати з нього кілька однакових за розміром, але по-різному орієнтованих зразків і випробувати їх властивості, то іноді спостерігається дуже значна

різниця у властивостях окремих зразків. Наприклад, при випробуванні зразків, вирізаних з кристала міді, відносне видовження змінювалося в межах від 10 до 55 %, а границя міцності – від 14 до 35 кгс/мм² для різних зразків. Цю властивість кристалів називають **анізотропністю**. Анізотропність кристалів пояснюється особливостями розташування атомів у просторі.

Спайність кристалів. Наслідком анізотропності кристалів є спайність, яка виявляється при руйнуванні. У місцях злому кристалів можна спостерігати правильні площини (рис. 1.18, а), які свідчать про зміщення частинок під впливом зовнішніх сил не безладно, а правильними рядами, у певному напрямі, відповідно до розташування частинок у кристалі. Ці площини називаються площинами спайності.

Аморфні тіла **ізотропні**, тобто всі ці властивості однакові у всіх напрямках. Злом аморфного тіла завжди має неправильну, викривлену, так звану раковисту поверхню (рис. 1.18, б).

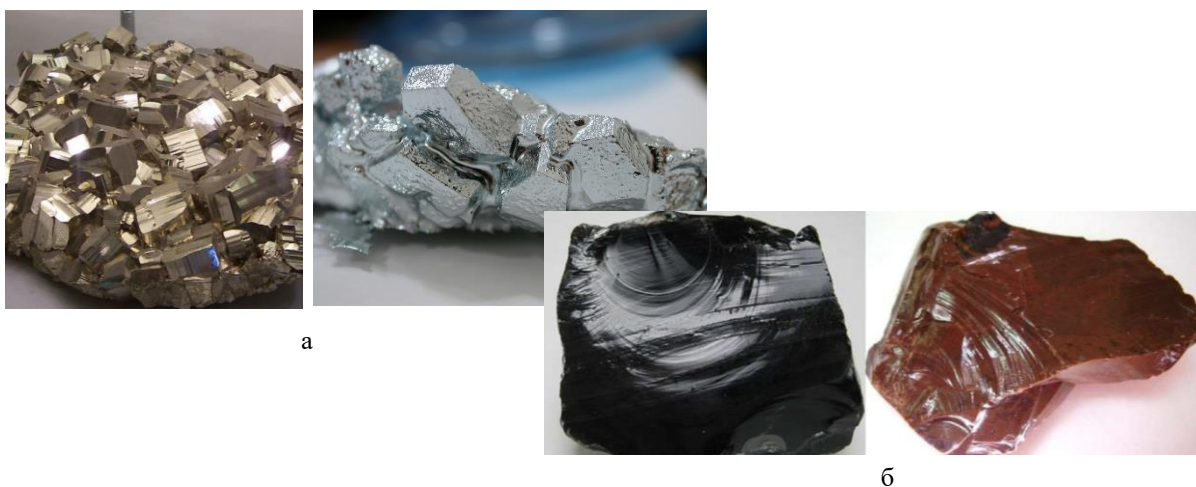


Рис.1.18. Злам кристалічних (а) і аморфних тіл (б)

Метали, які затверділи у звичайних умовах, складаються не з одного кристалу, а з безлічі окремих кристалів, по-різному орієнтованих один до одного, тому властивості литого металу приблизно однакові в усіх напрямках; це явище називається **квазіізотропністю (уявною ізотропністю)**.

Алотропія металів (або поліморфізм) – це властивість перебудовувати решітку при певних температурах у процесі нагрівання або охолодження. *Алотропія властива всім елементам, які змінюють валентність при зміні температури*, наприклад залізу, марганцю, нікелю, олову та ін. Кожне алотропічне перетворення відбувається при певній температурі. Наприклад, одне з перетворень заліза відбувається при температурі 911 °С, нижче від якої атоми складають решітку центрованого куба (див. рис. 1.9), а вище — решітку гранецентрованого куба (див. рис. 1.10).

Структура, що має ту або іншу решітку, називається алотропічною формою, або модифікацією. Різні модифікації позначають грецькими буквами α , β , γ і т. д., причому буквою α позначають модифікацію, яка існує при температурах нижче від першого алотропічного перетворення. Алотропічні перетворення супроводжуються віддачею (зменшенням) або поглинанням (збільшенням) енергії.

1.4.5. Кристалізація металів. Кристалізація заліза.

Кристалізація металів. Кристалізацією називається утворення кристалів у металах (і сплавах) при переході з рідкого стану в твердий (первинна кристалізація).

До вторинної кристалізації відносять перетворення в затверділому металі при його охолодженні. Сюди належать перекристалізація з однієї модифікації в другу (поліморфні перетворення), розпад твердих розчинів, розпад (а також утворення) хімічних сполук.

При охолодженні розплаву металу, тобто при переході з рідкого стану в твердий, утворюється кристалічна ґратка (решітка), тобто відбувається кристалізація. Щоб розпочалась кристалізація, рідкий метал необхідно переохолодити до критичної точки (критичної температури), яка дещо нижче від температури плавлення. Критичною точкою називається температура, яка відповідає будь-якому перетворенню в металі.

У деяких металів ступінь переохолодження (критична точка) може бути дуже значним (наприклад, у сурми до 40°), і при температурі переохолодження відразу бурхливо розпочинається кристалізація.

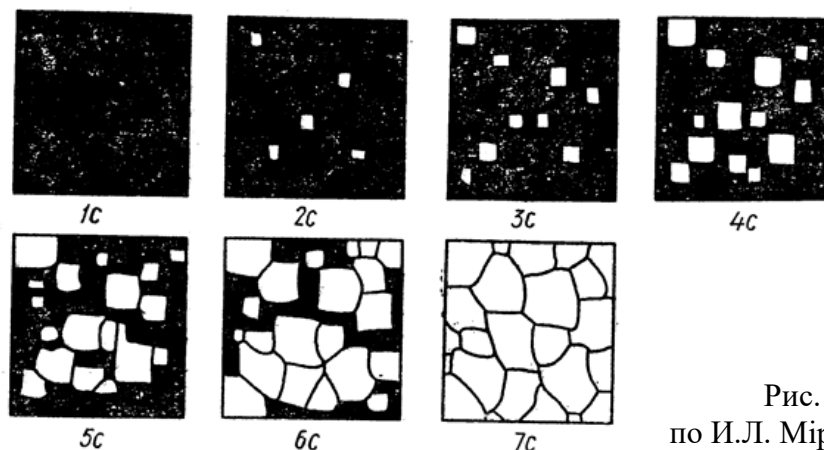


Рис. 1.19. Схема росту кристалів по И.Л. Міркіну

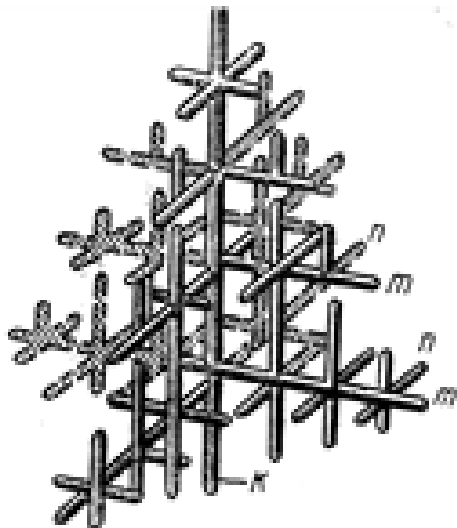
Процес кристалізації відбувається наступним чином (рис. 1.19): в розплаві (1с) виникають перші центри кристалізації (2с-4с), кількість яких збільшується при охолодженні металу або сплаву; по мірі відводу тепла відбувається рост кристалів правильної форми, але різної орієнтації, до тих пір, поки вони не розпочнуть зростатись (5с, 6с); в цей період форма зерен видозмінюється, метал повністю кристалізується (7с).

Отже, процес кристалізації складається з двох етапів: утворення центрів кристалізації і росту кристалів.

Центрами кристалізації в більшості випадків є частинки нерозчинних домішок (наприклад, окисли алюмінію, нітриди, сульфіді). Чим більше таких центрів, тим більш дрібними є зерна закристалізованого металу, тим швидше протікає процес кристалізації. Тому в рідкий метал додають речовини, що називають **модифікаторами**, які сприяють росту зерна (тугоплавкі дрібні частинки) або уповільнюють його ріст (поверхнево-активні речовини, що осаджуються на поверхні кристалів, що ростуть).

У кожного з кристалів, які виникають, кристалографічні площини орієнтовані випадково. Крім того, при первинній кристалізації кристали можуть повертатися, тому що вони оточені рідиною. Суміжні кристали ростуть назустріч один одному і точки їх зіткнення визначають границі кристалів (зерен).

Вважається, що найкращий рост зерен відбувається по границям лінійних дефектів (дислокацій). Наприклад, при наявності гвинтової дислокації, що виходить на поверхню кристалів, рост зерен відбувається по гвинтовій поверхні, що має виступаючі частинки (сходинки).



Первинні кристали в рідкому металі мають форму дерева, тому їх називають *дендритами* (рис. 1.20 і 1.21). Така форма кристалів пояснюється умовами, які не обмежують їх ріст; при цьому атоми приєднуються до грані кристала в напрямку максимальної сили зв'язку. Спочатку утворюється кристал по головній осі (вісь к), до якого під певними кутами починають прирощуватись кристали по вісям другого порядку (вісь m), третього порядку (вісь n) і т.д.

Рис. 1.20. Дендрит по Д.К. Чернову

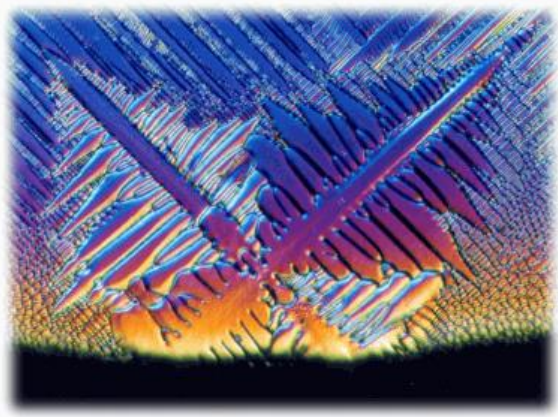
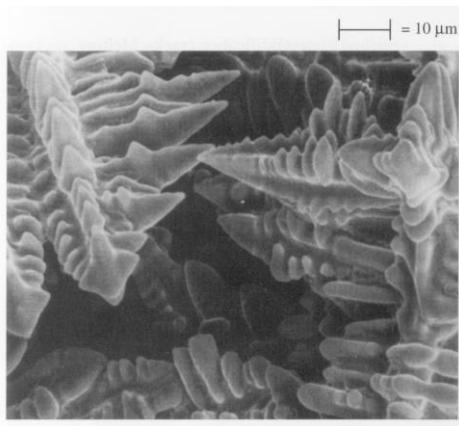


Рис. 1.21. Фотографії дендритів отриманих на модельних сплавах

Кристалізація заліза. Крив охолодження і нагріву чистого заліза наведено на рис.

1.22.

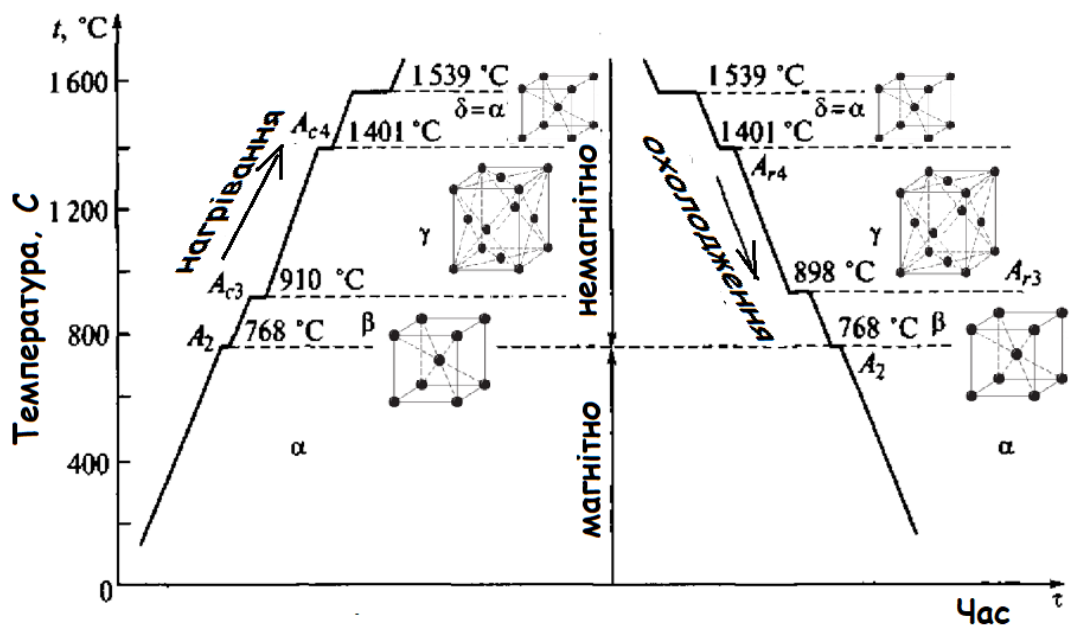


Рис. 1.22. Криві охолодження і нагріву чистого заліза

Рівноважна температура плавлення і затвердіння чистого заліза становить 1539 °С. Наявність критичних точок при менших температурах свідчить про алотропічні перетворення в твердому залізі.

Критичні точки перетворень заліза позначають літерою А, індекси 2, 3 і 4 призначені для того, щоб відрізнити алотропічні перетворення одне від одного (індекс 1 означає перетворення на діаграмі стану Fe–Fe₃C). При нагріванні приписують букву *s*, при охолодженні букву *r*, тому що в результаті гістерезису температури перетворень при нагріванні вищі, а при охолодженні нижчі від рівноважних.

При температурі менш як 768 °С залізо феромагнітне.

При нагріванні в точці A_{s2} , яка називається точкою Кюрі, залізо стає парамагнітним; за сучасними уявленнями магнітне перетворення пов'язане із змінами на зовнішніх електронних оболонках атомів.

На кривій в точці A_2 є перегин, але решітка не змінюється (магнітне перетворення не має гістерезису: $A_{s2}=A_{r2}$) і залізо до точки A_{s3} має кристалічну ґратку центрованого куба; цю модифікацію називають α -залізо.

Парамагнітну частину цієї модифікації (між точками A_2 і A_{s3}) називають β -залізо.

В точці A_{s3} α -залізо переходить в γ -залізо з кристалічною ґраткою гранецентрованого куба

У точці A_{s4} γ -залізо переходить в δ -залізо, причому кристалічна решітка знову перебудовується з гранецентрованого куба в центрований куб, тому δ -залізо називають також високотемпературною модифікацією α -заліза. A_{s4} , A_{r4} – перехід аустеніту в δ -феррит при нагріванні і охолодженні відповідно.

При охолодженні алотропічні перетворення відбуваються в зворотній послідовності.

З перелічених перетворень найбільше практичне значення мають перетворення в точці L_3 як при нагріванні (A_{s3}), так і при охолодженні (A_{r3}). A_{s3} , A_{r3} – поліморфне перетворення фериту в аустеніт при нагрівання і охолодженні відповідно.

Перетворення в точці A_3 супроводжується зміною об'єму. Оскільки щільність кристалічної решітки γ -заліза більша від щільності решітки α -заліза, в точці A_{s3} об'єм зменшується, у точці A_{r3} – збільшується.

γ -залізо здатне розчинити до 2,14% вуглецю при температурі 1147 °С, α -залізо – до 0,02 % при 723 °С і тільки 0,006 % при 0 °С. Властивість заліза розчиняти значну кількість вуглецю використовують при термічній і хіміко-термічній обробці.

Контрольні запитання для самоперевірки:

1. Дати визначення «метали».
2. Дати визначення «металевий сплав»
3. Які типи кристалічних ґраток Вам відомі
4. Що показує мікроскопічна та макроскопічна будова металів і сплавів.
5. Розкрийте поняття «субмікроструктурна будова сплавів».
6. Назвіть відомі вам види дефектів в структурі сплавів.
7. Що таке дислокації. Які дислокації Ви знаєте?
8. Розкрийте поняття «кристалізація металів».
9. Розкрийте поняття «алотропія металів».
10. Дати визначення «анізотропність».
11. Назвіть особливості кристалізації заліза.

Тема 2. Залізовуглецеві сплави: класифікація, характеристика, структура. (2 години)

План

2.1. Залізо

2.2. Чавун і феросплави.

2.3. Сталь

2.1. Залізо.

Дуже чисте і надчисте залізо в промисловості знаходить застосування, особливо в електротехніці, де використовуються його магнітні властивості, та при виробництві особливо якісних сплавів.

Найбільш широкого вжитку набули сплави заліза. Навіть *технічне залізо* – це є сплав з вмістом вуглецю до 0,02 % .

Розчинність вуглецю в залізі змінна, зі зниженням температури розчинність вуглецю в залізі знижується. При температурі 727⁰С у залізі розчиняється 0,02% вуглецю, а за кімнатної температури 0,006%. У зв'язку з цим сплави заліза із вмістом вуглецю до 0,006 % мають структуру лише фериту, тобто. твердого розчину вуглецю у залізі (рис.2.1.1).

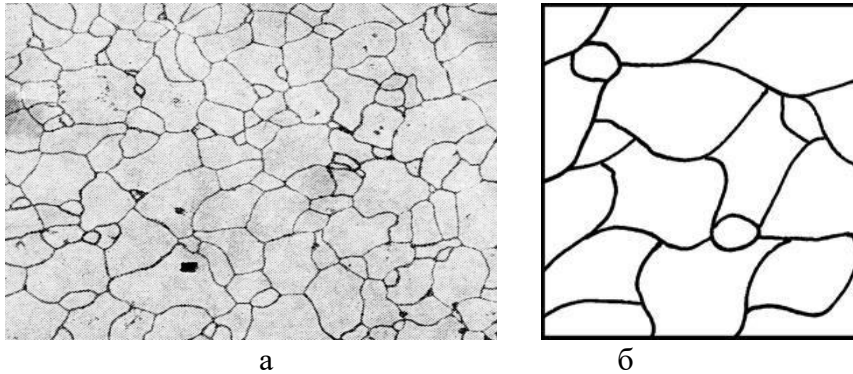


Рис. 2.1.1. Мікроструктура технічного заліза (вуглецю до 0,006 %) а - мікроструктура; б - схема мікроструктури

У сплавах із вмістом вуглецю від 0,006 до 0,02 % у зв'язку з зниженням розчинності вуглецю в залізі, при зниженні температури, з фериту виділяється цементит, званий третинним. При кімнатній температурі структура таких сплавів складається з фериту та третинного цементиту, який розташовується по межах зерен фериту.

Максимальна кількість третинного цементиту приблизно дорівнює 0,3%. Проте навіть така мала кількість цементиту третинного надає низьковуглецевій сталі низькі пластичні властивості, тобто призводить до збільшення крихкості (через розташування навколо зерен фериту крихких оболонок).

Для усунення цього явища проводиться спеціальна термічна обробка, в результаті якої третинний цементит виділяється у вигляді

Чавун і сталь є сплавами заліза з вуглецем, а також марганцем, кремнієм, фосфором і сіркою. Леговані чавун і сталь можуть містити крім вище названих ще й інші компоненти. Елементом, що найбільше впливає на властивості чорних металів, є вуглець, і залежно від його вмісту ці метали поділяють на сталь і чавун.

2.2. Чавун і феросплави

Чавуном називають залізовуглецевий сплав, який містить більш як 2,14 % вуглецю (2-4,5%), до 4% кремнію, до 2% марганцю і інші елементи.

Чавун відрізняється від сталі за складом, тобто має більш високий вміст вуглецю й відповідно має інші технологічні властивості.

Чавун завдяки високому вмісту вуглецю має кращі ливарні якості і характеризується малою здібністю до пластичної деформації (в звичайних умовах не піддається куванню).

Залежно від стану вуглецю в чавуні розрізняють:

- білий чавун
- сірий чавун
- високоміцний чавун
- ковкий чавун.

У **білому чавуні** весь вуглець перебуває в зв'язаному стані з залізом у формі цементиту або карбиду заліза Fe_3C , що й визначає білий колір злому.

Білий чавун, залежно від вмісту вуглецю, поділяється на доевтектичний (від 2,14 до 4,3 % C), евтектичний (4,3 % C) та заевтектичний (від 4,3 до 6,67 % C).

У всіх білих чавунах є ледебурит - це евтектична суміш аустеніту і цементиту, що утворюється при кристалізації рідкого сплаву з концентрацією вуглецю в рідині 4,3%.

Мікроструктура евтектичного білого чавуну складається лише з одного ледебуриту. (рис. 2.2.1). При температурі $727^{\circ}C$ аустеніт перетворюється на перліт. Таким чином, після повного охолодження ледебурит складається з цементиту та перліту. Властивості цього чавуну переважно визначаються властивостями цементиту, який пронизує евтектичну колонію. У зв'язку з цим ледебурит відрізняється, подібно до цементиту, більшою твердістю і крихкістю, не кується і не прокочується ні в холодному, ні в гарячому стані.

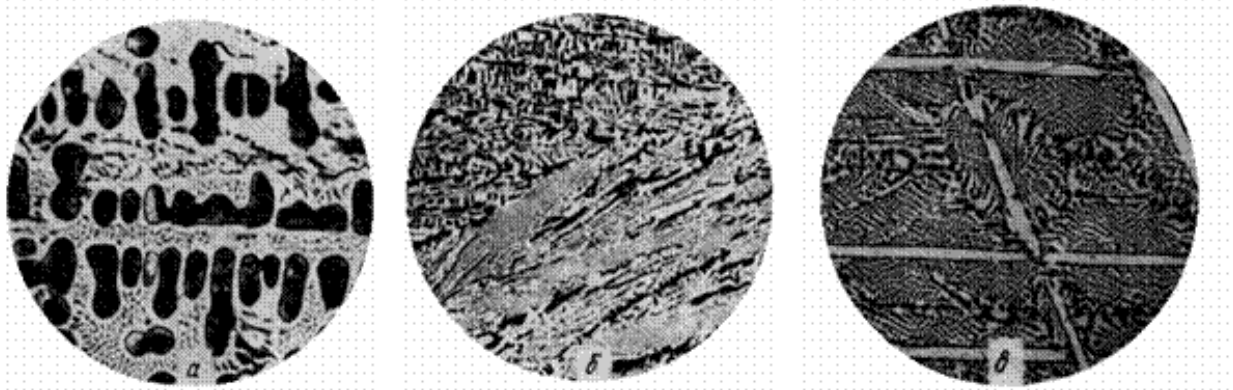


Рис.2.2.1. Мікроструктура білого чавуна (x100)
а – доевтектичного, б – евтектичного, в – заевтектичного

Мікроструктура доевтектичного білого чавуну після повної кристалізації ($T=1147^{\circ}C$) має структуру: ледебурит-аустеніт-цементит вторинний. Вторинний цементит виділяється з аустеніту, що містить при $T = 1147^{\circ}C$ – 2,14% C, а при $T = 727^{\circ}C$ – 0,8% C. При повному охолодженні сплаву структура складається з надлишкового перліту (колишнього аустеніту), ледебуриту перетвореного (перліт + цементит) та цементиту вторинного.

Мікроструктура білого заевтектичного чавуну характерна надлишковими кристалами цементиту (білі пластини) і перетвореним ледебуритом, що складається з темних ділянок перліту та світлої основи цементиту.

Зварювання білого чавуну утруднене в зв'язку з утворенням тріщин при нагріванні і охолодженні. Основну масу його використовують для переробки на сталь.

Обмежено застосовують відливки з відбіленим поверхневим шаром, наприклад прокатні валки, колеса залізничних вагонів, шари млинів та інші деталі, що працюють у важких умовах зносу (Fe_3C дуже твердий і зносостійкий).

В мікроструктурі сірого, високоміцного і ковкого чавунів розрізняють металеву основу і графітові включення.

За будовою металевої основи чавуни поділяють на перлитні, перлитно-феритну і феритні чавуни (рис.2.2.2)

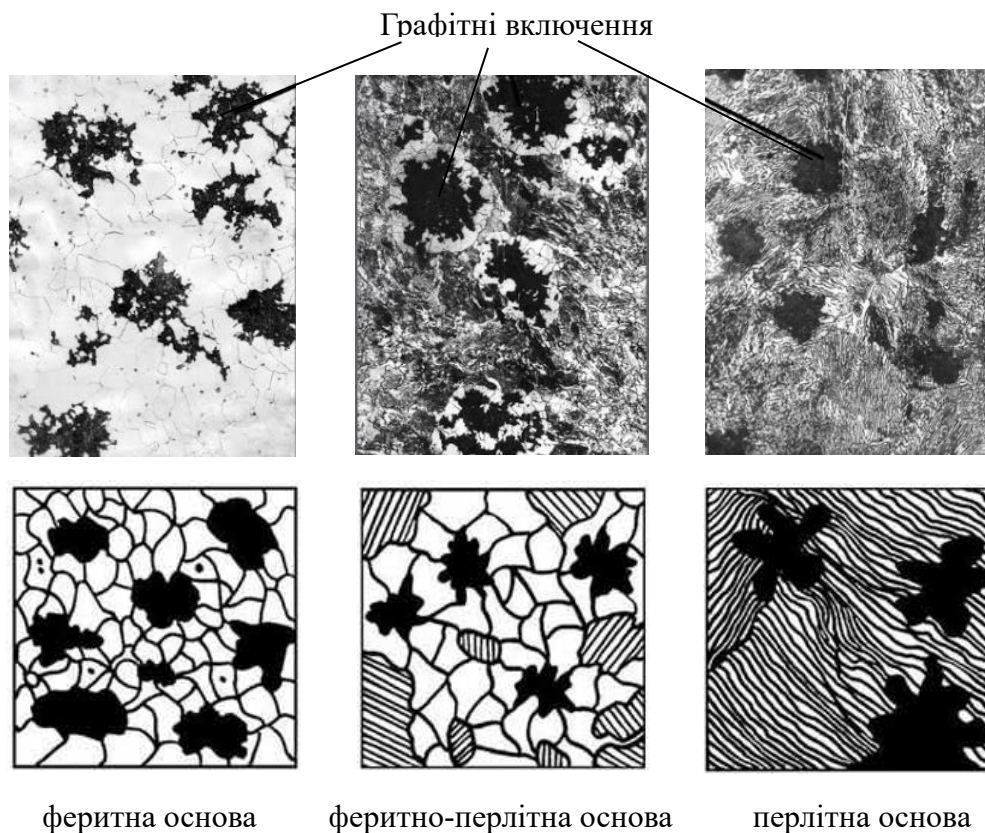


Рис. 2.2.2. Загальний вигляд і схематичне зображення матриць в сірих, ковких і високоміцних чавунах

Чавуни (за винятком білого) відрізняються від сталі наявністю в структурі графітових включень, а між собою чавуни різняться формою цих графітових включень. Тобто весь вуглець чи його більша частина перебуває в вільному стані у вигляді графіту.

Графіт – це поліморфна модифікація вуглецю. Процес утворення графіту в сплавах заліза з вуглецем називається графітизацією. На процеси графітизації чавунів великий вплив надає хімічний склад чавуну і насамперед сумарний вміст вуглецю та кремнію. Зі збільшенням останніх складність до графітизації збільшується. Алюміній, кальцій є також графітизаторами. Швидкість охолодження також істотно впливає ступінь графітизації, збільшення швидкості охолодження гальмує графітизацію, тобто. призводить до вибілювання чавуну.

Графітна фаза в чавунах може мати різну структурну форму, розрізняють такі форми (рис.2.2.3):

- в вигляді тонких пластинок або пелюсток (а);
- в вигляді компактних утворень неправильної форми або хлоп'єв (б);
- сфероїдальної форми або шаровидної (в).

Графітні включення можливо розглядати як порожнини відповідної форми в структурі чавуну. Навколо таких дефектів при навантаженні концентруються напруження, значення яких тим більше, чим гостріший дефект.

Тобто графітні включення пластинчастої форми в максимальній мірі розміщують метал.

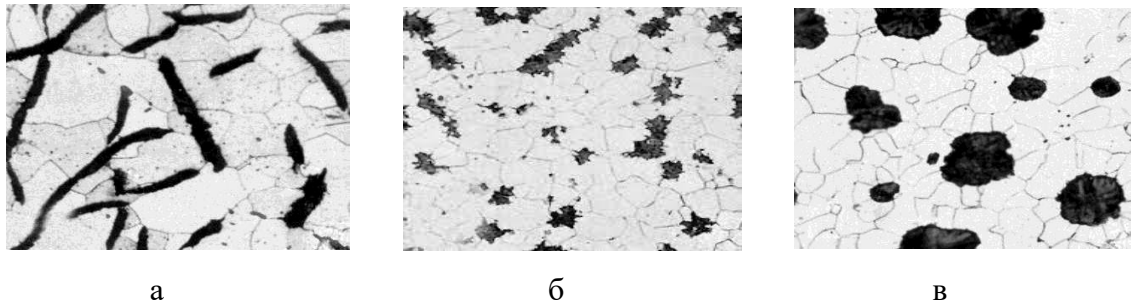


Рис.2.2.3. Форми графітних включень (наведені в феритній матриці)

Більш сприятлива хлопєвидна (пластівцеподібна) форма, а оптимальною є шаровидна форма графітових включень.

Округлі включення шаровидного графіту не створюють різкої концентрації напружень, такі включення не є «тріщинками». Чавун з шаровидним графітом має значно більш високу міцність при розтягу і вигині.

Пластичність так само залежить від форми графітних включень. Наявність графіту найбільше різко знижує опір при жорстких способах навантаження: удар; розрив. Опір стиску знижується мало.

Сірий чавун. Чавун з графітними включеннями в вигляді тонких пластинок або пелюсток називається сірим.

У сірому чавуні злом має сірий або темно-сірий колір.

Сірий чавун використовують виключно як ливарний, характерним для нього є підвищений вміст кремнію і знижений вміст сірки. Цей чавун при розливанні добре заповнює форми; заготовки добре оброблюються різальними інструментами.

Структура сірих чавунів і схеми їх зображення наведена на рис. 2.2.4

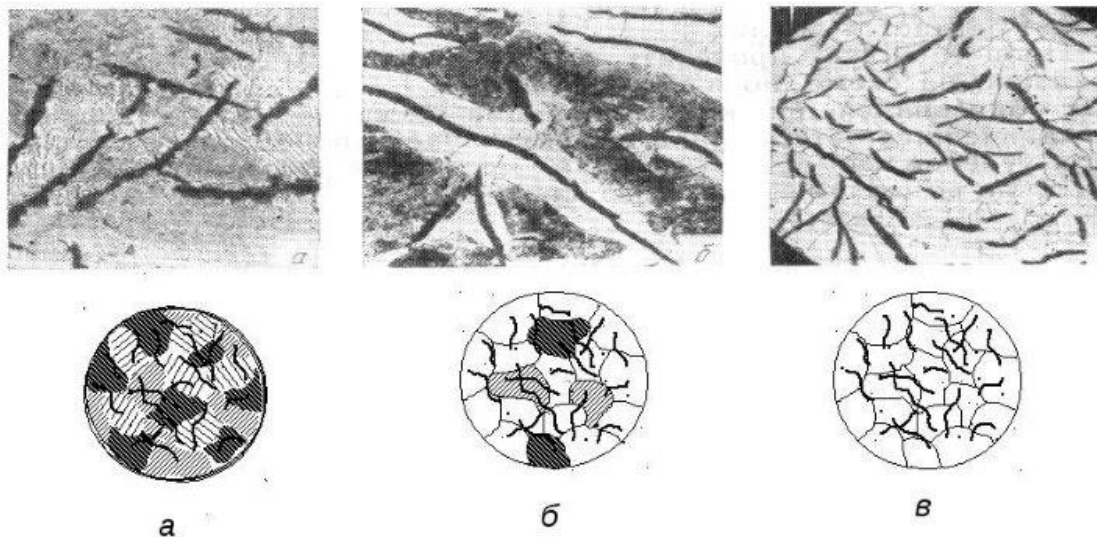


Рис. 2.2.4. Структура і схематичне зображення сірих чавунів:

а – перлітний чавун, x200; б – феритно-перлітний чавун, x100; в – феритний чавун, x100

Ковкий чавун. Чавун з графітними включеннями в вигляді компактних утворень неправильної форми або хлопєв називають ковким.

Ковкий чавун отримують з білого чавуну.

Суть технологічного процесу складається в тому що відливки з структурою білого чавуна піддають тривалому (30-40 годин) відпалу – томленню при температурі 950 - 1050°C.

При цій температурі цементит, що є в структурі розпадається за реакцією $Fe_3C = Fe + C$ (графіт). В силу особливостей процесу утворення графіту з твердої фази він набуває форми компактних новоутворень неправильної форми, що є характерною ознакою ковкого чавуну. При розгляді в мікроскопі мікрошліфа (рис. 2.2.5) ковкого чавуну добре видно включення пластівцевого графіту (вуглецю відпалу).

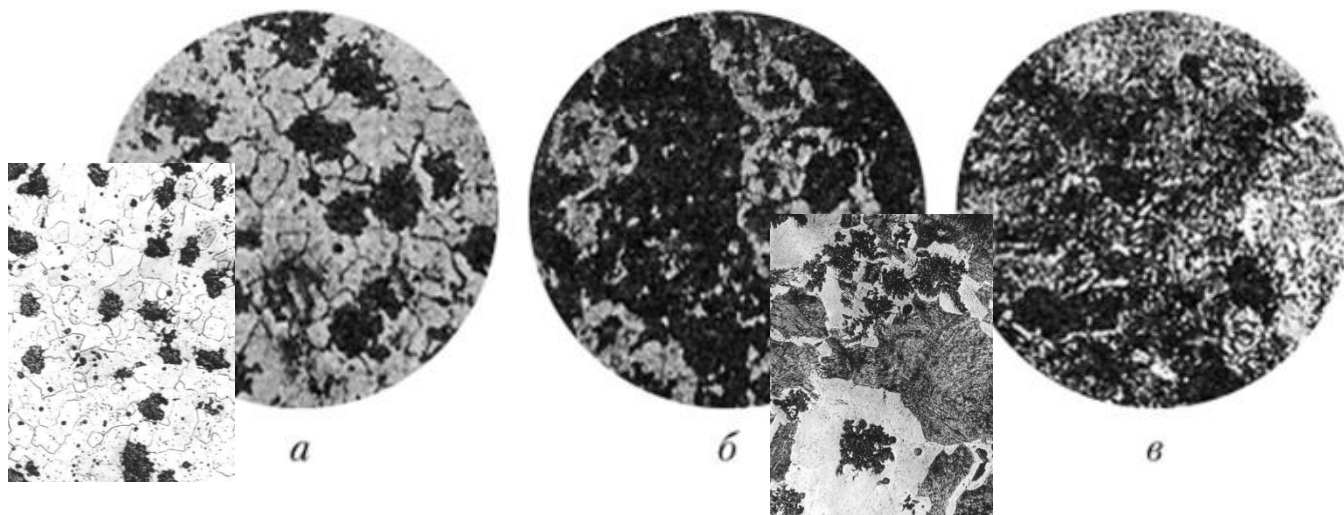


Рис. 2.2.5. Микроструктури ковких чавунів (X200):
а — феритний ковкий чавун; б — ферито-перлітний ковкий чавун; в — перлітний ковкий чавун

Металева основа ковкого чавуну також подібна до мікроструктури сталі. За будовою металевої основи ковкі чавуни поділяють на: ковкий перлітний, ковкий перлітно-феритний і ковкий феритний чавун.

Ковкий чавун с хлопьевидним графітом займає проміжне положення за міцністю між звичайним сірим і високоміцним чавунами.

Високоміцний чавун. Чавун з графітними включеннями сфероїдальної форми або кулеподібної називається високоміцними.

Високоміцний чавун отримують при плавленні шляхом модифікації сплаву магнієм або церієм в кількості 0,1-0,2 % від ваги рідкого чавуна. Магній або церій впливає на процес графітізації, на кристалізацію графіту.

Адсорбуючись на поверхні включень графіту, ці елементи сприяють утворенню включень графіту по формі наближених до форми кулі (рис.2.2.6).

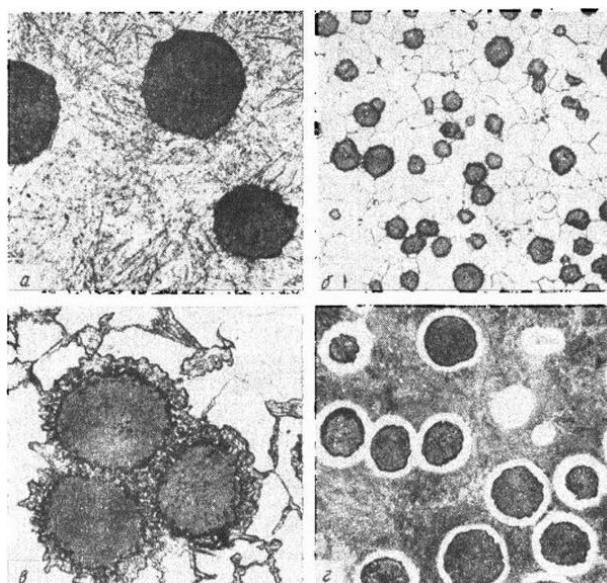


Рис. 2.2.6 Структура високоміцних чавунів

Округлі включення кулястого графіту не створюють різкої концентрації напруги, такі включення не є “тріщинками” (як пластинчастий графіт у сірому чавуні). Чавун з кулястим графітом має значно більшу міцність при розтягуванні та згині, ніж сірий чавун (звідси і назва чавуну з кулястим графітом - високоміцний чавун).

За металевою основою високоміцні чавуни можуть бути феритними, ферритно-перлітними, перлітними, тобто у цьому відношенні різниці в структурі сірого, ковкого та високоміцного чавунів немає.

Розрізняють також половинчастий чавун. В половинчастому чавуні частина вуглецю знаходиться в формі графіту, а частина – в формі цементиту (рис. 2.2.7).

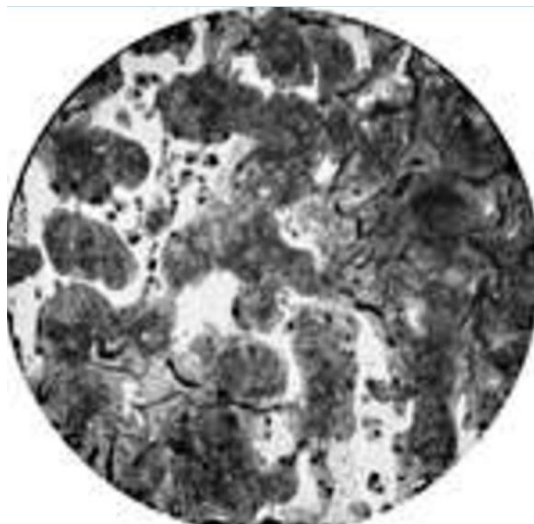


Рис.2.2.7. Структура половинчастого чавуна

За механічними властивостями чавуни поділяють на

- рядовий,
- підвищеної міцності
- високоміцний.

Рядовий чавун (сірий) має границю міцності при розтягу 120-440 МПа, а границя міцності при вигинанні 280-640 МПа. Сірий чавун маркують літерами СЧ, далі слідують цифри границі міцності на розтяг і границя міцності при вигині. Наприклад: СЧ 12-28; СЧ 21-40, СЧ 44-64.

Чавун підвищеної міцності (ковкий чавун) має границю міцності при розтягу 370-630 МПа, відносне подовження від 12 до 2 % і твердість від 163 до 269 одиниць НВ (по Брунелю). Маркується літерами КЧ, далі йдуть цифри, що характеризують його міцність на розтяг і відносне подовження. Наприклад: КЧ 37-12, КЧ 30-6, КЧ50-4, КЧ63-2 і т.д.

Високоміцний чавун має границю міцності при розтягу 380-1200 МПа, границя міцності при розтягу 240-900 МПа, відносне подовження 17-4%, твердістю від 140 до 370 НВ. Маркують високоміцний чавун літерами ВЧ, цифрами які характеризують його міцність при розтягу і відносне подовження. Приклад – ВЧ 38-17, ВЧ 45-5, ВЧ 120-4.

За призначенням чавуни поділяються на:

- переробні, що йдуть у переплавку на сталі;
- ливарні, які застосовують для виробництва фасонного литва

Також виділяють групу феросплавів.

80 % виплавленого чавуну становить переробний чавун, 15-20 % ливарний і 1-2 % феросплави.

Чавуни переробні (за ДСТУ 3133-95 Чугун передельный. Технические условия (ГОСТ 805-95, ИДТ) випускають трьох видів:

- переробний коксовий марок М1, М2, М3, Б1, Б2;

- переробний коксовий фосфористий марок МФ1, МФ2, МФ3;
- переробний коксовий високоякісний марок ПВК1, ПВК2, ПВК3 із зниженим вмістом сірки та фосфору.

Марки меншого номера містять більше кремнію, наприклад чавун марки М1 містить 0,91 – 1,30 % Si, чавун марки М3 – 0,50 % Si. За вмістом марганцю чавун поділяють на групи, фосфору – на класи, сірки – на категорії.

Чавуни ливарні коксові (за ДСТУ 3132-95 Чугун литейный. Технические условия (ГОСТ 4832-95, IDT)

Чавуни ливарні коксові випускають семи марок – ЛК1, ЛК2, ЛК3, ЛК4, ЛК5, ЛК6, ЛК7

Марки меншого номера містять менше вуглецю і більше кремнію, наприклад ЛК1 містить 3,5-4,0 % C, 3,21-3,6 % Si; марки більшого номера, навпаки, містять більше вуглецю і менше кремнію (ЛК7 – 4,1-4,6 % C, 0,81 - 1,2 % Si).

Феросплави – ще один вид залізовуглецевих сплавів. Феросплав – це матеріал необхідний для металургійної промисловості, що використовується з метою легування, розкислення, рафінування чорних і кольорових металів.

В основу феросплаву покладено сплав заліза (Fe, ферум) з домішками (марганець, калій, молібден, кремній і інші), при цьому вміст домішок підвищений (більш як 10 %). Феросплави можуть містити один або кілька елементів. Розрізняють феросиліцій (до 2,5% C, до 90% Si), ферохром (до 8% C, до 65% Cr) феромарганець і інші (рис.2.2.8).



Рис. 2.2.8. Види феросплавів

Феросплав – добавка (домішка) в метал, що вводиться для зміни властивостей кінцевого продукту. Корегування якості сталі дозволяє покращити механічні показники, стійкість до перепадів температури або агресивного оточуючого середовища. Кінцеві властивості матеріалу будуть залежати від складу, який було введено в період виплавляння металу.

Виробництво феросплавів здійснюється в спеціальних агрегатах.

В чорній металургії феросплави використовують для легування, що дозволяє отримати більше 2,5 тисяч марок різних сталей. Покращені види сталі використовують в гірничій, металургійній, хімічній, будівельній, оборонній промисловості і інших галузях виробництва

2.3.Сталь

Сталь – це сплав заліза з вуглецем, що містить менш як 2,14 % вуглецю і постійні домішки: до 0,8% марганці, до 0,5% кремнію, до 0,07% фосфору, до 0,06% сірки.

Для покращення сталі в її склад вводять хром, нікель, мідь і інші елементи.

Розрізняють вуглецеві і леговані сталі.

Вуглецевими називають сталі, в яких окрім заліза і вуглецю містяться постійні домішки, вміст яких, як правило, складає менше одного відсотка:

- які є наслідками особливостей металургійного виробництва (магній, силіцій);
- які є наслідком неможливості їх повного видалення (сірка, фосфор, кисень, водень, азот);
- випадкові (хром, нікель, мідь і інші).

В залежності від вмісту вуглецю (С) сталь поділяють на три групи:

- низько вуглецева – $C < 0,24\%$;
- середньо вуглецева – C від $0,25$ до $0,6\%$;
- високо вуглецева – C від $0,6$ до 2% .

Легованими називають сталі в яких окрім постійних домішок містяться і спеціально введені леговані елементи: марганець, кремній, хром, цирконій, ванадій, нікель, вольфрам, ніобій, титан, кобальт, сполуки азоту і інші; іноді вводять до 5-6 різних матеріалів.

Введення легуючих домішок покращує деякі властивості сталі, забезпечуючи, поряд з високою міцністю, також поліпшення зварюваності, морозостійкості і пластичності.

Леговані сталі за сумарною кількістю легуючих добавок, що вміщуються в них, поділяють на 3 групи:

- низьколеговані (до $2,5\%$);
- середньолеговані (від $2,5$ до 10%)
- високолеговані (більше 10%).

Більшість легованих сталей набувають необхідних фізико-механічних властивостей тільки після термічної обробки.

Вплив добавок на властивості сталі.

Крім вуглецю у сталі завжди присутні кремній, марганець, сірка і фосфор, які по-різному впливають на властивості сталі.

Вуглець є основним компонентом, і залежно від його вмісту сильно змінюються механічні властивості сталі.

З збільшенням вуглецю:

- підвищується її твердість, границя міцності при розтягу і границя пружності,
- одночасно різко знижується пластичність і в'язкість.

Ці зміни властивостей сталі пов'язані із зміною кількості основних структурних складових – фериту і цементиту.

Кремній і марганець у зазначених межах (до $0,8\%$ марганці, до $0,5\%$ кремнію) істотного впливу на властивості сталі не виявляють.

Із збільшенням їх вмісту (кремнію понад $0,8\%$, марганцю – $1,0\%$) підвищуються твердість і міцність сталі. Проте така сталь уже вважається леговою.

Марганець і кремній є добрими розкислювачами сталі; крім того, марганець знешкоджує вплив сірки, утворюючи з нею сполуку MnS , яка частково виділяється в шлак.

Сірка є шкідливою домішкою, вона не розчиняється в залізі, як інші домішки, а утворює з ним хімічну сполуку FeS (сірчисте залізо). Сірчисте залізо з залізом утворює легкоплавку суміш двох фаз $FeS - Fe$ з температурою плавлення $985\text{ }^{\circ}\text{C}$. При затвердінні сталі ця суміш фаз розміщується у вигляді легкоплавких оболонок навколо зерен. На явність таких оболонок є причиною червоноломкості (крихкості при червоному розжарюванні) сталі з підвищеним вмістом сірки при гарячій обробці (куванні, прокатуванні та ін.): оболонки розплавлюються, в результаті чого між зернами втрачається зв'язок і утворюються тріщини.

Сірка знижує пластичність і міцність сталі, опір стиранню та корозійну стійкість.

Фосфор надає сталі холодноломкості (крихкість при звичайній і зниженій температурі).

Його присутність збільшує інтервал температури між початком і кінцем затвердіння (переходом від рідкого до твердого стану (точками ліквідусу і солідусу) і сприяє зростанню зерна в металі.

Шкідливий вплив фосфору особливо проявляється при підвищеному вмісті вуглецю. Отже, чим твердіша сталь, тим шкідливіший для неї фосфор.

Проте в так званих автоматних сталях (з вмістом вуглецю до 0,3 %) допускається підвищений вміст фосфору (до 0,15 %) і сірки (до 0,2 %), щоб полегшити зняття стружки і виготовлення гладенької поверхні при обточуванні на верстатах, зокрема при нарізуванні різьби.

Вуглецеві сталі розрізняють за вмістом шкідливих домішок сірки (S) та фосфору (P), тобто поділяють **за якістю** на три групи:

- звичайної якості – $S \leq 0,05\%$, $P \leq 0,04\%$;
- якісні – $S \leq 0,04\%$, $P \leq 0,035...0,04$;
- високоякісні – $S \leq 0,02\%$, $P \leq 0,03\%$.

Відокремлюють групу особливо високоякісних сталей, що містять фосфору - до 0,025%, сірки - до 0,015%.

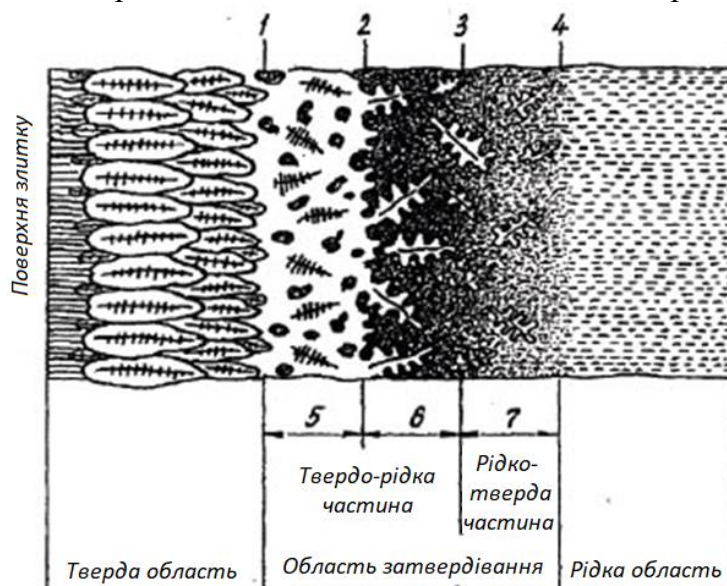
Виплавляння сталі на металургійних заводах здійснюється в печах трьох типів: мартенівських, конверторних і електросталеплавильних. І відповідно за способом виробництва сталі поділяють на:

- мартенівська
- конверторна
- електроплавильна

Найбільш продуктивною технологією є виплавляння сталі в киснево-конверторних печах. Конверторна сталь характеризується низьким вмістом фосфору, сірки і азоту. Її міцносні характеристики не поступаються властивостям мартенівської сталі, а пластичні – перевищують їх. В той же час, ця технологія має ряд обмежень за сортаментом сталі, що випускається і умовами виробництва. Тому на малих металургійних підприємствах, а також там, де необхідно забезпечити виготовлення широкої номенклатури сталей використовують електросталеплавильні і мартенівські печі.

Після виплавляння сталь розливають в чавунні форми-“ізложниці”. В залежності від об’єму ізложниць маса злитку, що отримують, коливається від 250 кг до 7-8 т.

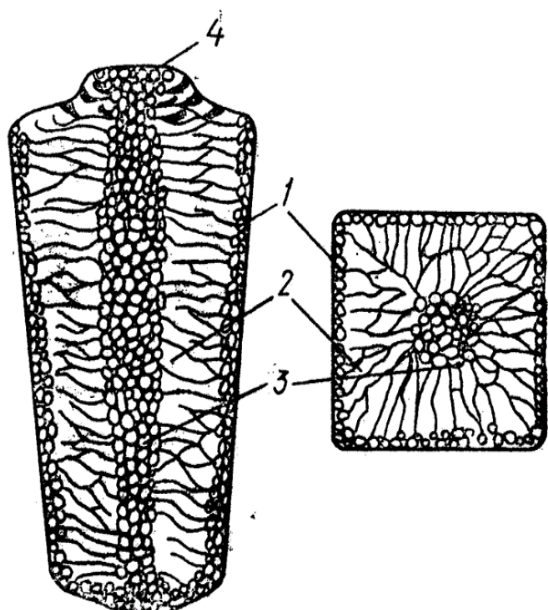
При стиканні зі стінками і дном ізложниці рідка сталь починає тверднути в напрямку



від поверхні злитку до його серцевини, причому зона рідкого металу поступово витісняється до середини і вгору (рис. 2.3.1). Разом з нею відтісняються до центру і вгору газові і неметалеві включення.

Рис. 2.3.1. Загальна схема областей і зон в злитку що твердне (схема передбачає послідовну кристалізацію металу в умовах спрямованого тепловиділення).

Процес кристалізації злитку протікає по наступній схемі (рис. 2.3.2):



- в зоні більшого переохолодження розплаву (зона його дотику з холодними стінками ізложниці) утворюються дрібні різноосні кристали 1;

- після зниження перепаду температур розплаву і ізложниці починають рости стовбчасті кристали 2 в напрямленні відвода тепла від рідкого металу;

- уповільнена віддача тепла зовні знижує швидкість теплообміну і тоді утворюються зона крупних неорієнтованих зерен 3;

- кристалізація останньої ділянки рідкого металу 4 відбувається в зоні утеплюючої надставки ізложниці. Тут збираються гази, різні неметалеві включення, що утворюють велику неоднорідність будови злитку (раковини, газові пухирі), яка називається усадковою раковиною.

Рис.2.3.2. Схема росту кристалів при твердненні сталі

Структура виплавленого злитку сталі залежить від умов тверднення, які визначаються ступенем її розкислення.

При виплавленні сталі утворюються оксиди заліза, які розчиняючись в сталі, підвищують вміст в ній кисню. Це сприяє виникненню тріщин при пластичному деформуванні сталі. Тому, в процесі виробництва, проводять розкислення сталі шляхом введення елементів (розкислювачів) з більшим спорідненням до кисню.

Оксиди, що утворюються видаляються в шлак. Тобто виконують дезоксидації – відновлення FeO до чистого заліза.

В якості розкислювачів використовують кремній (в вигляді феросиліцію), марганець (феромарганець), алюміній і лужноземельні метали.

Зовсім дезоксидовані сталі називають спокійними, а частково дезоксидовані – напівспокійними.

За ступенем розкислення розрізняють спокійну, киплячу і напівспокійну сталю. Сталі за ступенем розкислення розрізняють за вмістом кремнію

Вміст кремнію в сталях різного ступеня розкислення наведено нижче:

Види сталі за ступенем розкислення	Позначення в марці	Вміст кремнію
кипляча	кп	не більше 0,05%
напівспокійна	пс	0,05 – 0,15%
спокійна	сп	більше 0,15%

Спокійна сталь повністю розкислена в печі або в ківші марганцем, кремнієм та алюмінієм і у виливниці твердіє спокійно. Утворюється щільний зливоч з усадковою

раковиною (рис. 2.3.3, 2.3.4). Більша частина газоподібних і неметалевих включень накопичується в головній частині зливка.

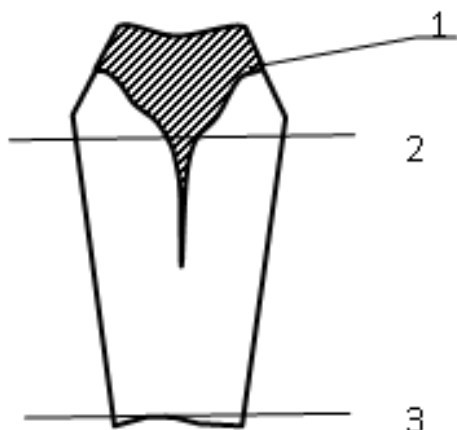


Рис. 2.3.3. Переріз зливка спокійної сталі:
1 – усадкова раковина; 2 – рівень верхнього обрізування; 3 – рівень нижнього обрізування

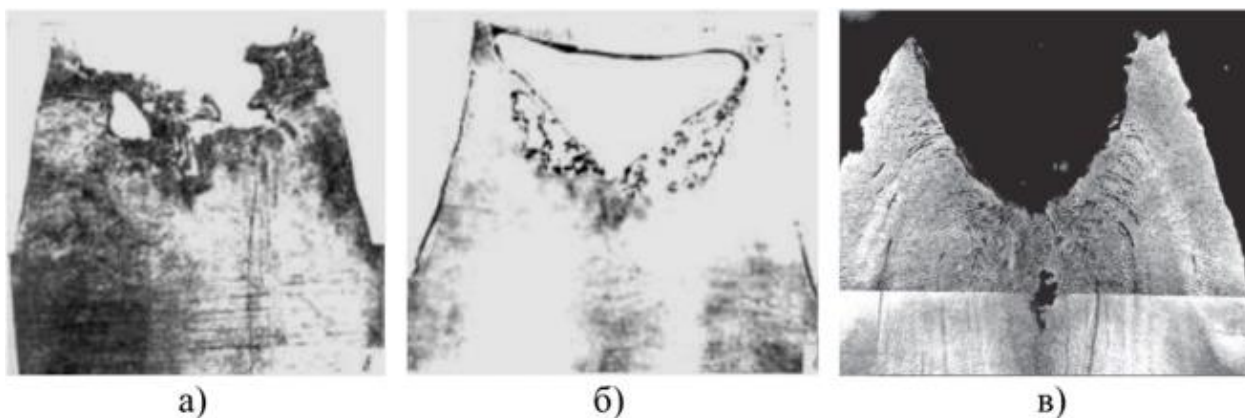


Рис. 2.3.4. Види усадкових раковин в зливках:
а) відкрита; б) закрита; в) вторинна

Частину зливка, де розташована усадкова раковина і включення, при подальшій обробці (прокаткою, ковкою) відрізують. Обрізь складає 15-16 % ваги зливка.

Спокійна сталь має найбільш однорідні фізико-механічні властивості і менше схильна до крихкого руйнування.

Кипляча сталь. Розкислюється не повністю, тільки марганцем, і при розливанні в форми бурлить від виділення оксиду вуглецю. Оксид вуглецю, частково залишається всередині зливка у вигляді розсіяних газових раковин, які компенсують усадку, через що в зливку немає зосередженої усадкової раковини (рис. 2.3.5).

Газові раковини (пузирі) заварюються при прокатуванні і майже весь зливок йде в діло. При цьому головна дефектна його частина, що одрізається після тверднення, складає близько 5-7 %. Це дозволяє забезпечити максимальний вихід придатного прокату.

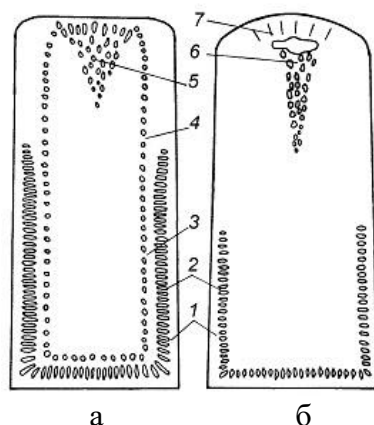


Рис. 2.3.5. Структурні зони злитків киплячої сталі: а – звичайний злиток б – хімічно зачупорений злиток;

1 – зовнішня кірка; 2 – сотові пухирі; 3 – проміжна зона щільного металу; 4 – зона вторинних пухирів; 5 – скопичення пухирців в верхній частині злитку; 6 – пухирі і усадкові пустоти в верхній частині злитку; 7 – «міст» щільного металу

Така сталь дешевша, ніж спокійна, але зливки неоднорідні за складом (внаслідок ліквідації внутрішні шари зливка містять більше, ніж зовні, вуглецю та домішок); що обмежує її застосування.

Вміст вуглецю в киплячій сталі становить не більше як 0,3%; більший вміст вуглецю спричиняє надмірне виділення газів і збільшення браку сталі.

Кипляча сталь добре штампується, тому її застосовують для деталей глибокого витягування, а також для зварних труб і інших виробів.

Для запобігання надмірного розвитку процесу ліквідації в злитках киплячої сталі використовують операцію зачупорки злитків. Суть методики – припинення кипіння металу в ізложницях.

Останнім часом найбільш широко використовують хімічну зачупорку злитків (рис.2.3.3, б), для чого через 1,0 – 1,5 хвилин після наповнення ізложниці в метал вводять гранульований або рідкий алюміній. Витрату алюмінію підбирають таким чином, щоб подальше затвердіння злитку супроводжувалось незначним газовиділенням, яке повинно компенсувати усадку сталі і запобігти утворенню усадкової раковини.

Напівспокійна сталь за реакціями у виливниці та однорідності є проміжною між спокійною і киплячою.

Розкислення її в печі або ковші роблять підвищеною (проти киплячої сталі) кількістю марганцю або марганцем і кремнієм (іноді також алюмінієм).

Головна обрізь злитка менше на 7-10 % у порівнянні з спокійною сталлю. Відповідно знижується собівартість прокату.

Перевагами напівспокійної сталі порівняно із спокійною є більший вихід придатного прокату, а порівняно з киплячою – більша однорідність завдяки меншій ліквідації.

Механічні властивості при випробуванні на статичне розтягування і згинання напівспокійної і киплячої сталі практично не відрізняються від властивостей спокійної сталі. Але напівспокійна і, ще в більшій мірі кипляча сталь, схильні до крихкого руйнування при низьких температурах і динамічних навантаженнях.

Контрольні запитання для самоперевірки:

1. Назвіть які сплави називають сталлю?
2. Назвіть які сплави називають чавунами ?
3. Як поділяють вуглецеві сталі за якістю
4. З якою метою легують сталі? Які сталі називають низьколегованими?
5. Назвіть структурну форму графітної фази в чавунах.
6. На які групи поділяють вуглецеві сталі залежно від вмісту вуглецю. Як впливає вуглець на властивості сталі.
7. Назвіть домішки, що негативно впливають на властивості сталі. На які групи поділяють сталі за присутністю цих домішок.

Тема 3. Діаграми стану системи залізо-вуглець. Перетворення в системі Fe -Fe₃C.

План

3.1. Загальні положення.

3.2. Діаграма «залізо-вуглець»

3.2.1. Структурні складові (фази) залізовуглецевих сплавів в системі Fe – Fe₃C

3.2.2. Перетворення в системі Fe – C (Fe – Fe₃C)

3.1. Загальні положення.

Всі фази сплавів можуть утворюватися і існувати при певному енергетичному стані (температурі, тиску). При зміні енергетичного стану структура металу змінюється. В металах сплавах фазовий стан сплаву змінюється в залежності від його температури та хімічного складу. Тому для певних сплавів побудовані діаграми стану, що показують зміни системи в залежності від складу сплаву і температури.

Діаграми стану – характеризують процеси затвердіння та структурної зміни сплавів, компоненти яких повністю взаємно розчиняються в рідкому стані, і дають наочне уявлення про фази в будь-якому сплаві даної системи.

По діаграмі стану сплавів компонентів можна заздалегідь робити висновки про властивості всіх сплавів системи. Користуючись діаграмами стану, можна встановити режими термічної обробки сплаву, гарячої та холодної обробки металевих виробів і т.п.

Діаграма стану дає можливість вибирати температуру нагрівання сплаву при термічній обробці, обробці тиском, температуру нагрівання для лиття.

Користуючись діаграмою стану, можна легко визначити:

- температуру початку і кінця плавлення для будь-якого сплаву даної системи;
- кількість евтектики в сплаві,
- кількість рідкого розчину (рідкої фази) і його концентрацію в будь-який момент затвердіння сплаву.

Лінії діаграми являють собою сукупність критичних точок сплавів з різним складом, що характеризують перетворення в цих сплавах при відповідних температурах.

Для побудови діаграм стану спочатку отримують криві охолодження сплавів, які отримують в результаті термічного аналізу.

3.2. Діаграма «залізо-вуглець»

Основні властивості залізовуглецевих сплавів визначаються вмістом вуглецю.

Наявність невеликої кількості звичайних домішок у сталі не впливає істотно на положення критичних точок і характер ліній діаграми, тому сталі і чавуни можна з відомим наближенням розглядати як подвійний сплав залізо – вуглець (Fe - C).

Залізо при взаємодії з вуглецем утворює ряд хімічних сполук: Fe₃C, Fe₂C, FeC і інші. Найбільш стійкою хімічною сполукою є карбід заліза - Fe₃C (цементит), що містить до 6,67% C.

Отже вуглець може утворювати *цементит* або може перебувати у вільному стані в вигляді *графіту*. Відповідно є дві діаграми сплавів залізо – вуглець: цементитна (рис. 3.1) і графітна (рис.3.2).

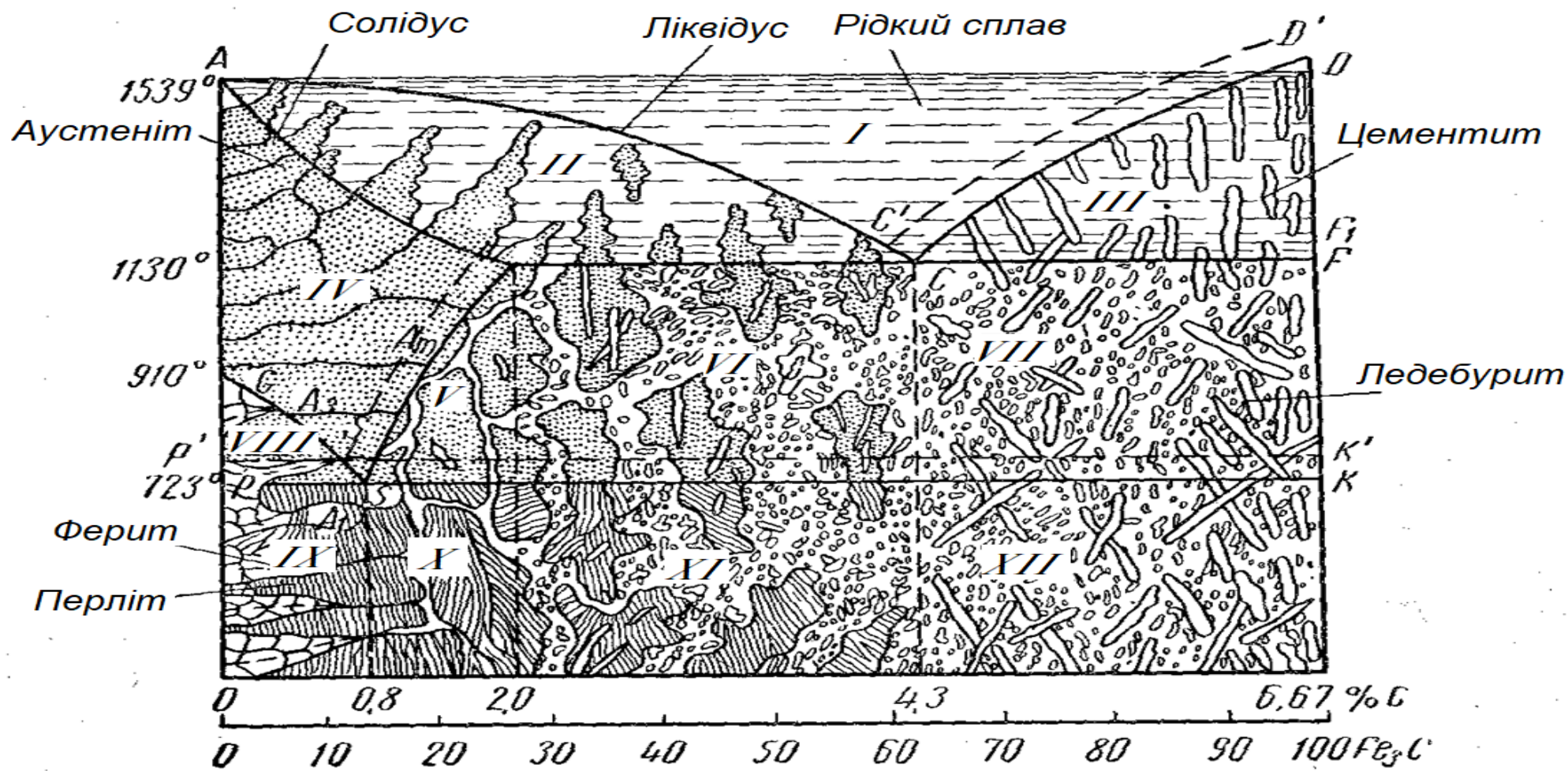


Рис. 3.1 Цементитна діаграма

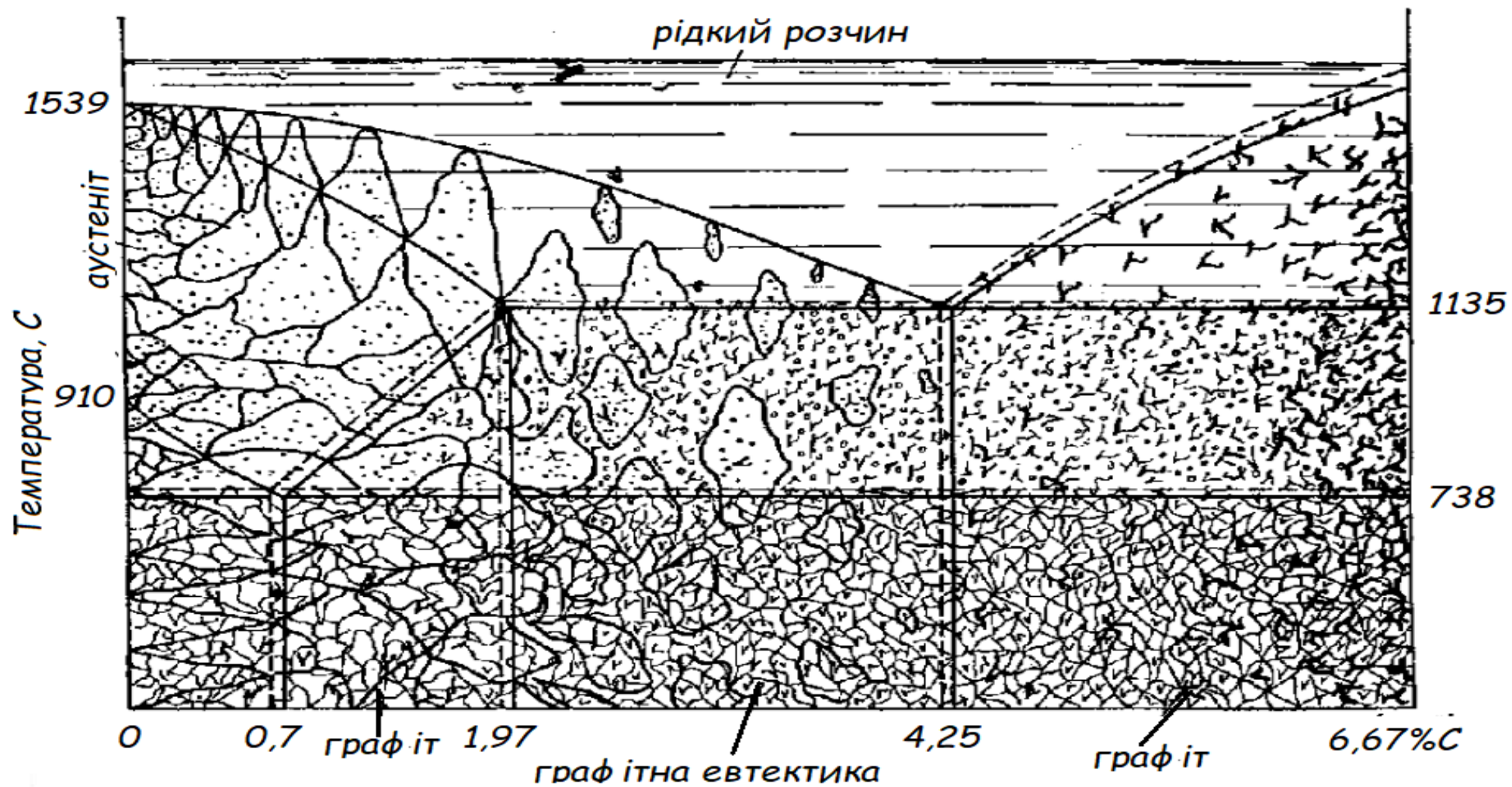


Рис. 3.2. Графітна діаграма

3.2.1. Структурні складові (фази) залізовуглецевих сплавів в системі Fe – Fe₃C.

Однофазні складові:

Цементит – карбід заліза Fe₃C – хімічна сполука заліза з вуглецем, якій міститься в кількості 6,67% при стехіометричній пропорції в складній орторомбічній решітці (4 атоми C, 12 атомів Fe).

У залізовуглецевих сплавах цементит як фаза може виділятися при різних умовах:

- *Цементит первинний* (рис.3.3) – виділяється з рідини в процесі кристалізації у вигляді великих пластин; визначає високу твердість і крихкість білого чавуну. Під мікроскопом спостерігається в вигляді світлих полос на фоні ледобуриту.

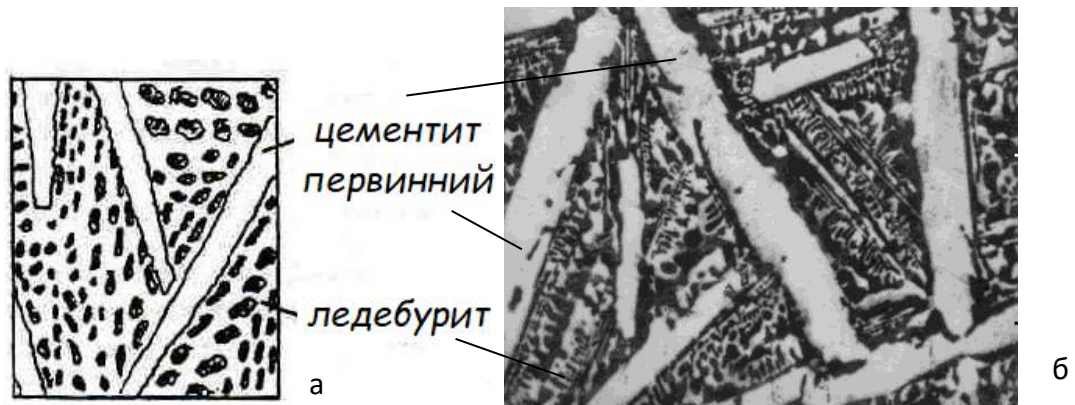


Рис.3.3. Мікроструктура залізовуглецевого сплаву з первинним цементитом (б) і схема мікроструктури (а)

- *Цементит вторинний* – виділяється з аустеніту і розташовується у вигляді сітки навколо зерен аустеніту, що після евтектоїдного перетворення стануть зернами перліту (рис.3.4).

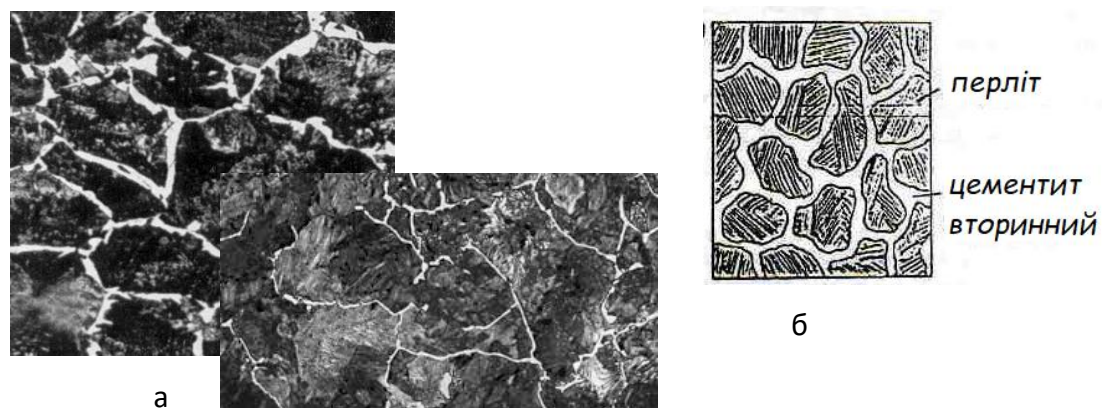
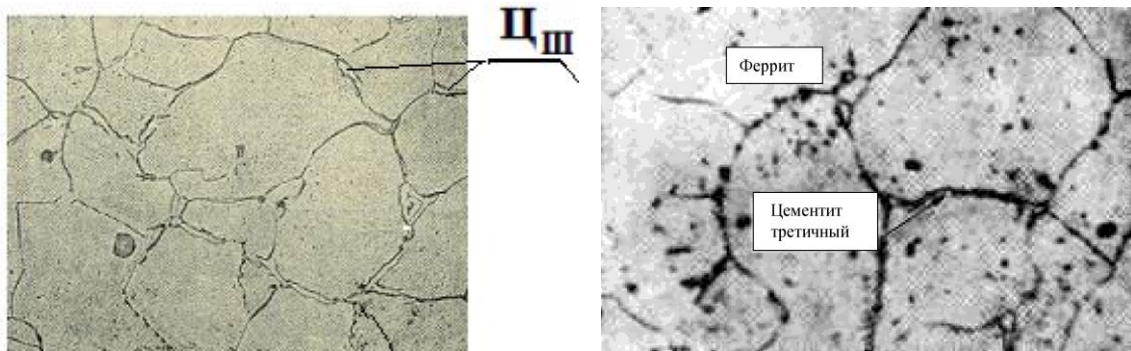


Рис.3.4. Мікроструктура залізовуглецевих сплавів з цементитом вторинним (б) і схема мікроструктури (а)

- *Цементит третинний* – виділяється з фериту і у вигляді твердих включень розташовується біля границь феритних зерен (рис. 3.5).

- *Цементит евтектичний* – спостерігається лише у білих чавунах (рис. 3.6)



а



б

Рис.3.5. Мікроструктура залізовуглецевих сплавів з цементитом третинним (а) і схеми мікроструктури (б)

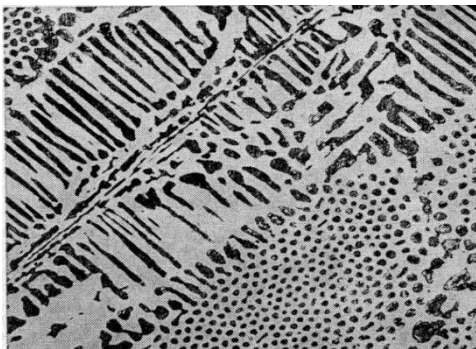


Рис. 3.6 Мікроструктура білого евтектичного чавуна

Аустеніт – твердий розчин вбудовування вуглецю і інших елементів в γ -Fe (гамма-залізо) з гранецентрованою кубічною коміркою.

В залізовуглецевих сплавах може існувати тільки при високих температурах. При охолодженні сплаву аустеніт розпадається на ферит і цементит.

Як і будь-який твердий розчин, аустеніт має мікроструктуру, що являє собою зерна твердого розчину (рис. 3.7).

Елементи, що розчиняються в аустеніті, значно змінюють його властивості. Наприклад, при температурі $1147\text{ }^{\circ}\text{C}$ аустеніт містить $2,14\%$ С, а при $727\text{ }^{\circ}\text{C}$ – всього $0,8\%$ С.

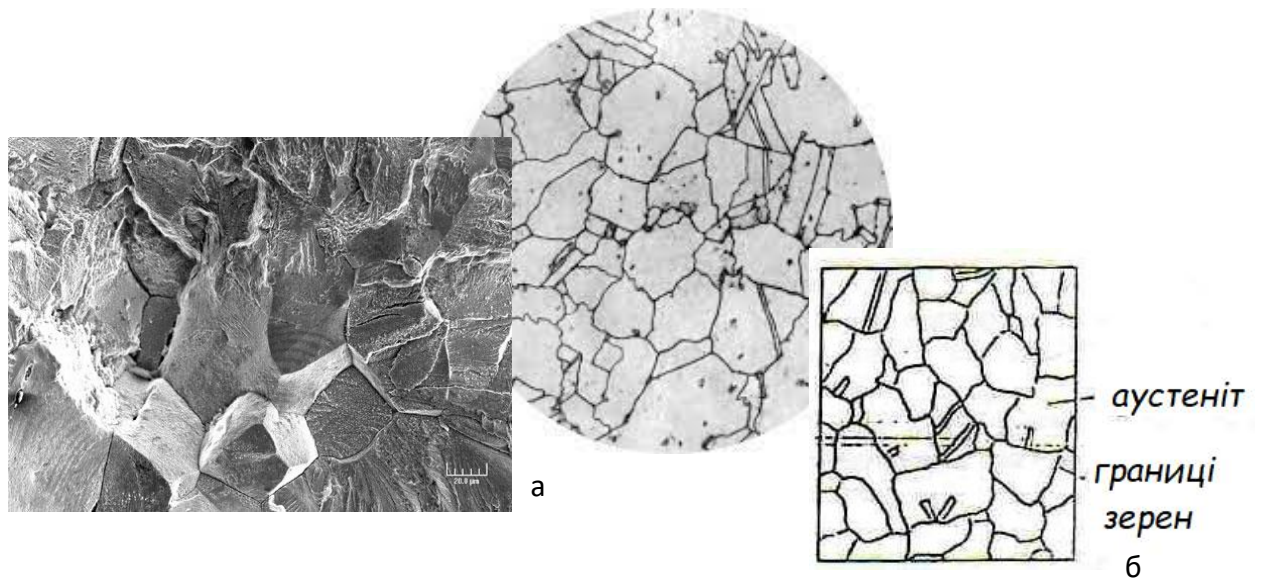


Рис.3.7. Мікроструктура залізвуглецевих сплавів з аустенітом (а) і схема мікроструктури (б)

Ферит – твердий розчин вбудовування вуглецю в α -Fe (альфа-залізо) з об'ємно-центрованою кубічною коміркою. Ферит має обмежену розчинність вуглецю в залежності від температури.

При спостереженні в мікроскоп спостерігається у вигляді світлих зерен (рис. 3.8).

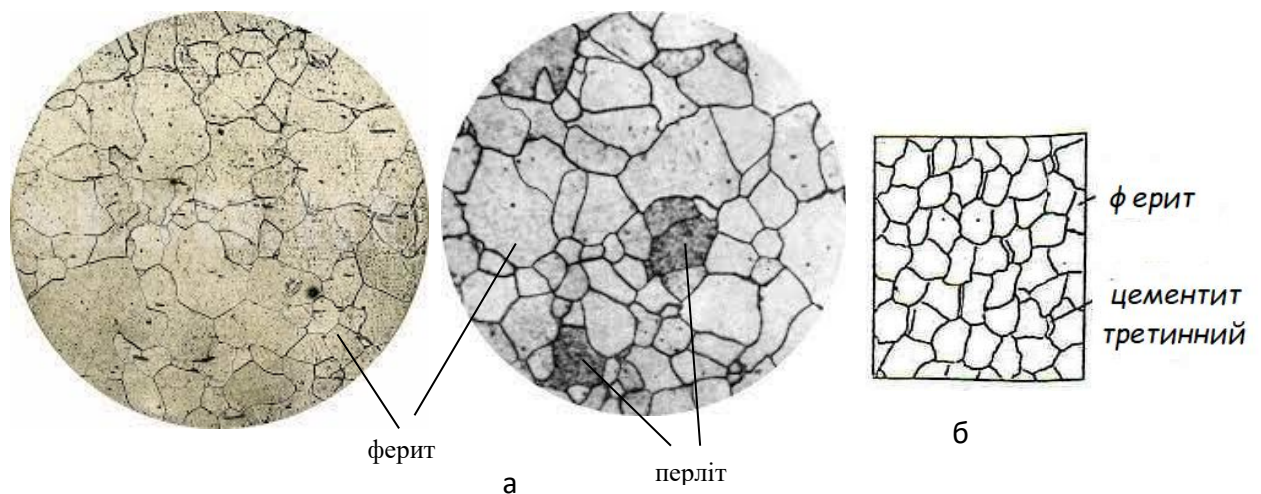


Рис.3.8. Мікроструктура залізвуглецевих сплавів з цементитом вторинним (а) і схема мікроструктури (б)

Двофазні структурні складові.

Перліт – механічна суміш фериту і цементиту (евтектоїдна суміш), які є продуктом розпаду аустеніту. Вміст вуглецю в перліті 0,8%.

За рахунок зміцнюючого впливу цементиту перліт має більш високу міцність і твердість ніж ферит, однак знижені характеристики в'язкості і пластичності.

При невеликих або при дуже тонких пластинках фериту і цементиту перліт під мікроскопом спостерігається в вигляді темних ділянок. При більшому збільшенні (500-100 раз) або при крупних пластинках видна темна пластинчаста будова структури (рис.3.9)

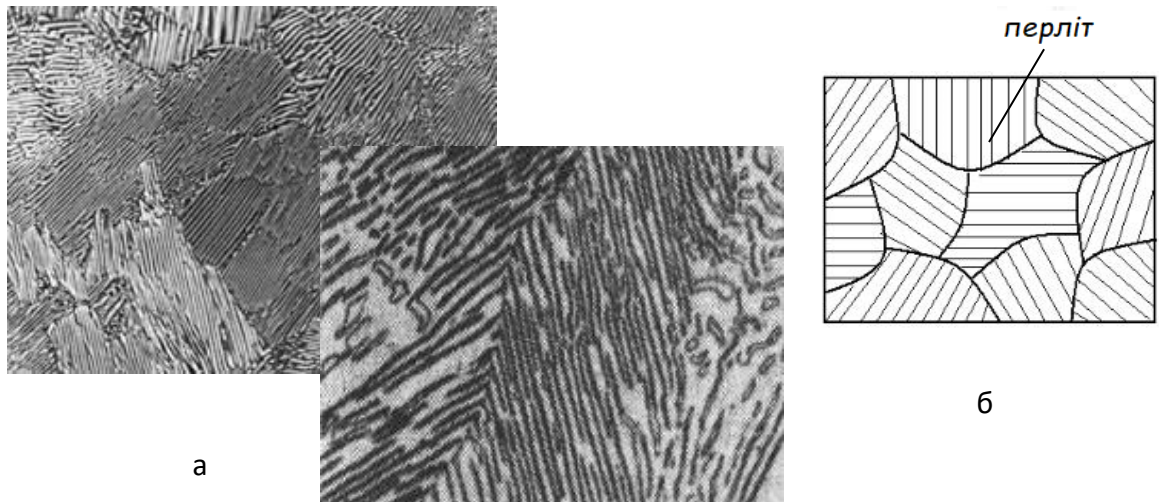


Рис.3.9. Мікроструктура перлітної сталі (евтектоїдної) (а) і схема мікроструктури (б)

Ледебурит – механічна суміш (евтектика) цементиту і аустеніту (при температурах вище 727°C) або перліту і цементиту (при більш низьких температурах); містить 4,3% вуглецю. Має високу твердість і крихкість.

Мікроструктура ледебуриту (рис. 3.10) – світле поле (цементит) з темними включеннями (перліт), схеми структур залізовуглецевих сплавів, що містять ледебурит наведено на рис. 3.11.

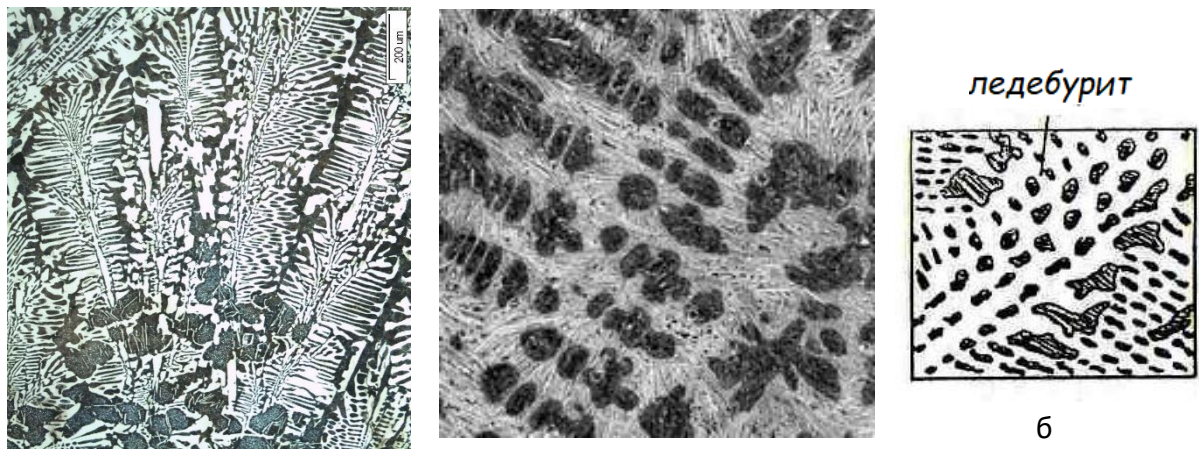


Рис.3.10. Мікроструктура залізовуглецевих сплавів з ледебуритом

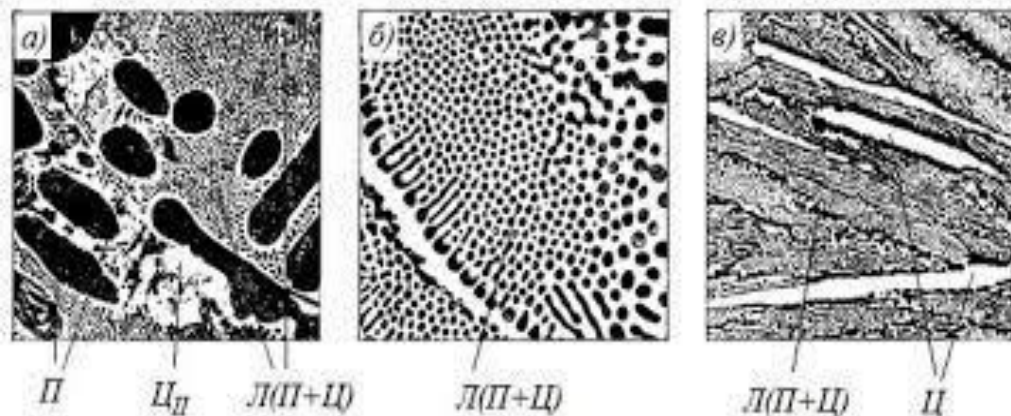


Рис. 3.11. Схеми структур залізовуглецевих сплавів, що містять ледебурит (білих чавунів):

а – доевтектичного; б – евтектичного; в – заевтектичного

3.2.2. Перетворення в системі Fe – C (Fe – Fe₃C).

Найбільша кількість вуглецю, за діаграмою (рис. 3.12) 6,67 %, відповідає вмісту вуглецю в хімічній сполуці – цементиті. Отже, компонентами є з одного боку, чисте залізо Fe, з другого – цементит Fe₃C.

Перетворення з рідкого стану в твердий (первинна кристалізація).

Лінія *ABCD* — ліквідус, лінія *AHIECF*— солідус.

Вище від лінії *ABCD* сплави системи перебувають у рідкому стані.

По лінії *AB* з рідкого розплаву починають випадати кристали фериту, по лінії *BC* з рідкого розчину починають випадати кристали аустеніту.

По лінії *CD* з рідкого розчину починають випадати кристали цементиту.

У точці *C* при вмісті 4,3% C і температурі 1147 °C відбувається одночасно кристалізація аустеніту та цементиту і утворюється їх тонка механічна суміш *евтектика*, яка називається в цій системі ледебуритом. Ледебурит (евтектика) є у всіх сплавах, які містять від 2,14 до 6,67 % C. Ці сплави належать до групи чавуну.

Точка *E* відповідає граничному насиченню заліза вуглецем (2,14 %). Сплави, які лежать ліворуч від цієї точки, після повного затвердіння становлять собою один аустеніт. Ці сплави належать до групи сталі.

Перетворення в твердому стані (вторинна кристалізація).

Перетворення в твердому стані відбуваються внаслідок переходу заліза з однієї модифікації в іншу, а також у зв'язку із зміною розчинності вуглецю в залізі.

Лінії *GSE*, *PSK*, і *GPQ* показують, що в сплавах системи в твердому стані відбуваються зміни структури.

В області діаграми *NGSEJ* міститься аустеніт. При охолодженні сплавів аустеніт розпадається з виділенням по лінії *GS* фериту); а по лінії *SE* — цементиту. Цей цементит, називається вторинним.

В області діаграми *GSP* міститься суміш двох фаз – фериту і аустеніту, який розпадається, а в області *SE* – суміш вторинного цементиту і аустеніту, який розпадається.

У точці *S* при вмісті 0,8 % і температурі 727 °C увесь аустеніт розпадається і одночасно кристалізується тонка механічна суміш фериту та цементиту – *евтектоїд* (тобто подібний до евтектики), який у цій системі називається *перлітом*.

Сталь, що містить 0,8 % C, називається *евтектоїдною*, менш як 0,8 % – *доевтектоїдною*, від 0,8 до 2,14 % C – *заевтектоїдною*.

По лінії *PSK* відбувається розпад аустеніту, що залишився у будь-якому сплаві системи, з утворенням перліту; тому лінія *PSK* називається лінією *перлітного (евтектоїдного) перетворення*.

Контрольні запитання для самоперевірки:

1. Дати визначення «діаграма стану»
2. Назвіть фази залізовуглецевих сплавів.
3. Охарактеризуйте зміни в структурі залізовуглецевих сплавів, що відбуваються по лінії *PSK*.
4. Що показують діаграми стану або діаграми фазової рівноваги
5. Дати характеристику структурної складової – перліт.
6. Дати характеристику структурної складової – фериту.

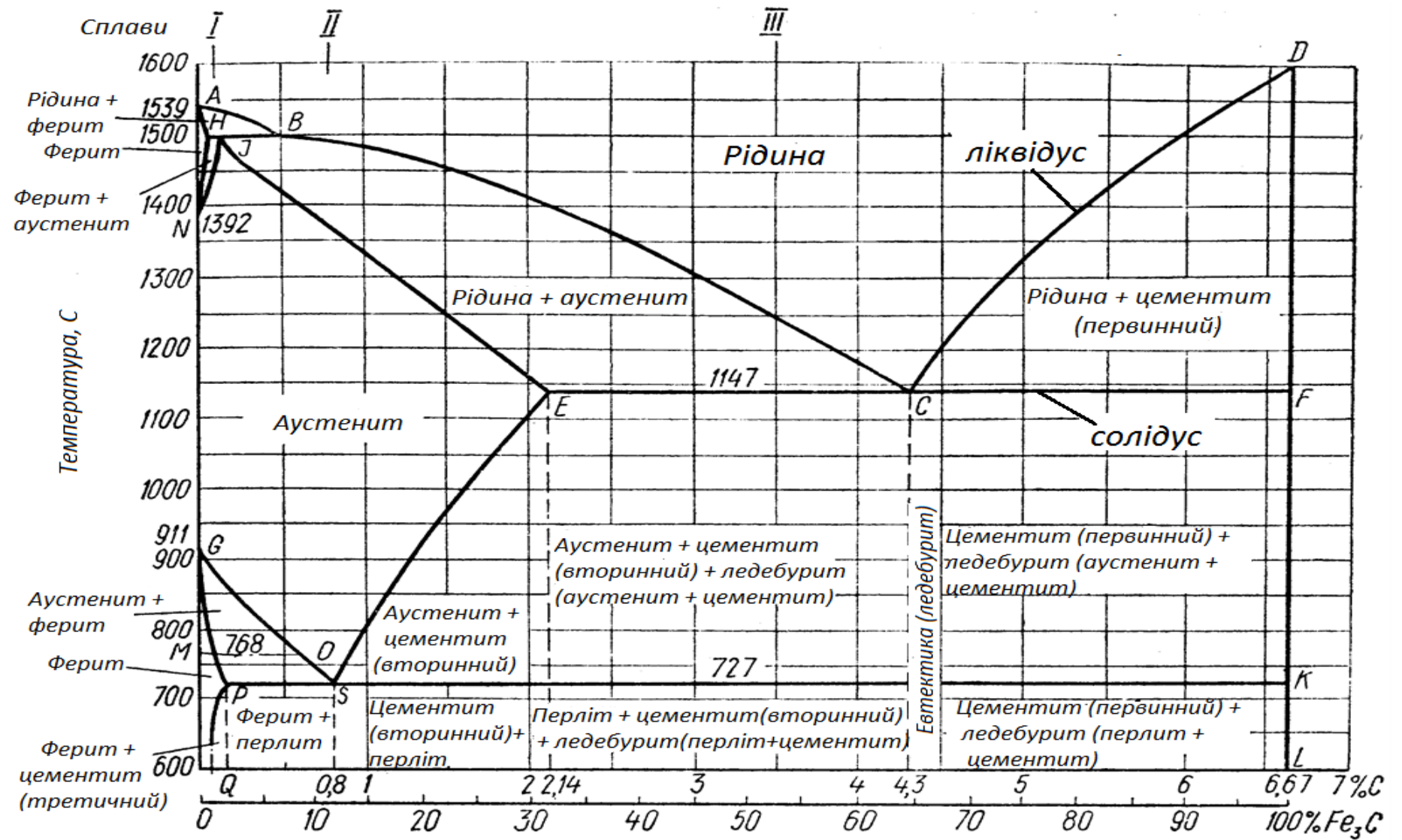


Рис. 3.12. Діаграма стану Fe – C (Fe – Fe₃C)

Тема 4. Основи термічної обробки сплавів. (2 години)

План.

4.1. Загальні положення

4.2. Види термічної обробки сплавів

4.1. Загальні положення

Термічною обробкою називають процеси, пов'язані з нагріванням і охолодженням металу, що знаходиться в твердому стані, з метою зміни структури і властивостей без зміни його хімічного складу.

Термічну обробку характеризують основні параметри: нагрів до певної температури, витримування при цій температурі, швидкість нагрівання і швидкість охолодження (рис. 4.1)

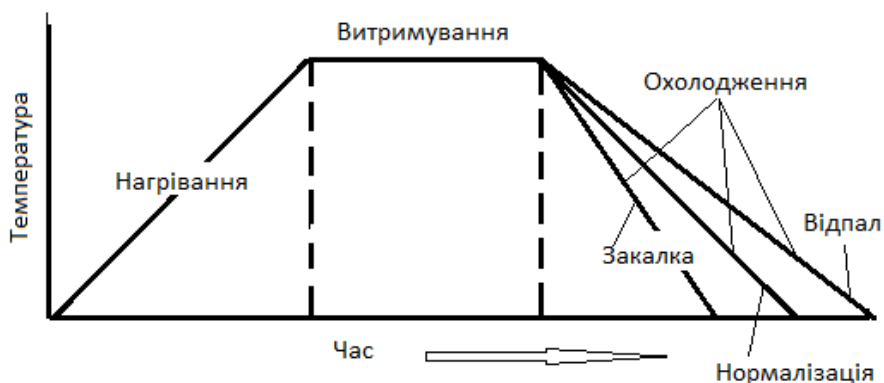


Рис. 4.1. Графік термічної обробки

В залежності від температури нагрівання і режимів охолодження розрізняють наступні види термічної обробки сталей і сплавів:

- відпал;
- нормалізація;
- загартування;
- відпуск;
- хіміко-термічна обробка (ХТО);
- термомеханічна обробка (ТМО)

При цьому слід розрізняти термообробку зміцнюючу, яка призводить до утворення структури загартування, і виконується при нагріванні до температури вище 800°C та термообробку, яка здійснюється для зняття внутрішніх напружень чи штучного старіння сталі і відбувається, як правило при температурах $250-500^{\circ}\text{C}$

Можливість зміцнення сталей шляхом термічної обробки обумовлена наявністю алотропних перетворень в твердому стані.

Процес термомеханічного зміцнення складається з чотирьох стадій охолодження і ілюструється рис. 4.2.

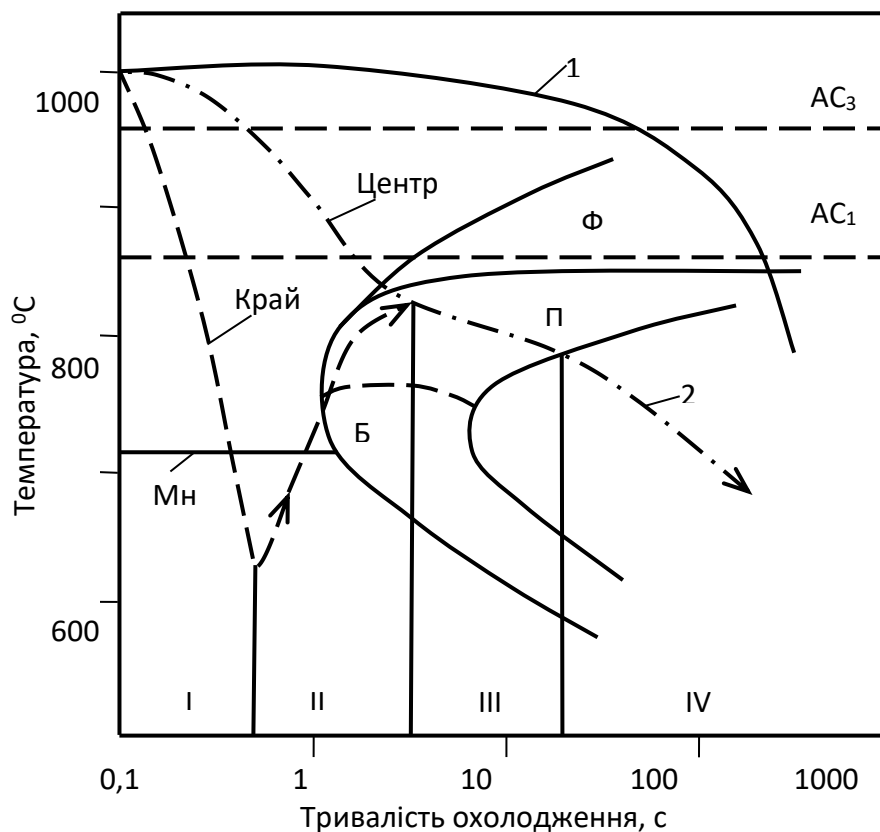


Рис. 4.2. Схематичне зображення процесу термомеханічного зміцнення на термокінетичній діаграмі:

1 – гарячекатаний стан; 2 – термозміцнений стан;

I – перша стадія (швидке охолодження водою; закалювання поверхневого шару); II – друга стадія (охолодження на повітрі; відпуск поверхневого шару); III – третя стадія (охолодження в холодильнику; квазіізотермічне перетворення центральних зон прутка); IV – четверта стадія (охолодження прутка на холодильнику до оточуючої температури після завершення структурних перетворень)

АС – аустеніт, Ф – ферит, П – перліт, Б – бейніт, Мн – мартенсит

Охолоджуючи аустеніт з різними швидкостями і викликаючи тим різний ступінь переохолодження, можливо отримати продукти розпада аустеніта, що різко відрізняються по будові і властивостям.

Мала швидкість охолодження v_1 призводить до утворення грубої суміші фериту і цементиту (**перліту** з твердістю HRS 10). Чим більша швидкість охолодження, тим більш дрібнодисперсна феритно-цементитна суміш.

Сорбіт (перша структура закалки), що отримують при швидкості охолодження v_2 , (швидкість охолодження $10^{\circ}\text{C}/\text{c}$) являє собою суміш фериту і цементиту, вона відрізняється від перліту більш тонко дисперсною будовою (рис. 4.3); твердість сорбіту HRS 20. Сталі з сорбітною будовою зносостійкі і їх використовують для виготовлення навантажених виробів.

Троостит (друга закалочна структура) отримується при швидкості охолодження v_3 в результаті розпаду переохолодженого аустеніту при температурі $500-550\text{ }^{\circ}\text{C}$. Має значну пружність; це тонко дисперсна суміш фериту і цементиту. Твердість трооститу HRS 30. Сталь з структурою трооститу відрізняється високим значенням міцності і пружності. Її використовують, в основному, для виготовлення пружин і ресор.

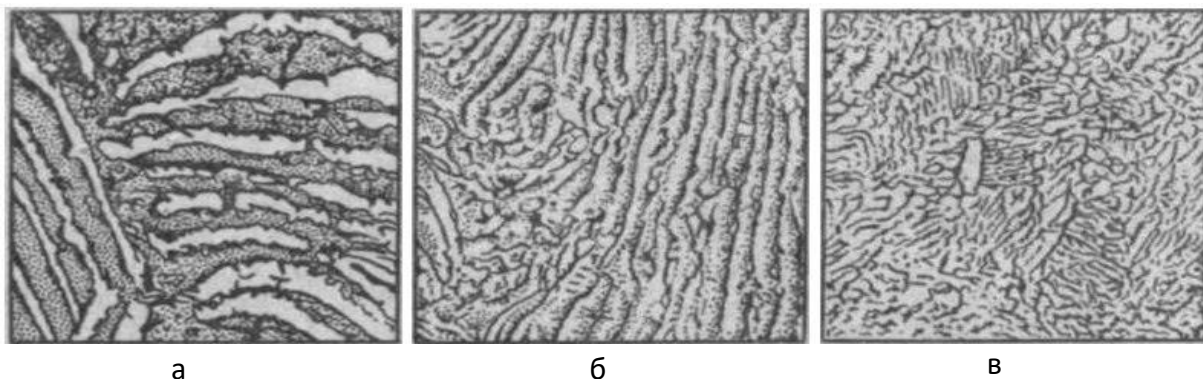


Рис. 4.3. Мікроструктура перліту (а), сорбіту (б) та трооститу (збільшення 750 раз)

Сорбіт і троостит, на відміну від перліту (евтектоїда), що називають квазіевтектоїдними, не є рівноважними структурами в сталях, які не відповідають евтектоїдному складу (вміст вуглецю більш або менш $0,8\%$).

Твердість і міцність сталі з названими структурами прямо пропорційна збільшенню поверхні поділу між феритом і цементитом, тому з збільшенням ступеня дисперсності феритно-цементитної структури, тобто з пониженням температури її розпаду, твердість, границі міцності, плинності і витривалості збільшуються. Відносно подовження і відносно звужування найвище у сорбіту. При переході до трооститу (більш низькій температурі перетворення) пластичність зменшується.

Бейніт (третя структура закалки) отримується при швидкості охолодження $70\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$; це також тонко дисперсна суміш фериту і цементиту з твердістю HRS 40.

Структура бейніту складається з α -твердого розчину, що перетерпів мартенситне перетворення і декілька перенасичений вуглецем, та частинок карбідів. Розрізняють структуру верхнього і нижнього бейніту. Верхній бейніт, що утворюється, зазвичай, в області температур $500-350\text{ }^{\circ}\text{C}$, має «перистий» вид (по типу різаної соломи). Частинки карбідів виділяються не у вигляді пластинок, як в перліті, а в вигляді ізольованих вузьких частинок (рис. 4.4). Нижній бейніт утворюється, зазвичай, при температурах від $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ до точки Mn і має гольчасту (пластинчасту) або мартенситоподібну будову. Карбідні частинки в нижньому бейніті розташовуються в пластинках α -фази.

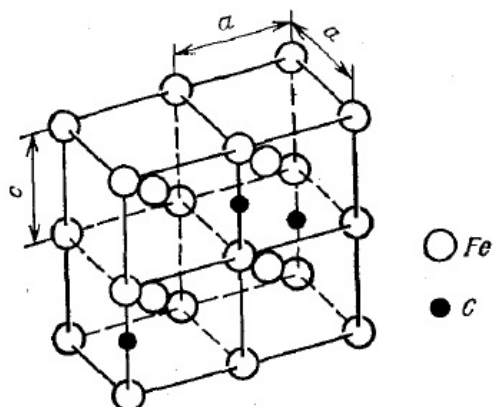


Рис. 4.4. Мікроструктура бейніта:

а – верхній бейніт (x500); б – нижній бейніт і залишковий аустеніт (x500); в – нижній бейніт і остаточний (світлі ділянки) аустеніт (x10000)

Мартенсит – перенасичений розчин вуглецю в α -Fe. Мартенсит, утворюється не розпадом аустеніту, а дифузійною перебудовою решітки γ -Fe в α -F решітку.

Якщо в рівноважному стані розчинність вуглецю в α -залізі при 20°C не перевищує 0,002%, то його вміст в мартенситі може бути таким самим, як в вихідному аустеніті, тобто може досягнути гранично 2,14%.



Мартенсит має тетрагональну решітку (рис.4.5), в якій один період c більше іншого. При збільшенні вмісту вуглецю висота тетрагональної призми c збільшується, а розміри її основи зменшуються. Атоми вуглецю займають октаедричні пори вздовж осі в градці α - заліза (мартенситі) і сильно її спотворюють.

Рис. 4.5 Кристалічна градка мартенситу

Перетворення аустеніту в мартенсит відбувається при дуже швидкому охолодженні ($v_5 > v_{кр}$) і носить бездифузійний характер, тобто воно не супроводжується дифузійним перерозподілом атомів вуглецю і заліза в градці аустеніту. Мартенситне перетворення здійснюється шляхом зсуву і не супроводжується змінами складу твердого розчину

При цьому фіксується типова для мартенситу голчаста структура (рис. 4.6). Мінімальна швидкість охолодження при якій утворюється мартенсит, називається критичною швидкістю закалки ($v_{кр}$).

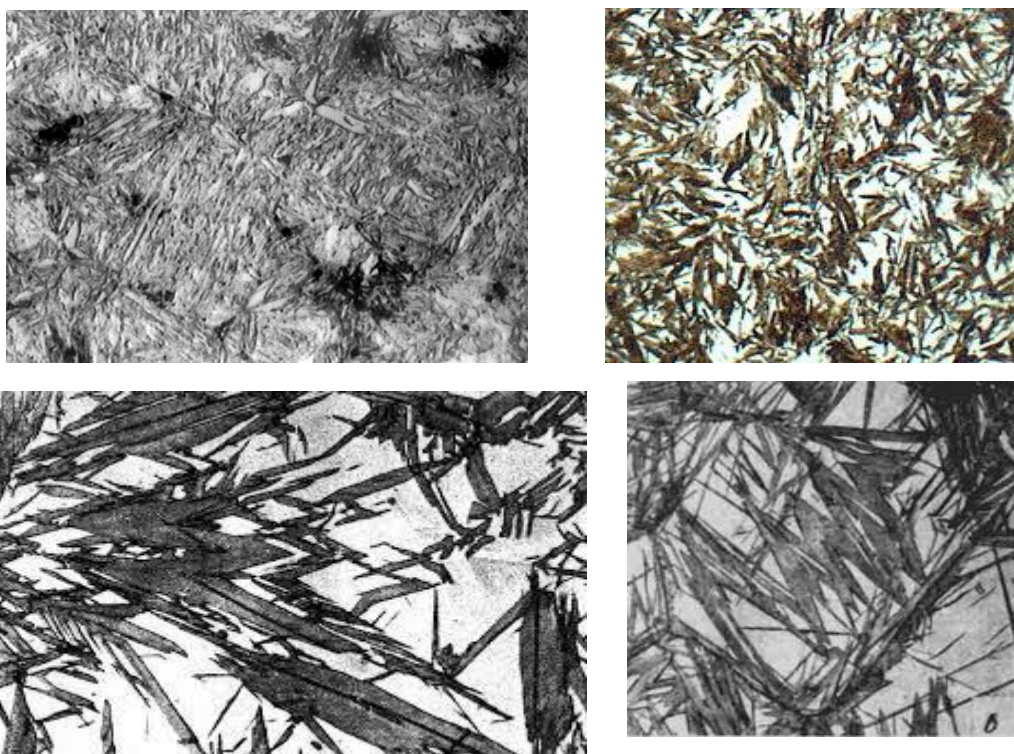


Рис. 4.5. Мікроструктура мартенситу

Кристали мартенситу залежно від складу сталі, й відповідно, й від температури свого утворення можуть мати різну морфологію і субструктуру. Розрізняють два типи мартенситу – пластинчастий і рейковий (рис.4.7).

Розміри кристалів визначаються величиною вихідного зерна аустеніту. Чим більше зерно аустеніту, тим крупніший мартенсит. Перша пластина мартенситу має протяжність,

що відповідає поперечному розміру зерна аустеніту. Кристали, що утворюються при більш низьких температурах, стиснуті в своєму розвитку і мають менші розміри.

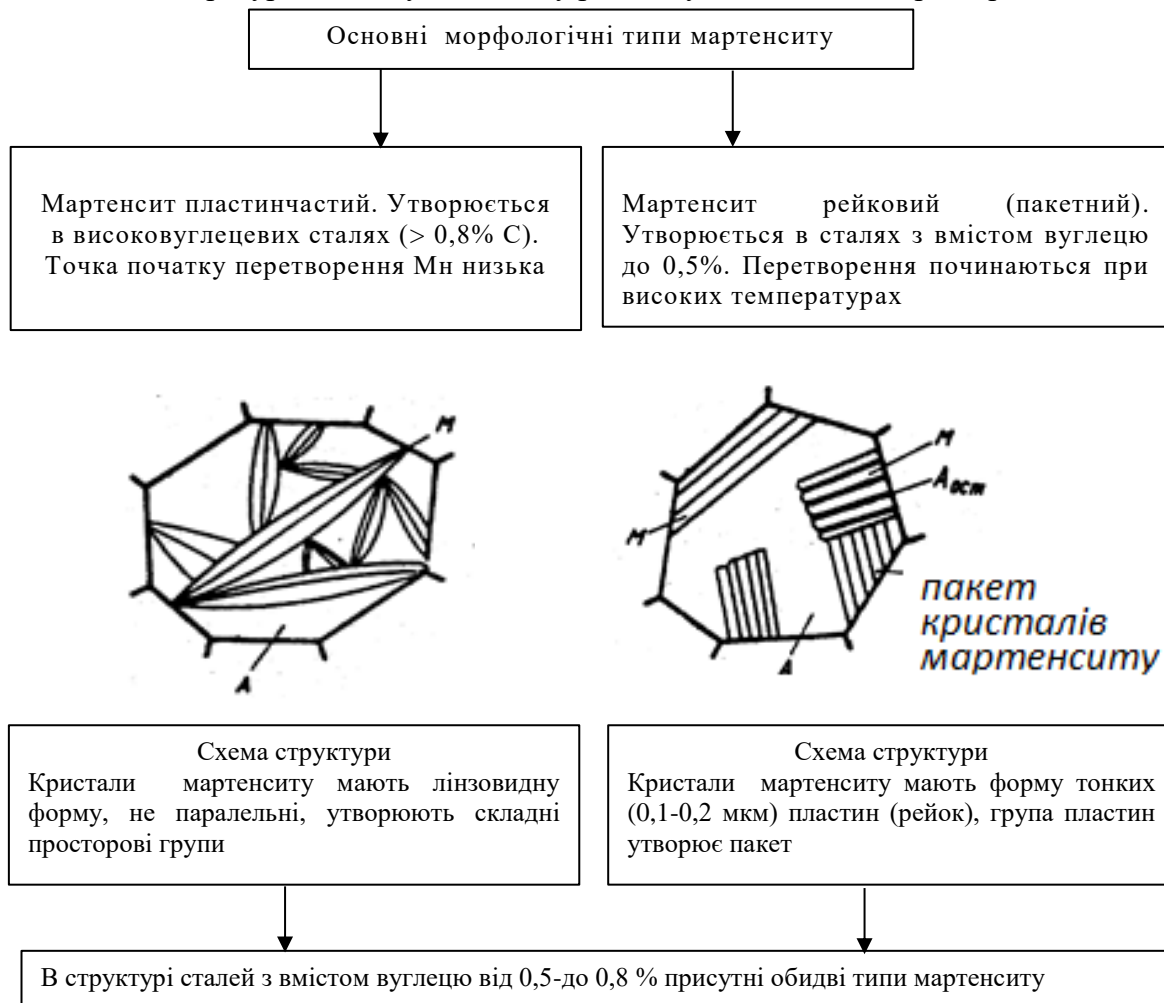


Рис. 4.6. Типи мартенситу

Мартенсит – тверда і крихка структура. Його твердість становить HRS 62-66. Твердість збільшується з збільшенням в ньому вуглецю.

4.2. Види термічної обробки

Відпал вид термічної обробки, що не супроводжується фазовими перетвореннями металів і сплавів, використовується для усунення внутрішніх напружень, утворення дрібної структури, надання сталі пластичності перед наступною обробкою і привести структуру в рівноважний стан. Відпал складається з нагрівання сталі вище критичних температур, витримуванні при данній температурі і повільному охолодженні.

Розрізняють відпал I роду:

- дифузійний (гомогенізуючий)- для усунення хімічної неоднорідності металу за рахунок дифузії атомів;
- рекристалізаційний – для зняття наклепу і отримання рівноважного стану сплаву;

Відпал II роду (для металів і сплавів, що мають фазові перетворення в твердому стані):

- повний відпал – для повної перекристалізації і отримання дрібнозернистої структури сталі;

- неповний відпал – для отримання структури сталі з зернами вторинного цементиту, що полегшує механічну обробку металу.

Нормалізація - використовується для усунення внутрішніх напружень, утворення дрібної структури, збільшення твердості і міцності сталі, вирівнюванні механічних властивостей; відбувається при нагрівання сталей вище критичних температур на 30-50 С, витримування і наступному охолодженні на повітрі, в результаті сталь набуває дрібнозернисту та однорідну структуру (структура, як після відпалу, але перліт буде більш дисперсним)

Загартування – вид зміцнюючої термічної обробки вуглецевих сталей, що містять більше 0,3 % вуглецю, базується на перекристалізації. Складається з нагрівання сталі вище критичних температур на 30-50 С (не менше 800 С) з наступним швидким охолодженням. Мета загартування – отримання високої міцності і заданих фізико-механічних властивостей;

Швидкість нагрівання і час витримування виробів і деталей залежить від їх розмірів, маси деталей, їх конфігурації, хімічного складу типу нагрівальних печей і середовищ.

Для охолодження при загартуванні найчастіше використовують воду, іноді з додаванням солей і лугів; оливи, розплавлені солі і метали.

Способи загартування:

- загартування в одному охолоджувачі;
- загартування в двох середовищах;
- ступінчасте загартування;
- ізотермічне загартування;
- загартування з обробкою холодом

Для підвищення твердості, границі витривалості і зносостійкості деталі і вироби піддають поверхневому зміцненню і використовують для цього поверхневе загартування. При якому нагрівається тільки тонкий поверхневий шар деталі, а в середині метал майже не нагрівається. Після гартування деталі мають твердий поверхневий шар і в'язку серцевину

Відпуск – нагрівання сталі до температури нижче критичної, витримування при даній температурі і охолодження з заданою швидкістю (зазвичай охолодження на повітрі). Мета відпуску – зменшення напружень, що виникли при загартуванні, зниження твердості і отримання необхідних механічних властивостей. Основне перетворення при відпуску – розпад мартенситу, тобто виділення вуглецю з перенасиченого твердого розчину в вигляді найдрібніших кристаліків карбіда заліза.

Залежно від температури нагрівання розрізняють три види відпуску:

- низько-температурний відпуск (відпуск на відпущений мартенсит)– при температурі 120-150 С (твердість не зменшується, зменшуються залишкові напруження загартування);

- середньо-температурний відпуск (відпуск на тростит) – відбувається при температурі нагрівання 350-450 С.(твердість знижується);

- високо-температурний відпуск (відпуск на сорбіт)- виконують при температурі 500-650 С (для забезпечення достатньої міцності, в'язкості і пластичності). Використовують для середньо вуглецевих сталей.

Термомеханічна обробка (ТМО) – сукупність операцій пластичної деформації і термічної обробки, які поєднанні в одному технологічному процесі, що включає нагрівання, пластичне деформування і охолодження. Виконують для покращення структури і відповідно, для підвищення механічних властивостей.

Розрізняють два види обробки:

- високотемпературні термомеханічну обробку (ВТМО) – виконують при температурах вище рекристалізації (аустенітна структура), ступінь деформування 20-30 %; для запобігання рекристалізації після деформування зразу проводять загартування (1150 С) з наступним низько-температурним відпуском;

- низькотемпературну термомеханічну обробку (НТМО) –деформація виконується при температурах нижче температури рекристалізації (400-600 С), потім зразу виконують загартування і низько-температурний відпуск. Використовують тільки для легованих сталей, що мають значну стійкість переохолодженого аустеніту. Ступінь деформування 75-95%

Хіміко-термічна обробка (ХТО) – процес поверхневого насичення сталі різними елементами з метою надання їй відповідних властивостей. Крім структурних відбувається зміна складу і будови, за рахунок дифузії в ;сталь елементів в атомарному стані з зовнішнього середовища при високих температурах. Мета – зміцнення поверхні деталей, підвищення твердості, зносостійкості, втомної міцності і т.п. та підвищення стійкості проти дії агресивних середовищ.

Види обробки:

- цементування;
- азотування;
- ціанування;
- нітроцементування;
- борування;
- дифузійна металізація (силіціонування, алітування, хромування, цинкування)

Контрольні запитання для самоперевірки:

1. Дати визначення «термічна обробка сплавів». Основні параметри термічної обробки
2. Назвіть види термічної обробки сталей і сплавів.
3. Дати визначення «відпал».
4. Розкрийте поняття «нормалізація»
5. Дати визначення «загартування». Назвіть відомі Вам способи загартування.
6. Розкрийте поняття «відпуск». Види відпуску.