

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

**Циклова комісія економіки, соціально-гуманітарних та
фундаментальних дисциплін**

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

навчальної дисципліни «Матеріали та деталі»
обов'язкових компонент
освітньо-професійної програми
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

**272 Авіаційний транспорт
Технології робіт та технологічне обладнання аеропортів**

за темою - Матеріали повітряного судна залізомісткі

Кременчук 2024

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 22.02.2024 №2

СХВАЛЕНО

Методичною радою
Кременчуцького льотного
коледжу Харківського
національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 17.01.2024 №6

ПОГОДЖЕНО

Секцією науково-методичної ради
ХНУВС з гуманітарних та соціально-
економічних дисциплін
Протокол від 22.02.2024 №2

Розглянуто на засіданні циклової комісії економіки, соціально-гуманітарних та фундаментальних дисциплін, протокол від 05.01.2024 № 14

Розробник:

Викладач циклової комісії економіки, соціально-гуманітарних та фундаментальних дисциплін, спеціаліст вищої категорії, Сіора А.С.

Рецензенти:

- 1. Начальник відділу організації наукової роботи та гендерних питань КЛК ХНУВС, к.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист Владов С.І.*
- 2. Доцент кафедри автомобілів і тракторів Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, к.т.н., доцент Черниш А.А.*

План лекції:

1. Основні відомості про метали.
2. Атомно-кристалічна структура металів. Кристалічні решітки металів.
3. Діаграма стану залізо – вуглець.
4. Сталі. Класифікація та маркування сталей.
5. Класифікація і маркування легированих сталей.
6. Випробування залізомістких матеріалів на твердість, міцність на розрив, втомна міцність і міцність на удар
7. Технологічні властивості залізовмісних матеріалів
8. Експлуатаційні властивості
9. Конструкційна міцність матеріалів
10. Види термічної обробки металів.

Рекомендована література:

Основна

1. Більченко О.В., Дудка О.І., Лобода П.І. Матеріалознавство. Навчальний посібник, Київ, К.Кондор, 2009 – 152 с.
2. Хільчевський В.В., Кондратюк С.Є, Степаненко В.О., Лопатько К.Г. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів, Навчальний посібник, Київ, «Либідь», 2002 – 327 с.
3. Животовська К.О, Мамлюк О.В. Авіаційні матеріали та їх обробка. Навчальний посібник, Київ, "Вища освіта", 2003 – 303 с.
4. Гарнець В.М. Матеріалознавство Підручник. Київ, К.Кондор, 2009
5. Попович В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство Навчальний посібник, Львів, 2002. – 264 с.
6. Коновалюк Д.М., Ковальчук Р.М., Байдула В.О., Товстушко М.М. Деталі машин. Практикум. Навч. посіб. К.: Кондор, 2009. – 278 с.
7. Павлице В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин: Підручник. — Львів: Афіша, 2003. — 557 с.
8. Коновалюк Д. М. Деталі машин: підручник / Д. М. Коновалюк, Р. М. Ковальчук. - К.: Кондор, 2004. - 584 с

Додаткова

9. Малащенко В.О., Янків В.В. Деталі машин. Курсове проектування: Навч. посіб. – 3-тє вид., стереотипне. –Львів: “Новий Світ – 2000”, 2007. 252с.
10. Малащенко В.О., Павлице В.Т. Деталі машин. Збірник завдань та прикладів розрахунків. Львів: Видавництво Новий Світ – 2000, 2009. – 136 с.
11. Мархель І.І. Деталі машин. Навчальний посібник. — Видавництво Алерта, 2016. — 368 с.
12. Дмитро Коновалюк, Рю Ковальчук, В. Байбула, М. Товстушко. Деталі машин. Практикум. – Видавництво Кондор, 2009 – 278с.
13. Анурьев В.І. Довідник конструктора-машинобудівника. - В 3 т. - М.: Машинобудування, 2001. – 859 с.

14. Міняйло А.В., Тіщенко Л.М., Мазоренко Д.І. та ін. Деталі машин: Підручник. – К.: Агроосвіта, 2013. – 448 с.

15. Гайдамака А. В. Деталі машин. Основи теорії та розрахунків: навчальний посібник для студентів машинобудівних спеціальностей усіх форм навчання / А. В. Гайдамака. – Харків: НТУ «ХП», 2020. – 275 с.

16. Малащенко В.О. Муфти приводів. Конструкції та приклади розрахунків. Навч. посіб. — Львів: НУ «Львівська політехніка», 2006. — 196 с., 2009. — 208 с.

17. Павлище В.Т., Данило Я.Я. Різьби, різьбові з'єднання та кріпильні деталі: Довідник. — Львів: Інтелект-Захід, 2001. – 239 с.

Текст лекції

1. Основні відомості про метали.

Метали - один з класів конструкційних матеріалів, що характеризується певним набором властивостей: «металевий блиск» (хороша відбивна здатність); пластичність; твердість; міцність, висока теплопровідність; висока електропровідність.

Дані властивості обумовлені особливостями будови металів. Відповідно до теорії металевого стану, метал є речовина, що складається з позитивних ядер, навколо яких по орбітам обертаються електрони. На останньому рівні число електронів невелике і вони слабо пов'язані з ядром. Ці електрони мають можливість переміщатися по всьому об'єму металу, тобто належати цілій сукупності атомів.

Таким чином, пластичність, теплопровідність і електропровідність забезпечуються наявністю «електронного газу».

2. Атомно-кристалічна структура металів. Кристалічні решітки металів.

Всі метали, затвердівши в нормальних умовах, являють собою кристалічні речовини, тобто укладання атомів в них характеризується певним порядком - періодичністю, як за різними напрямками, так і по різних площинах. Цей порядок визначається поняттям кристалічна решітка.

Іншими словами, **кристалічна решітка** (гратка) це уявна просторова решітка, в вузлах якої розташовуються частинки, що утворюють тверде тіло.

Елементарна комірка - елемент об'єкту з мінімальним числом атомів, багаторазовим перенесенням якого в просторі можна побудувати весь кристал.

Елементарна комірка характеризує особливості будови кристала. Основними параметрами кристала є:

- розміри ребер елементарної комірки;
- **періоди решітки** - відстані між центрами найближчих атомів. В одному напрямку витримуються строго заданим;
- кути між осями (α, β, γ);
- координатне число (K) вказує на число атомів, розташованих на найближчій однаковій відстані від будь-якого атома в решітці;

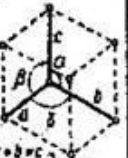

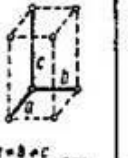
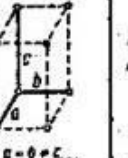
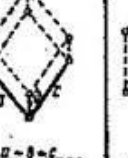
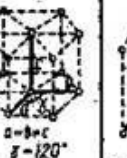
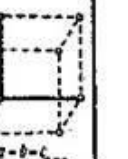
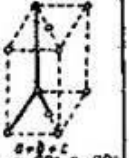
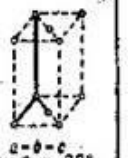
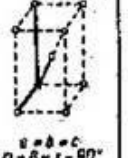
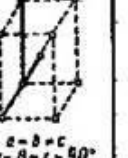
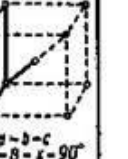
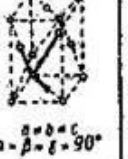
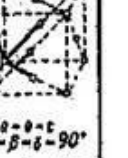
- **базис решітки** - кількість атомів, що припадають на одну елементарну комірку решітки;

- **щільність упаковки атомів** в кристалічній решітці - об'єм, зайнятий атомами, які умовно розглядаються як жорсткі кулі.

Її визначають як відношення обсягу, зайнятого атомами, до обсягу комірки (для об'ємно-центрованої кубічної решітки - 0,68, для гранецентрованої кубічної решітки - 0,74).

Класифікація можливих видів кристалічних решіток була проведена французьким вченим О. Браве, відповідно вони отримали назву «решітки Браве». Всього для кристалічних тіл існує чотирнадцять видів ґрат, розбитих на чотири типи (рис. 1.1):

- **примітивний** - вузли решітки збігаються з вершинами елементарних осередків;
- **базоцентризований** - атоми займають вершини осередків та два місця в протилежних гранях;
- **об'ємно-центризований** - атоми займають вершини комірки і її центр;
- **гранецентрований** - атоми займають вершини комірки і центри всіх шести граней.

Симетрія Тип решітки	Тригональна	Моноклінна	Ромбічна	Тетра- гональна	Тригональна	Гекса- гональна	Кубічна
Примітивний $Z=1$	 $a=b \neq c$ $\alpha=\beta \neq \gamma=90^\circ$	 $a \neq b \neq c$ $\alpha=\gamma=90^\circ \neq \beta$	 $a=b \neq c$ $\alpha=\beta \neq \gamma=90^\circ$	 $a=b \neq c$ $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$	 $a=b \neq c$ $\alpha=\beta=\gamma \neq 90^\circ$	 $a=b \neq c$ $\alpha=\beta=90^\circ \neq \gamma=120^\circ$	 $a=b=c$ $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$
Базо- центризований $Z=2$		 $a \neq b \neq c$ $\alpha=\gamma=90^\circ \neq \beta$	 $a=b \neq c$ $\alpha=\beta \neq \gamma=90^\circ$				
Об'ємно- центризований $Z=2$			 $a=b \neq c$ $\alpha=\beta \neq \gamma=90^\circ$	 $a=b \neq c$ $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$			 $a=b=c$ $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$
Гранец- ентрований $Z=4$			 $a=b \neq c$ $\alpha=\beta \neq \gamma=90^\circ$				 $a=b=c$ $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$

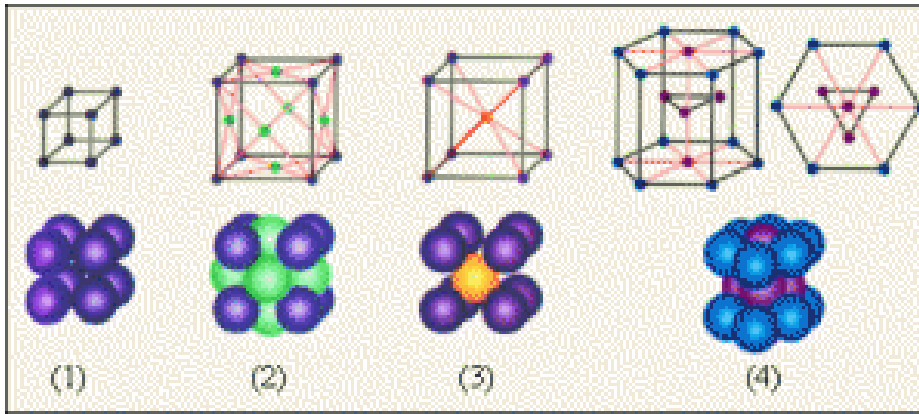


Рис.1.1. Типи кристалічних решіток

Основними типами кристалічних решіток (рис. 1.2) є:

1. Об'ємно - центрована кубічна (ОЦК) (рис. 1.2 а), атоми розташовуються у вершинах куба і в його центрі (V, W, Ti);

2. Гранецентрована кубічна (ГЦК) (рис 1.2 б), атоми розташовуються в вершинах куба і по центру кожної з 6 граней (Ag, Au);

3. Гексагональна, в основі якої лежить шестикутник: проста - атоми розташовуються у вершинах комірки і по центру 2 основ (вуглець у вигляді графіту); щільноупакована (ГЦУ) - є 3 додаткових атома в середній площині (цинк).

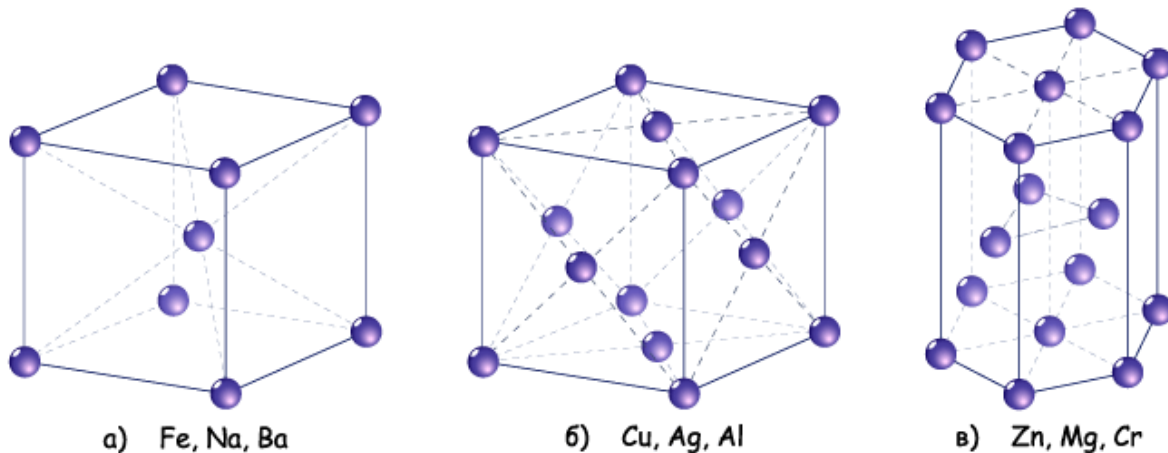


Рис.1.2. Основні типи кристалічних решіток

3. Діаграма стану залізо – вуглець

Компонентами залізовуглецевих сплавів є два хімічних елементи – залізо та вуглець.

Залізо – метал VIII групи періодичної системи, світло-сріблястого кольору, який має густину $7,86 \text{ г/см}^3$ і температуру плавлення 1536°C . Це метал, в якому відбувається температурне поліморфне перетворення. Залізо двічі змінює свою ґратку – при 911°C і при 1392°C . Нижче 911°C залізо має об'ємноцентровану кубічну ґратку (ОЦК). Таке залізо називається $\alpha\text{-Fe}$, або Fe_α .

При нагріванні до температури вище 911°C гратка заліза змінюється на гранецентровану кубічну (ГЦК). Це γ -залізо ($\gamma\text{-Fe}$, або Fe_{γ}). При 1392°C відбувається ще одне поліморфне перетворення: ГЦК-гратка знову перетворюється на ОЦК, яка зберігається до температури плавлення. Високотемпературне залізо з ОЦК-граткою називають δ -залізом ($\delta\text{-Fe}$ або Fe_{δ}). Під час охолодження відбуваються зворотні процеси перетворення граток (рис. 1.3).

Площинки на кривій відповідають критичним точкам температури кристалізації заліза А (1536°C) та температурам поліморфних перетворень A_4 і A_3 . Поруч з кривою схематично показані кристалічні гратки α , γ , δ -Fe.

У залізі також відбувається магнітне перетворення при температурі 768°C (критична точка A_2 – **точка Кюрі**), пов'язане з внутрішньоатомними змінами і не викликає перебудови гратки, а тільки призводить до зміни магнітних властивостей. Тому на кривій охолодження при даній температурі відсутній горизонтальний відрізок.

Технічно чисте залізо, яке вміщує до 0,2% домішок, в тому числі до 0,05% вуглецю, має добру пластичність, невисоку міцність і низьку твердість.

Вуглець – неметал, належить до IV групи періодичної системи і існує у природних умовах у вигляді двох полімерних модифікацій: графіту і метастабільної модифікації алмазу (рис. 1.2).

Графіт має гексагональну пошарову кристалічну гратку, м'який і невеликої міцності ($\sigma_{\text{в}}=20$ МПа). З підвищенням температури міцність графіту зростає і при 2500°C графіт міцніше всіх тугоплавких металів.

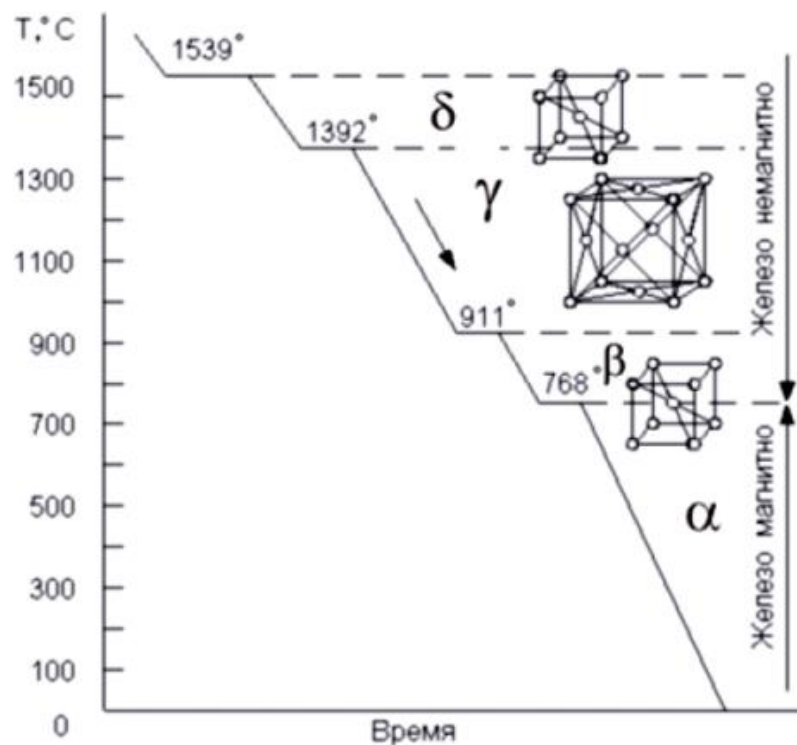


Рис. 1.3. Крива охолодження та критичні точки чистого заліза

Густина графіту $2,25 \text{ г/см}^3$, температура плавлення 3500°C . Графіт поєднує високу жароміцність і кислотостійкість, електропровідність і теплопровідність.

Вуглець у залізовуглецевих сплавах може кристалізуватися у вільному стані у вигляді графіту або взаємодіяти із залізом, утворюючи тверді розчини і хімічну сполуку Fe_3C – **цементит**.

У системі залізо-вуглець можлива присутність наступних шістьох фаз:

– *рідкий розчин P* – однорідна рідина, що складається із заліза та вуглецю, існує як окрема фаза над лінією ліквідус;

– *трьох твердих розчинів* проникнення вуглецю у кристалічну ґратку відповідної модифікації заліза:

- на базі $\alpha\text{-Fe}$ (*ферит, Φ*);
- на базі $\gamma\text{-Fe}$ (*аустеніт, A*);
- на базі $\delta\text{-Fe}$ (*δ -ферит, $\delta\text{-}\Phi$*)

– *двох високовуглецевих фаз:*

- хімічної сполуки заліза з вуглецем Fe_3C (*цементит, Ц*);
- *графіту (Г)*.

Складність діаграми $\text{Fe}\text{--}\text{Fe}_3\text{C}$ (рис. 1.4) зумовлена тим, що у залізовуглецевих сплавах, окрім первинної кристалізації (рідина→тверда фаза) відбуваються процеси вторинної кристалізації в твердому стані, які пов'язані з поліморфними перетвореннями заліза та зменшенням розчинності вуглецю у фериті та аустеніті.

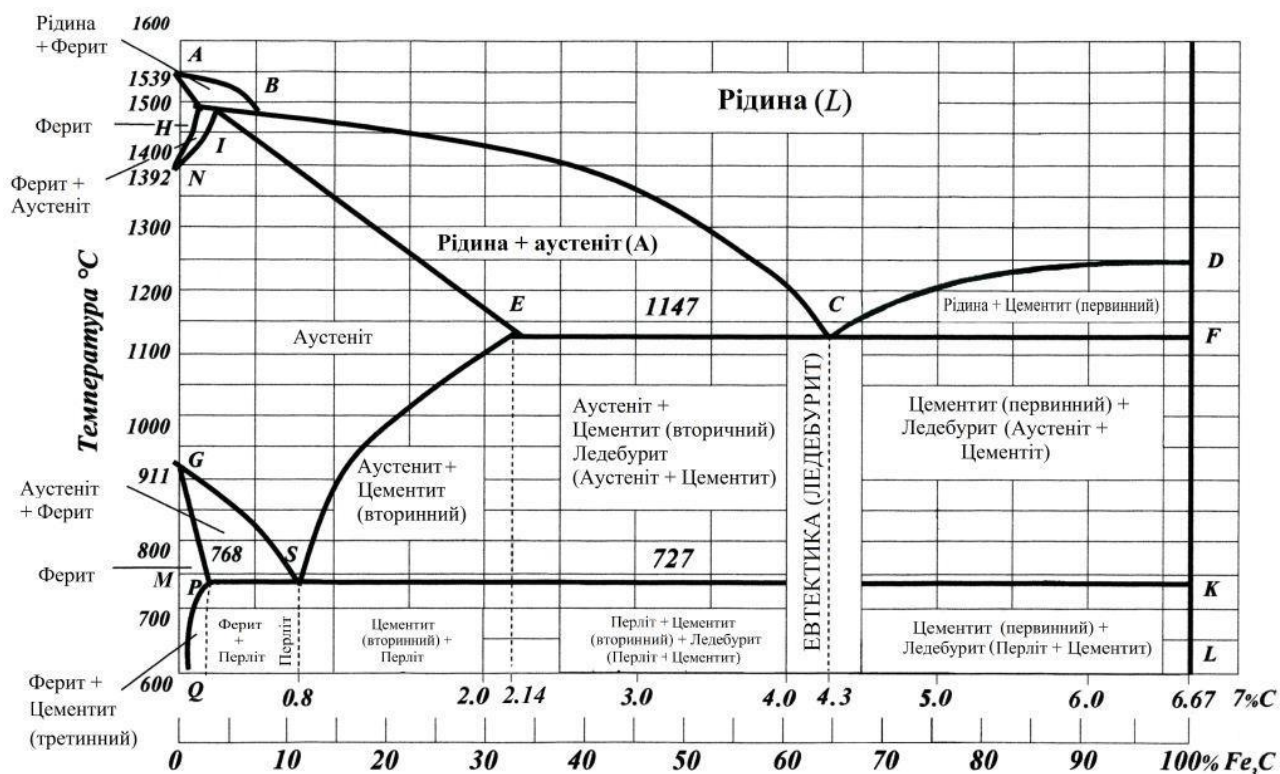


Рисунок 1.4. Діаграма стану залізо – цементит (вуглець) $\text{Fe}\text{--}\text{Fe}_3\text{C}$

Точки та лінії діаграми:

На рис. 1.4. по ординаті відкладена температура, по абсцисі нанесені дві шкали: верхня характеризує масовий вміст вуглецю від 0% (100% заліза) до 6,67% (100% Fe_3C), нижня – кількість цементиту.

Точка **A** на лівій ординаті – це температура плавлення чистого заліза (1536°C), точка **D** на правій ординаті – температура плавлення цементиту (1252°C), **ABCD** – лінія ліквідусу, вище якої всі сплави перебувають у рідкому стані, **АНЕСF** – лінія солідуса, нижче якої всі сплави знаходяться у твердому стані.

Точки **N** (1392°C , 0%С) та **G** (911°C , 0%С) – температури поліморфного перетворення в залізі (В результаті **поліморфного перетворення** атоми кристалічного тіла, мають грати одного типу, перебудовуються таким чином, що утворюється кристалічна решітка іншого типу.). Інші точки діаграми будуть описані при розгляді фазових та структурних перетворень у різних сплавах.

Лінії діаграми – це геометричне місце точок, що характеризують хімічний склад фаз, які знаходяться у рівновазі, температури початку та кінця фазових перетворень. З теорії кристалізації відомо, що перехід від рідкого стану в твердий відбувається не при температурі рівноваги **T₀** для цих фаз, а при деякому переохолодженні ΔT . Тому далі при розгляді перетворень, що проходять в реальних умовах при охолодженні (нагріванні), буде матися на увазі, що вони відбуваються при деякому переохолодженні (перегріванні) відносно температур рівноваги **T₀**.

Первинна кристалізація. За лінією ліквідусу **ABCD** починається кристалізація з рідкої фази: δ -фериту **Ф_δ** (**AB**), аустеніту **A** (**BC**) та цементиту первинного **Ц_I** (**CD**). Лінія **АН** – температурна межа двофазної зони “рідина + Ф_δ ”, нижче цієї лінії – однофазна зона Ф_δ . **НІВ** – лінія поліморфного перетворення

При переохолодженні нижче 1499°C внаслідок взаємодії рідини складу **B** (0,51%С) з кристалами δ -фериту складу точки **H** (0,1%С) утворюється аустеніт складу точки **I** (0,16%С).

Лінія **ІЕ** – температурна межа двофазної зони **P+A**, кінець кристалізації аустеніту, нижче цієї лінії – однофазна зона аустеніту.

Оскільки при температурі вище 911°C залізо існує в модифікації Fe_γ , нижче лінії **АС** з рідкого розчину починає кристалізуватись твердий розчин вуглецю в Fe_γ – аустеніт (**A**). Нижче лінії **CD** з рідкого розчину виділяється цементит, який називають первинним (**Ц_I**).

Точка **C** – евтектична точка, якій відповідає вміст вуглецю 4,3%. Під час кристалізації сплаву такого складу при температурі 1147°C з рідкого розчину одночасно виділяються кристали аустеніту і цементиту, тобто утворюється **евтектика** (суміш **A+Ц_I**). концентрація вуглецю в аустеніті дорівнює 2,14% (точка **E**), в цементиті 6,67% - точка **F**. Така евтектика отримала назву **ледебурит** на честь німецького вченого-металурга А. Ледебура.

Лінія **ECF** (1147°C) – лінія евтектичного перетворення: при такій температурі в усіх сплавах з концентрацією вуглецю більше 2,14% кристалізація закінчується утворенням ледебуриту. **Ледебурит (Л)** однорідна механічна суміш аустеніту і цементиту, яка формується при постійній температурі 1147°C.

Структура сплавів з концентрацією вуглецю від 2,14% до 4,3% безпосередньо нижче лінії **ES** складається з аустеніту і ледебуриту. Аустеніт виділяється з рідкого розчину в інтервалі температур між лініями ліквідусу і солідусу, а ледебурит утворюється при температурі 1147°C (на евтектичній горизонталі **ECF**). У сплавах з концентрацією від 4,3%С до 6,67%С первинна кристалізація теж закінчується формуванням ледебуриту, і структура цих сплавів нижче 1147°C складається з ледебуриту і первинного цементиту, який виділився з рідкого розчину раніше – при температурах між лініями **CD** і **CF**.

Сплави з вмістом вуглецю менше 2,14% після закінчення первинної кристалізації мають структуру аустеніту.

Вторинна кристалізація. Лінія **NH** та **NI** – температури початку та кінця поліморфного перетворення δ -фериту в аустеніт у сплавах до 0,16%С. У сплавах із 0,16...0,51%С це перетворення відбувається при постійній температурі 1499°C.

У залізовуглецевих сплавах відбуваються структурні зміни і в твердому стані. Вони зумовлені поліморфізмом заліза і зменшенням розчинності вуглецю в твердих розчинах (аустеніті і фериті) при зниженні температури. Це *вторинна кристалізація* або *перекристалізація*.

Оскільки аустеніт є твердим розчином проникнення, вуглець в ньому розчиняється обмежено. Як видно з діаграми, максимальна розчинність вуглецю в аустеніті досягається при температурі 1147°C і дорівнює 2,14% (точка **E**). Зі зниженням температури розчинність вуглецю в залізі зменшується відповідно з лінією **ES** і при температурі 727°C досягає 0,8% (точка **S**). Лінія **ES** є лінією обмеженої розчинності вуглецю в Fe_γ і при кожній температурі характеризує максимальний вміст цього елемента в аустеніті. При 727°C максимальна кількість вуглецю, який може розчинитися в аустеніті, дорівнює 0,8%. Лінії **GS** та **GPS** – температури початку та кінця поліморфного перетворення $\text{A} \rightarrow \Phi$, яке відбувається в інтервалі температур при безперервному охолодженні в сплавах із вмістом вуглецю до 0,8%.

PSK – лінія поліморфного перетворення $\text{A} \rightarrow \Phi$ при постійній температурі в сплавах із 0,02...6,67%С.

При переохолодженні нижче 727°C з аустеніту евтектоїдної концентрації утворюється **перліт**.

Лінії **ES** та **PQ** – лінії граничної розчинності вуглецю в аустеніті та фериті, відповідно. У зв'язку зі зменшенням (збільшенням) вмісту вуглецю в цих фазах при охолодженні (нагріванні) лінії **ES** та **PQ** відповідають початку утворення (кінцю розчинення) цементиту вторинного в аустеніті та третинного у фериті.

Структурні складові залізовуглецевих сплавів

Залежно від температури та вмісту вуглецю залізовуглецеві сплави Fe–C утворюють ряд структурних складових:

- три тверді розчини проникнення (Φ , A , δ -ферит);
- дві високовуглецеві фази (Γ , Γ');
- евтектика – ледебурит (4,3% C) L ;
- евтектоїд – перліт (0,8% C) P .

Ферит, аустеніт, цементит можуть існувати у сплавах в структурновільному стані або входити до складу ледебуриту чи перліту.

Ферит (Φ) – твердий розчин проникнення атомів вуглецю в α -Fe ОЦК ґратці (рис. 1.5).

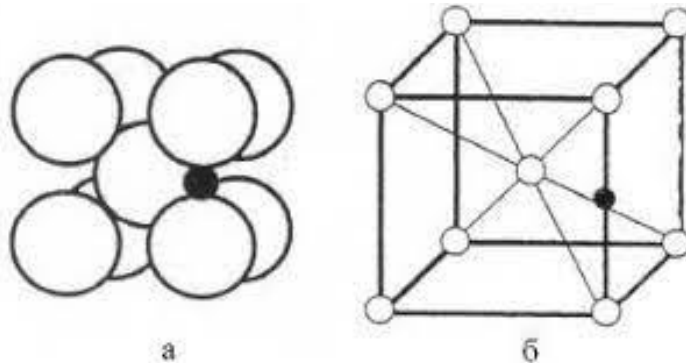


Рис. 1.5. Елементарна комірка фериту: а – модель; б – схема

Розрізняють низькотемпературний α -ферит з граничною розчинністю вуглецю 0,02% при 727°C та високотемпературний δ -ферит (0,1% C при 1499°C). При 20°C у фериті розчиняється 0,006% C. Під мікроскопом ферит виявляється у вигляді зернистої структури.

Низька розчинність вуглецю в фериті обумовлена малим радіусом порожнин в ОЦК ґратці (0,037 нм). Ферит – м'яка пластична складова з властивостями, близькими до технічно чистого заліза: $\sigma_B = 200\text{--}250$ МПа, $\delta = 40\text{--}50\%$, $\psi = 70\%$.

Аустеніт (A) – твердий розчин проникнення атомів вуглецю в γ -Fe ГЦК ґратці, радіус міжатомних порожнин дорівнює 0,052 нм. Цим обумовлена підвищена, в порівнянні із феритом, розчинність вуглецю в аустеніті – 2,14% при 1147°C, а при 727°C – 0,8%.

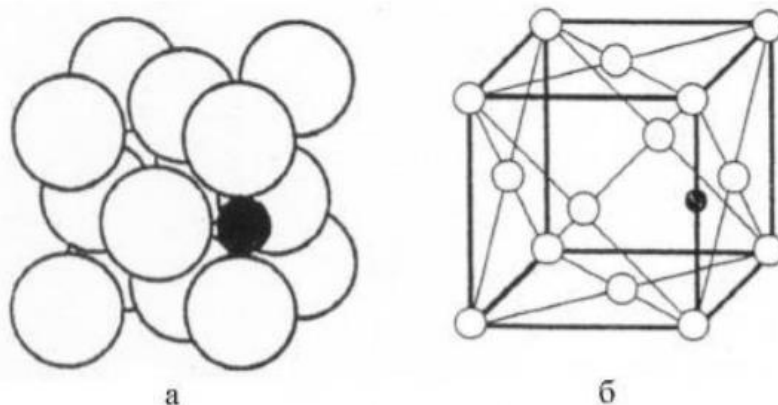


Рис. 1.6. Елементарна комірка аустеніту: а – модель; б – схема

Аустеніт є парамагнітний (**парамагнетики** — речовини з невеликою позитивною магнітною сприйнятливістю (**магнітна сприйнятливість** — фізична величина, що характеризує здатність речовини намагнічуватись під дією зовнішнього магнітного поля), які у зовнішньому магнітному полі намагнічуються вздовж поля і дещо підсилюють його.), високопластичний, але має твердість і міцність вище, ніж ферит: $\sigma_B = 500-800$ МПа, $\delta = 50...60\%$, $160...200$ НВ.

Цементит (Ц) — хімічна сполука Fe_3C , що містить 6,67%С. Гратка — складна ромбічна, характеризується металевим та іонним зв'язком між атомами вуглецю та заліза (рис. 1.8) і на діаграмі йому відповідає вертикальна лінія, що проходить через точки F та K.

Тому цементит має високу твердість ($HB \geq 800$), крихкість і практично нульову пластичність. Цементит — метастабільна фаза у високовуглецевих сплавах ($>2,14\%C$) при дуже повільному охолодженні замість нього може утворитися графіт.

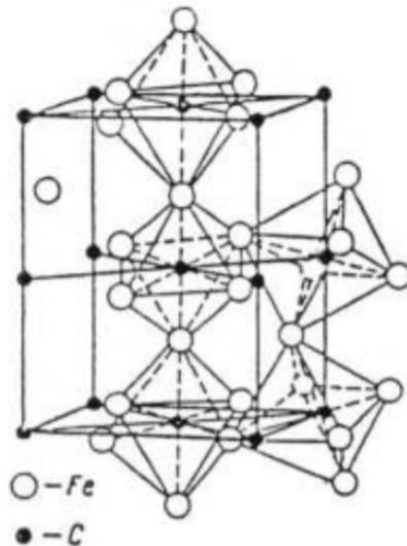


Рис. 1.8. Кристалічна структура цементиту

Залежно від умов утворення розрізняють **цементит первинний (Ц_I)**, який утворюється із рідини при затвердінні розплаву (лінія DC); **вторинний (Ц_{II})** — утворюється при розпаді аустеніту (лінія ES).

Зменшення розчинності вуглецю у Fe_α приводить до виділення з фериту надлишкового вуглецю у вигляді **третинного цементиту** (лінія PQ).

Хоча його кількість невелика, в деяких випадках він може суттєво впливати на властивості маловуглецевих сплавів.

Слід підкреслити, що всі види цементиту (первинний, вторинний і третинний) мають однакові властивості та відрізняються один від одного тільки своєю морфологією. Тому при розгляді структури конкретного сплаву, як правило, не деталізується вид цементиту. Утворює тверді розчини заміщення, в яких вуглець заміщується неметалами (O, N), а залізо — металами (Mn, Cr, W тощо). Твердий розчин заміщення на основі гратки цементиту має назву **легований цементит**.

Сплави на основі цементиту у чистому вигляді не використовуються. Чим більше цементиту, тим твердість залізовуглецевого сплаву вище.

Графіт (Г) – стабільна модифікація вуглецю, має складну гексагональну ґратку. Густина графіту 2,26 г/см³. Твердість 3...5 НВ, значна крихкість, пластичність практично відсутня.

Ледебурит (Л) – евтектична фазова суміш цементиту та аустеніту в інтервалі температур 1147...727°C, перліту і цементиту – при температурах нижче 727°C. Середній вміст вуглецю в ледебуриті 4,3%. Ледебурит утворюється в залізовуглецевих сплавах, що містять більше 2,14%С. Ледебурит містить 64% цементиту. Тому він твердий (НВ≥600) та крихкий. Евтектичний чавун з 4,3%С має ледебуритну структуру.

Перліт (П) – евтектоїдна фазова суміш фериту і цементиту, що містить 0,8%С, утворюється при температурі 727°C в результаті вторинної кристалізації або перекристалізації (розпаду) аустеніту в процесі його охолодження. Цей розпад називається евтектоїдним, а перліт – евтектоїдом. Структура перліту – пластини фериту і цементиту, що поперемінюються. Властивості перліту залежать від дисперсності ферито-цементитної суміші та форми цементиту. Грубопластинчастий перліт має властивості: $\sigma_B = 500\text{--}600$ МПа, $\delta = 8\text{--}15\%$, 160...250 НВ. Більш дисперсний перліт має більшу міцність та меншу пластичність.

Класифікація сталей за структурою в стані рівноваги

Залізовуглецеві сплави, які містять до 0,02% С, мають назву “технічне залізо”. Якщо вміст вуглецю складає від 0,02% до 2,14%, то такі сплави називаються **сталями**, а вище 2,14% – **чавунами**.

Діаграма стану Fe–Fe₃C дозволяє визначити структуру сталі в стані рівноваги, тобто після дуже повільного охолодження. На практиці структури, що близькі до рівноваги, досягаються при відпалюванні з повільним охолодженням разом з піччю. Залежно від вмісту вуглецю сталі зі структурою в рівноваговому (відпаленому) стані (рис. 1.9) поділяються на наступні групи:

– **технічне залізо ($\leq 0,02\%$ С)**. Структура – ферит (рис. 1.9,а) або ферит з цементитом (третинним) (рис. 1.9,б). Технічне залізо, що вміщує менш ніж 0,0002% С при кімнатній температурі, має структуру фериту. При збільшенні вмісту вуглецю до 0,02%С на межах зерен з’являються прошарки третинного цементиту. Його поява знижує пластичність заліза. Цементит, як і ферит, після травлення розчином азотної кислоти у спирті залишається світлим, протравлюються тільки границі зерен. Для посилення контрасту між цементитом та феритом мікрошліф протравлюють пікратом натрію, який надає цементиту темного кольору.

– **доевтектоїдні сталі ($0,02\% < C < 0,8\%$)**. Структура – ферит (світлого кольору) та перліт (темного) (рис. 1.9, в,г). З підвищенням вмісту вуглецю частка перлітної складової зростає, а фериту – зменшується. При великому збільшенні перліт виглядає під мікроскопом як набір світлих пластин фериту та

цементиту, які чергуються і мають темні границі між собою. При невеликому збільшенні (у 100...200 разів) границі таких пластин зливаються, що надає перліту темного забарвлення.

– **евтектоїдна сталь** (0,8%С). Структура – перліт, при невеликих збільшеннях мікроскопа – це темного кольору складова частина структури. При збільшенні 500 крат і більше виявляється двофазна будова перліту (Ф+Ц) (рис. 1.9,д).

– **заевтектоїдні сталі** (0,8%<С<2,14%). Структура – перліт і цементит (вторинний), що утворюється при повільному охолодженні по межах зерен у вигляді цементитної сітки (рис. 1.9,е,з)

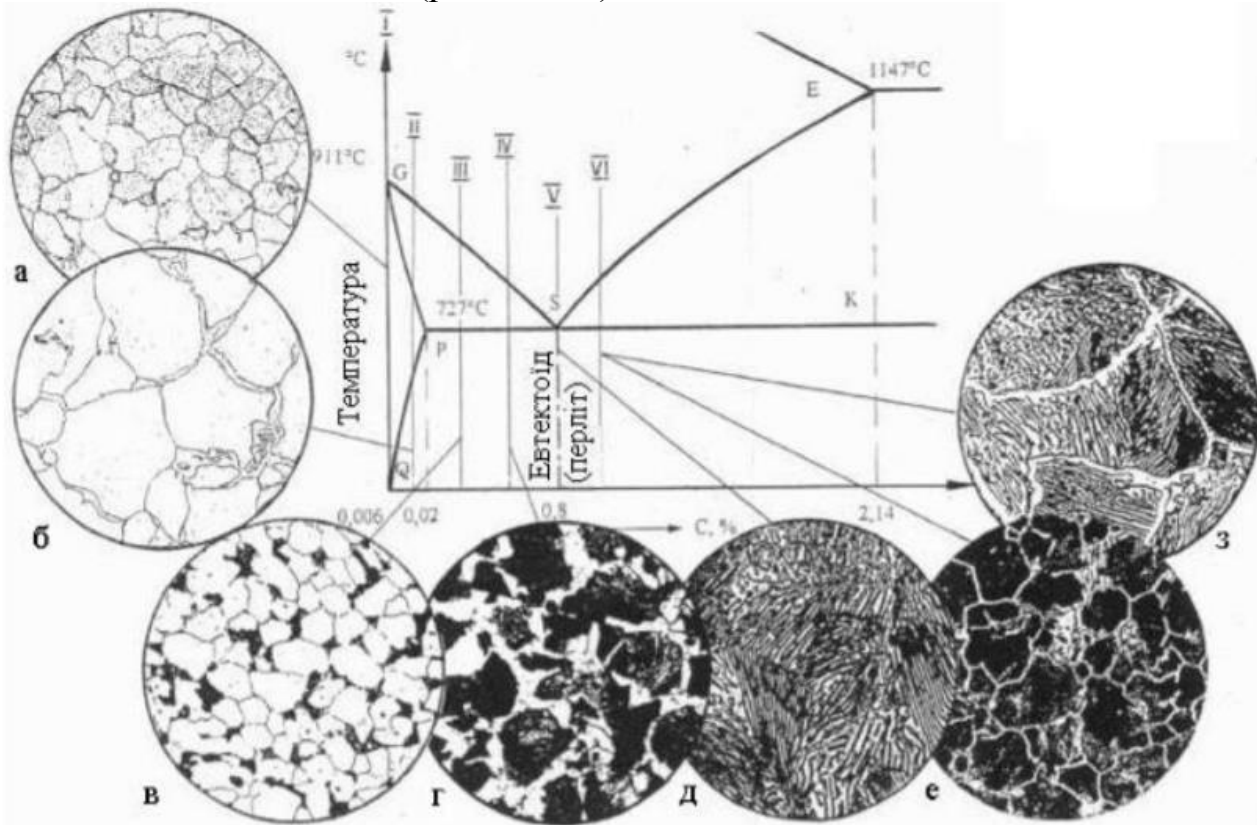


Рис. 1.9. Класифікація сталей за структурою в стані рівноваги

Властивості сталі, як і структура, залежать від вмісту вуглецю. Структуру сталей формують дві фази: пластичний та м'який ферит (80...100 НВ) і крихкий, твердий цементит (800 НВ). Із збільшенням вмісту вуглецю в сталі кількість цементиту зростає, що і зумовлює підвищення твердості та зниження пластичності та в'язкості.

4. Сталі. Класифікація та маркування сталей

Сталі є найбільш поширеними матеріалами. Мають хороші технологічні властивості. Вироби отримують в результаті обробки тиском і різанням.

Перевагою є можливість, отримувати потрібний комплекс властивостей, змінюючи склад і вид обробки.

Сталі, розділяють на **вуглецеві** і **леговані**.

Вплив вуглецю і домішок на властивості сталей.

Вуглецеві сталі є основними. Їх властивості визначаються кількістю вуглецю і змістом домішок, які взаємодіють із залізом і вуглецем.

Вплив вуглецю.

З ростом вмісту вуглецю в структурі сталі збільшується кількість цементиту, при одночасному зниженні частки фериту. Зміна співвідношення між складовими приводить до зменшення пластичності, а також до підвищення міцності і твердості. Міцність підвищується до змісту вуглецю близько 1%, а потім вона зменшується, так як утворюється груба сітка цементиту вторинного.

Вуглець впливає на в'язкі властивості. Збільшення вмісту вуглецю підвищує поріг хладоламкості і знижує ударну в'язкість.

Вуглець впливає і на технологічні властивості. Підвищення вмісту вуглецю погіршує ливарні властивості сталі (використовуються сталі з вмістом вуглецю до 0,4%), оброблюваність тиском і різанням, зварюваність. Слід враховувати, що сталі з низьким вмістом вуглецю також погано обробляються різанням.

Вплив домішок.

У сталях завжди присутні домішки, які діляться на чотири групи. Постійні домішки: кремній, марганець, сірка, фосфор.

Сірка і фосфор – це шкідливі домішки, які потрапляють у сталь з вихідної сировини (металобрухту, чавуну).

Сірка із залізом утворює хімічну сполуку – сульфід заліза FeS , який при кристалізації входить до складу легкоплавкої евтектики ($\text{Fe}+\text{FeS}$) з температурою плавлення 988°C . Евтектика розміщується на границях зерен і під час гарячого пластичного деформування сталі (штампування, прокатування, волочіння, кування) при температурі $1100\text{--}1200^\circ\text{C}$ розплавляється. Це порушує зв'язок між зернами, виникають надриви або тріщини, що призводить до окрихчення. Окрихчення сталі при високих температурах називають **червоноламкістю**.

Крім цього, сірчані сполуки значно знижують ударну в'язкість, пластичність, границю витривалості, а також погіршують зварюваність, і корозійну стійкість сталі. Тому кількість сірки у сталях обмежують (не більше 0,06%), але залежно від якості сталі її вміст зазвичай менший.

Фосфор розчинюється у фериті та аустеніті і сильно спотворює кристалічну ґратку, що призводить до підвищення порогу холодноламкості. Кожна 0,01% фосфору підвищує поріг холодноламкості сталі на $20\text{--}25^\circ\text{C}$. При цьому значно знижується пластичність і в'язкість, зменшується робота розвитку тріщин, тобто сталь стає крихкою. Максимальний допустимий вміст фосфору в сталі 0,045%.

Концентрація сірки і фосфору в сталі є головними показниками, які регламентують якість сталі.

Марганець і кремній вводяться в процесі виплавки сталі для розкислення, вони є технологічними домішками.

Зміст марганцю не перевищує 0,5 ... 0,8%. Марганець підвищує міцність, не знижуючи пластичності, і різко знижує краснотекучість сталі, викликану впливом сірки. Він сприяє зменшенню вмісту сульфіда

За якістю сталі поділяють на сталі звичайної якості, якісні, високоякісні і особливо високоякісні. В основу цієї класифікації покладена кількість шкідливих домішок – сірки і фосфору:

- сталі звичайної якості: вміст сірки $S < 0,06\%$; фосфору $P < 0,045\%$;
- якісні сталі: вміст сірки $S \leq 0,035\%$; фосфору $P \leq 0,030\%$;
- високоякісні сталі: вміст сірки $S < 0,025\%$; фосфору $P < 0,025\%$;
- особливо високоякісні сталі: вміст сірки $S < 0,015\%$; фосфору $P < 0,015\%$.

Класифікація та маркування сталей

Класифікація сталей.

Сталі класифікуються по безлічі ознак.

1. За хімічним: складом:

- вуглецеві;
- леговані.

2. За вмістом вуглецю:

- низьковуглецевих, з вмістом вуглецю до 0,25%;
- середньовуглецевого, з вмістом вуглецю 0,3 ... 0,6%;
- високовуглецеві, з вмістом вуглецю вище 0,7%.

3. За структурою:

- доевтектоїдні,
- евтектоїдні,
- заевтектоїдні.

4. За якістю. Кількісним показником якості є вміст шкідливих домішок: сірки і фосфору:

- вуглецеві сталі звичайної якості;
- якісні сталі;
- високоякісні сталі;
- особливовисокоякісні сталі.

5. За способом виробництва:

- в мартенівських печах;
- в кисневих конверторах;
- в електричних печах: електродугових, індукційних та ін.

6. За загальним призначенням:

- конструкційні (будівельні й машинобудівні);
- інструментальні;
- спеціального призначення.

7. За характером ведення процесу і розкислення сталі поділяються на спокійні, напівспокійні і киплячі. Спокійна сталь — це повністю розкислена

(розчинений кисень вилучений) якісна сталь. Кипляча сталь — малорозкислена сталь, в якій вміст кисню підвищений. Напівспокійна сталь займає проміжне становище.

Вуглецеві конструкційні сталі звичайної якості

Сталі звичайної якості поставляють згідно з ДСТУ 2651-94, вони найдешевші, в них допускається підвищена концентрація шкідливих домішок ($S < 0,06\%$, $P < 0,045\%$).

Сталі звичайної якості маркують літерами «Ст» і цифрами 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 (номер марки сталі). Наприкінці марки позначають ступінь розкислення сталі, наприклад: Ст1кп, Ст3сп, Ст3пс. У деяких марках сталі стоїть літера «Г», яка вказує на підвищену кількість марганцю – до 1,1–1,2% (Ст5Гпс). Слід мати на увазі, що номер марки не співпадає з кількістю вуглецю у сталі. Так, вміст вуглецю збільшується від 0,12% у сталі Ст1 до 0,49% у сталі Ст6.

За ступенем розкислення сталі виплавляються спокійними (розкислені марганцем, кремнієм та алюмінієм), киплячими (розкислені тільки марганцем) і напівспокійні (розкислені марганцем та кремнієм). Ступінь розкислення позначають в марці сталі літерами сп (спокійна), кп (кипляча), пс (напівспокійна). Наприклад, 08кп, 10пс. Якщо ступінь розкислення в марці сталі не позначений, така сталь є спокійною.

Маркуються Ст.2кп., БСт.3кп, ВСт.3пс, ВСт.4сп.

Зі збільшенням номера марки зростає міцність і знижується пластичність сталі. За гарантією при постачанні існує три групи сталей: А, Б і В. Для сталей групи А при поставці гарантуються механічні властивості, в позначенні індекс групи А не вказується. Для сталей групи Б гарантується хімічний склад. Для сталей групи В при поставці гарантуються і механічні властивості, і хімічний склад.

Вуглецеві конструкційні якісні сталі

Якісні сталі поставляють згідно з ГОСТ 1050-88. Ці сталі містять менше шкідливих домішок ($S < 0,356\%$, $P < 0,03\%$) і неметалевих включень.

Якісні сталі маркують двома цифрами, що вказують середню кількість вуглецю у сотих частках відсотка: сталь 05, 08, 10, 15, 20, 25, 30 і далі через 0,05% до сталі 85.

Маловуглецеві сталі: сталь 05, 08, 10.

Середньовуглецеві сталь: сталь 30, 35, 40, 45, 50, 55.

Високовуглецеві сталі : сталь 60, 65, 70, 75, 80, 85

Якісні - 08, 10, 15, 25, 30, 35 ... 85 (числа вказують середній вміст вуглецю в сотих долях відсотка), 60Г, 65Г, 70Г (літера Г вказує на підвищений вміст марганцю).

Автоматні сталі

Автоматні сталі, або сталі підвищеної оброблюваності різанням (ГОСТ 1414-75), використовують у масовому виробництві кріпильних виробів (болти,

гвинти, гайки тощо) та деяких невідповідальних деталей на верстатахавтоматах з великою швидкістю різання.

Сталі з підвищеним вмістом сірки і фосфору. Як говорилося, сірка і фосфор окрихчують сталь, через що стружка стає ламкою, а м'які сульфіди зменшують коефіцієнт тертя. В автоматних сталях цієї групи вміст сірки може сягати 0,3%, фосфору 0,15%. Такі сталі маркують літерою А (автоматні) і цифрами, що вказують на середню кількість вуглецю у сотих частках відсотка: сталь А12, А20, А30, А40Г. Літера Г позначає підвищений вміст марганцю (до 1,2%), який додається для зменшення червоноламкості.

Сталі зі свинцем. У сталях цієї групи для покращення оброблюваності різанням додають свинець у кількості 0,15–0,3%. Свинець під час різання плавиться ($t_{пл}=327^{\circ}\text{C}$), що окрихчує стружку, зменшує коефіцієнт тертя і зусилля різання. Сталі зі свинцем маркують, додаючи після літери А літеру С (свинець): сталь АС14, АС40 (число показує вміст вуглецю 0,14 і 0,40% відповідно). Ці сталі менш крихкі, ніж сталі з високим вмістом S і P.

Сталі з селеном містять 0,04–0,1% Se, який позначається літерою Е в кінці марки (сталь А45Е). Недоліком цих сталей є їх висока вартість (селен дефіцитний елемент). Тому частіше за все селен для покращення оброблюваності додають в леговані сталі.

Сталі з кальцієм. Залишкова кількість кальцію в цих сталях невелика – 0,003%, але через утворення крихких неметалевих включень стійкість інструменту збільшується у 1,5-3 рази при значному підвищенні швидкості обробки різанням. Кальцієві сталі дешевші, їх маркують АЦ20, АЦ60 (Ц – кальцій, число показує вміст вуглецю у сотих частках відсотка).

Останнім часом для покращення оброблюваності різанням використовують комплексні добавки (сірка та селен, свинець та кальцій тощо). Але слід пам'ятати, що всі домішки (S, Ca, Pb, Se) значно знижують конструкційну міцність автоматних сталей, що не дозволяє використовувати їх для деталей, які працюють в умовах складного напруженого стану і значних концентрацій напружень

Вуглецеві інструментальні сталі

Вуглецеві інструментальні сталі (ГОСТ 1435-74) позначають літерою У і числом, що вказує на середній вміст вуглецю у десятих частках відсотка від 0,7 до 1,3% (У7, У8, У9, У10, У11, У12, У13). Такі сталі виготовляють якісними і високоякісними.

Якісні сталі містять не більше 0,028% сірки і 0,030% фосфору, високоякісні – сірки не більше 0,018% і фосфору 0,025%, що позначаються літерою А в кінці марки (У7А–У13А).

Вуглецеві інструментальні сталі не можна використовувати для інструменту, який працює з великою швидкістю різання або оброблює тверді матеріали, оскільки твердість цих сталей різко знижується при нагріванні інструменту вище 200°C . Із цих сталей виготовляють, насамперед, столярний і слюсарний інструмент. Сталі з меншою кількістю вуглецю (У7, У8) мають

достатню в'язкість, тому їх використовують для виготовлення молотків, зубил, викруток тощо. Сталі У9–У12 застосовують для свердел, стамесок, мітчиків, ножівок. Із сталі У13 виготовляють напилки, бритви, калібри, шабери. Ці інструменти працюють без ударів, в процесі роботи істотно не розігріваються і повинні мати тверду зносостійку поверхню.

5. Класифікація і маркування легованих сталей.

Легування (введення в сталь елементів, що поліпшують їхні властивості) здійснюється в процесі плавки додаванням легуючих елементів хрому, молібдену, нікелю, вольфраму, титану, ванадію, кобальту та інших елементів.

Класифікація легованих сталей

1. За якістю:

Якісні і високоякісні леговані сталі

2. За призначенням:

- конструкційні - застосовуються для виготовлення деталей машин і механізмів;

- інструментальні - застосовуються для виготовлення різних інструментів;

- спеціальні - сталі з особливими властивостями: електротехнічні, з особливими магнітними властивостями і ін.

Маркування сталей

Леговані сталі маркують великими літерами і цифрами. Легуючі елементи позначають літерами. Цифри перед літерами означають процентний вміст вуглецю (дві цифри — в сотих долях, одна цифра — в десятих). При вмісті вуглецю більше 1 % цифра не ставиться. Цифри після літер — середній вміст легуючих елементів (у відсотках). Якщо цифра після літери не проставлена, вміст легуючого елемента 1—1,5 %. Легуючі елементи мають умовні позначення, Позначаються буквами російського алфавіту.

Позначення легуючих елементів:

Х - хром, Н - нікель, М - молібден, В - вольфрам,

К - кобальт, Т - титан, А - азот (вказується в середині марки),

Г - марганець, Д - мідь, Ф - ванадій, С - кремній,

П - фосфор, Р - бор, Б - ніобій, Ц - цирконій,

Ю – алюміній

Леговані конструкційні сталі

Сталь 15Х25Н19ВС2

На початку марки вказується двухзначне число, що показує вміст вуглецю в сотих частках відсотка. Далі перераховуються легуючі елементи. Число, наступне за умовним позначення елемента, показує його вміст у відсотках,

Якщо число не вказане, то вміст елемента не перевищує 1,5%.

У зазначеній марці сталі міститься 0,15% вуглецю, 25% хрому, 19% нікелю, до 1,5% вольфраму, до 2% кремнію.

Для позначення високоякісних легованих сталей в кінці марки зазначається символ А.

Леговані інструментальні сталі

Сталь 9ХС, сталь ХВГ.

На початку марки вказується однозначне число, що показує вміст вуглецю в десятих частках відсотка. При вмісті вуглецю більше 1%, число не вказується,

Далі перераховуються легуючі елементи, із зазначенням їх змісту.

Деякі сталі мають нестандартні позначення.

Швидкорізальні інструментальні сталі

Сталь Р18

Р - індекс цієї групи сталей (від швидкий - швидкість). Зміст вуглецю більше 1%. Число показує вміст основного легуючого елемента - вольфраму.

У зазначеній сталі вміст вольфраму - 18%.

Якщо сталі містять легуючі елементи, то їх вміст вказується після позначення відповідного елемента.

шарикопідшипникові сталі

Сталь ШХ6, сталь ШХ15ГС

Ш - індекс цієї групи сталей. Х - вказує на наявність у сталі хрому. Подальше число показує вміст **хрому в десятих частках відсотка**, у зазначених сталях, відповідно, 0,6% і 1,5%. Також вказуються входять до складу сталі легуючі елементи. Зміст вуглецю більше 1%.

Найбільш поширені леговані сталі:

- конструкційні — 15Х, 20Х, 40Х, 45Х;
- інструментальні — ХВГ, 9ХС, ХВ5;
- швидкорізальні — Р12, Р9, Р18, Х23Р20С2;
- жаростійкі — Х8СМ;
- нержавіючі — 2Х13.

Використання легованих сталей дає можливість зменшити металомісткість машин і конструкцій, збільшити їх довговічність, а також виготовляти вироби з поліпшеними якостями щодо високих температур, навантажень та корозієстійкості. Проте леговані сталі дорожчі від конструкційних, їх одержання технологічно складніше. З-поміж них найефективніші технологічно мотивовані використання низьколегованих сталей, що спроможне забезпечити економію 18-20 % металу.

Для деяких високоякісних сталей є відхилення в позначеннях. Так, швидкорізальні сталі позначають літерою Р, цифра вказує на вміст в ній вольфраму, шарикопідшипникові сталі позначають буквами і цифрами (наприклад ШХ), де Ш - шарикопідшипникова з вмістом хрому в процентах.

Машинобудівні сталі спеціального призначення характеризуються їх механічними властивостями при низьких і високих температурах; фізичними, хімічними властивостями та використанням при експлуатації в особливих умовах (при температурах нижче 0 °С, високих, динамічних навантаженнях і т. ін.).

Сталі з особливими фізичними властивостями отримують внаслідок спеціального легування і термічної обробки, їх застосовують в основному в приладобудуванні, електронній, авіа- та космічній промисловостях.

Сталі з особливими хімічними властивостями (корозієстійкі) містять не менш як 12,5—13 % кремнію. Сталі з високим вмістом хрому і нікелю — стійкі в агресивних середовищах. Застосовують їх переважно в харчовій та хімічній промисловостях.

6. Випробування залізомістких матеріалів на твердість, міцність на розрив, втомна міцність і міцність на удар

Фізичні властивості металів: густина, тепло-та-електропровідність

Механічні властивості і способи визначення їх кількісних характеристик: твердість, в'язкість, втомна міцність

Твердість - це опір матеріалу проникненню в його поверхню стандартного тіла (індентора), не деформується при випробуванні.

Широке поширення пояснюється тим, що не потрібні спеціальні зразки.

Це неруйнівний метод контролю. Основний метод оцінки якості термічної обробки виробу. Про твердість судять або по глибині проникнення індентора (метод Роквелла), або за величиною відбитка від вдавнення (методи Бринелля, Віккерса, мікротвердості).

У всіх випадках відбувається пластична деформація матеріалу. Чим більше опір матеріалу пластичної деформації, тим вище твердість.

Найбільшого поширення набули методи Бринелля, Роквелла, Віккерса і мікротвердості. Схеми випробувань представлені на рис. 7.1.

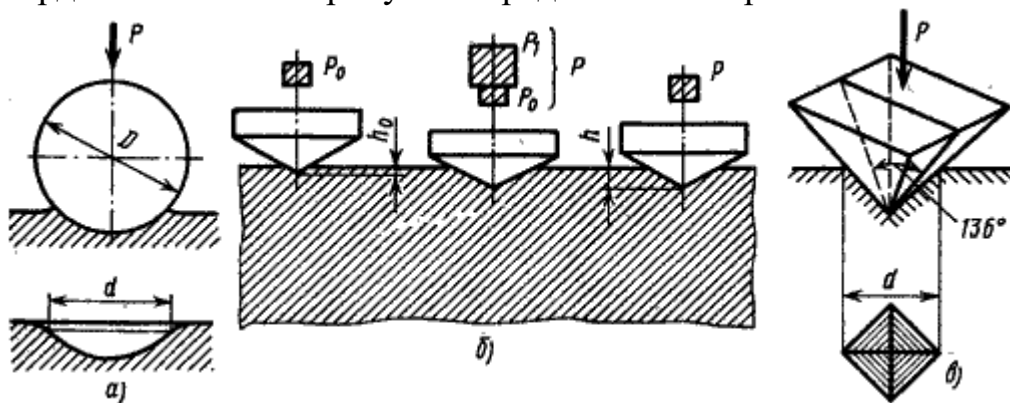


Рис. 7.1. Схеми визначення твердості: а - по Бринеллю, б - по Роквеллу, в - по Віккерсу

Твердість по Бринеллю (ГОСТ 9012)

Випробування проводять на твердомірі Бринелля (рис.7.1 а)

Як індентор використовується сталева загартована куля діаметром D 2,5, 5, 10 мм, в залежності від товщини виробу.

Тривалість витримки: для сталі і чавуну - 10 с, для латуні і бронзи - 30 с.

Отриманий відбиток вимірюється в двох напрямках за допомогою лупи Бринелля.

Твердість визначається як відношення прикладеного навантаження P до сферичної поверхні відбитка F :

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

Метод Роквелла ГОСТ 9013

Заснований на вдавлюванні в поверхню наконечника під певним навантаженням (рис. 7,1 б)

Індентор для м'яких матеріалів (до HB 230) - сталева кулька діаметром 1/16 "(1,6 мм), для більш твердих матеріалів - конус алмазний.

Навантаження здійснюється в два етапи. Спочатку прикладається попереднє навантаження (10 КТС) для щільного зіткнення наконечника зі зразком. Потім прикладається основне навантаження P_1 , на протязі деякого часу діє спільне робоче навантаження P . Після зняття основного навантаження визначають значення твердості за глибиною залишкового вдавнення наконечника під навантаженням.

В залежності від природи матеріалу використовують три шкали твердості

(табл. 7.1)

Шкала	Обозначение	Индентор	Нагрузка, кг			Область применения
			P0	P1	P2	
A	HRA	Алмазный конус < 1200	10	50	60	Для особо твёрдых материалов
B	HRB	Стальной закаленный шарик Ø1/16"	10	90	100	Для относительно мягких материалов
C	HRC	Алмазный конус < 1200	10	140	150	Для относительно твёрдых материалов

Метод Віккерса

Твердість визначається за величиною відбитка (рис.7.1 в).

Як індентор використовується алмазна чотиригранна піраміда.с кутом при вершині 136°.

Твердість розраховується як відношення прикладеного навантаження P до площі поверхні відбитка F :

$$HV = \frac{P}{F} = \frac{2P \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 1,8544 \frac{P}{d^2}$$

Навантаження P становить 5 ... 100 кгс. Діагональ відбитка g вимірюється за допомогою мікроскопа, встановленого на приладі.

Перевага даного способу в тому, що можна вимірювати твердість будь-яких матеріалів, тонкі вироби, поверхневі слої. Висока точність і чутливість методу.

Спосіб мікротвердості - для визначення твердості окремих структурних складових і фаз сплаву, дуже тонких поверхневих шарів (соті частки міліметра).

Аналогічний способу Віккерса. Індентор - піраміда менших розмірів, навантаження при вдавленні P складають 5 ... 500 гс

$$H_{200} = 1,854 \frac{P}{d^2}$$

Метод дряпання.

Алмазним конусом, пірамідою або кулькою наноситься подряпина, яка є мірою. При нанесенні подряпин на інші матеріали та порівнянні їх з мірою судять про твердість матеріалу.

Можна нанести подряпину шириною 10 мм під дією певного навантаження. Спостерігають за величиною навантаження, яка дає цю ширину.

Динамічний метод (по Шору)

Шарик кидають на поверхню з заданої висоти, він відскакує на певну величину. Чим більше величина відскоку, тим твердіше матеріал.

У результаті проведення динамічних випробувань на ударний вигин спеціальних зразків з надрізом (ГОСТ 9454) оцінюється в'язкість

матеріалів і встановлюється їх схильність до переходу з в'язкого стану в крихке.

В'язкість - здатність матеріалу поглинати механічну енергію зовнішніх сил за рахунок пластичної деформації.

Є енергетичною характеристикою матеріалу, виражається в одиницях роботи В'язкість металів і сплавів визначається їх хімічним складом, термічною обробкою та іншими внутрішніми факторами.

Також в'язкість залежить від умов, в яких працює метал (температури, швидкості навантаження, наявності концентраторів напруги).

Вплив температури.

З підвищенням температури в'язкість збільшується (див. рис. 7. 2).

Межа плинності σ_T істотно змінюється зі зміною температури, а опір відриву σ_{ot} не залежить від температури. При температурі вище T_v межа плинності менша опору відриву. При навантаженні спочатку має місце пластичне деформування, а потім - руйнування. Метал знаходиться у в'язкому стані.

При температурі нижче T_n опір відриву менше межі текучості. У цьому випадку метал руйнується без попередньої деформації, тобто перебуває в крихкому стані. Перехід з в'язкого стану в крихке здійснюється в інтервалі температур

Хладоломкістю називається схильність металу до переходу в крихке становище з пониженням температури.

Хладоломкими є залізо, вольфрам, цинк та інші метали, які мають об'ємноцентровану кубічну і гексагональну щільноупаковану кристалічну решітку.

Способи оцінки в'язкості.

Ударна в'язкість характеризує надійність матеріалу, його здатність чинити опір крихкому руйнуванню

Випробування проводять на квадратних зразках з надрізами певної форми і розмірів. Зразок встановлюють на опорах копра надрізом в сторону, протилежну удару ножа маятника, який піднімають на певну висоту (рис. 7.3)

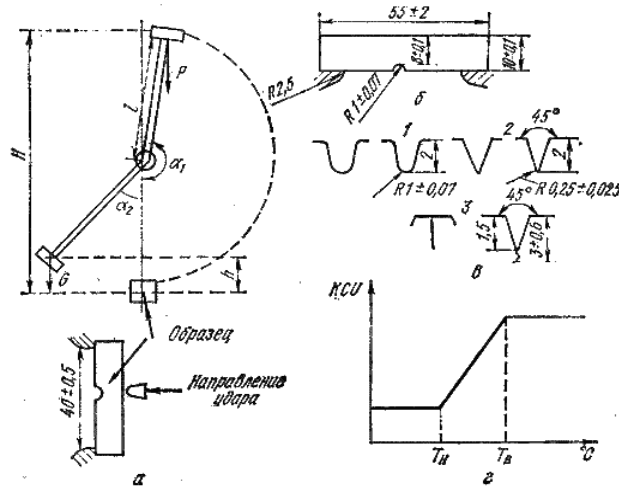


Рис.7.3. Схема випробування на ударну в'язкість: а - схема маятникового копра; б - стандартний зразок з надрізом; в - види концентраторів напружень; г - залежність в'язкості від температури

На руйнування зразка витрачається робота: $A = P(H - h)$

де: P - вага маятника, H - висота підйому маятника до удару, h - висота підйому маятника після удару.

Характеристикою в'язкості є ударна в'язкість (α_n), - питома робота руйнування.

$$\alpha_n = \frac{A}{F_0}$$

де: F_0 - площа поперечного перерізу в місці надрізу.

ГОСТ 9454 - 78 ударну в'язкість позначає KCV. KCU. KCT. KC - символ ударної в'язкості, третій символ показує вид надрізу: гострий (V), з радіусом закруглення (U), тріщина (T) (рис. 7,3 в)

Серійні випробування для оцінки схильності металу до хладоломкості та визначення критичних порогів хладоломкості.

Відчувають серію зразків при різних температурах і будують криві ударна в'язкість - температура ($\alpha_n - T$) (рис. 7,3 г), визначаючи пороги хладоломкості.

Поріг хладоломкості - температурний інтервал зміни характеру руйнування, є важливим параметром конструкційної міцності. Чим нижче поріг

хладоломкості, тим менш чутливий метал до концентраторів напружень (різкі переходи, отвори, ризики), до швидкості деформації.

Оцінка в'язкості по виду зламу.

При в'язкому стані металу в зламі більше 90% волокон, за верхній поріг хладоломкості T_v приймається температура, що забезпечує такий стан. При крихкому стані металу в зламі 10% волокон, за нижній поріг хладоломкості T_n приймається температура, що забезпечує такий стан. У техніці за поріг хладоломкості приймають температуру, при якій в зламі 50% в'язкої складової. Причому ця температура повинна бути нижче температури експлуатації виробів не менш ніж на 40 °С.

Випробування на виносівість (ГОСТ 2860) дають характеристики втомної міцності.

Втома - руйнування матеріалу при повторних знакозмінних напругах, величина яких не перевищує межі текучості.

Усталостная міцність - здатність матеріалу чинити опір втоми. Процес втоми складається з трьох етапів, відповідні цим етапам зони в зламі показані на рис.7.4.

1 - освіта тріщини в найбільш навантаженої частини перерізу, яка піддавалася мікродеформації і отримала максимальне зміцнення

2 - поступове поширення тріщини, гладка притерта поверхню

3 - остаточне руйнування, зона "доломіт", живе перетин зменшується, а справжнє напруження збільшується, поки не відбувається руйнування крихке або в'язке

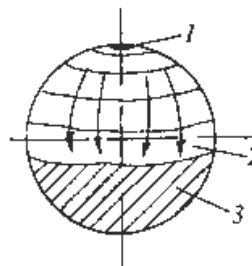


Рис 7.4. Схема зародження і розвитку тріщини при змінному вигині круглого зразка

Характеристики втомної міцності визначаються при циклічних випробуваннях "вигин при обертанні". Схема представлена на рис. 7.5.

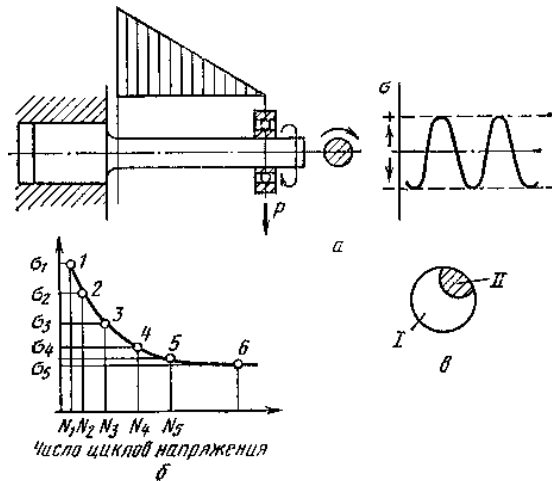


Рис. 7.5. Випробування на втоми (а), крива втоми (б)

Основні характеристики:

Межа винослівпсті (- при симетричному зміні навантаження - при несиметричному зміні навантаження) - максимальне напруження, витримується матеріалом за довільно велике число циклів навантаження N .

Обмежений межа витривалості - максимальна напруга, витримується матеріалом за певне число циклів навантаження або час.

Живучість - різниця між числом циклів до повного руйнування і числом циклів до появи втомної тріщини.

7. Технологічні властивості залізовмісних матеріалів

Технологічні властивості характеризують здатність матеріалу піддаватися різним способам холодної та гарячої обробки.

1. Ливарні властивості.

Характеризують здатність матеріалу до отримання з нього якісних виливків.

Рідкотекучість - характеризує здатність розплавленого металу заповнювати ливарну форму.

Усадка (лінійна та об'ємна) - характеризує здатність матеріалу змінювати свої лінійні розміри та об'єм в процесі затвердіння й охолодження. Для попередження лінійної усадки при створенні моделей використовують нестандартні метри.

Ліквация - неоднорідність хімічного складу за обсягом.

2. Здатність матеріалу до обробки тиском.

Це здатність матеріалу змінювати розміри і форму під впливом зовнішніх навантажень не руйнуючись.

Вона контролюється в результаті технологічних випробувань, що проводяться в умовах, максимально наближених до виробничих.

Листовий матеріал випробовують на перегин і витяжку сферичної лунки. Дріт відчують на перегин, скручування, на навивання. Труби відчують на роздачу, сплющування до певної висоти і вигин.

Критерієм придатності матеріалу є відсутність дефектів після випробування.

3. Зварюваність.

Це здатність матеріалу утворювати нероз'ємні з'єднання необхідної якості. Оцінюється за якістю зварного шва.

4. Здатність до обробки різанням.

Характеризує здатність матеріалу піддаватися обробці різних ріжучим інструментом. Оцінюється по стійкості інструменту і за якістю поверхневого шару.

8. Експлуатаційні властивості

Експлуатаційні властивості характеризують здатність матеріалу працювати в конкретних умовах.

1. Зносостійкість - здатність матеріалу чинити опір поверхневому руйнуванню під дією зовнішнього тертя.

2. Корозійна стійкість - здатність матеріалу чинити опір дії агресивних кислотних, лужних середовищ.

3. Жаростійкість - це здатність матеріалу чинити опір окисленню в газовому середовищі при високій температурі.

4. Жароміцність - це здатність матеріалу зберігати свої властивості при високих температурах.

5. Хладостойкість - здатність матеріалу зберігати пластичні властивості при негативних температурах.

6. Антифрикційність - здатність матеріалу прироблятися до іншого матеріалу.

Ці властивості визначаються спеціальними випробуваннями в залежності від умов роботи виробів.

При виборі матеріалу для створення конструкції необхідно повністю враховувати механічні, технологічні та експлуатаційні властивості.

9. Конструкційна міцність матеріалів

В результаті випробувань отримують характеристики:

- силові (межа пропорційності, межа пружності, межа плинності, межа міцності, границя витривалості);
- деформаційні (відносне подовження, відносне звуження);
- енергетичні (ударна в'язкість).

Всі вони характеризують загальну міцність матеріалу незалежно від призначення, конструкції і умов експлуатації. Висока якість деталі може бути досягнуто тільки при обліку всіх особливостей, які мають місце в процесі роботи деталі, і які визначають її конструкційну міцність.

Конструкційна міцність - комплекс міцнісних властивостей, які знаходяться в найбільшій кореляції зі службовими властивостями даного виробу, забезпечують тривалу і надійну роботу матеріалу в умовах експлуатації.

На конструкційну міцність впливають такі чинники:

- конструкційні особливості деталі (форма та розміри);
- механізми різних видів руйнування деталі;
- стан матеріалу в поверхневому шарі деталі;
- процеси, що відбуваються в поверхневому шарі деталі, що призводять до відмов при роботі.

Необхідною умовою створення якісних конструкцій при економному використанні матеріалу є врахування додаткових критеріїв, що впливають на конструкційну міцність. Цими критеріями є надійність і довговічність.

Надійність - властивість виробів, виконувати задані функції, зберігаючи експлуатаційні показники в заданих межах протягом необхідного часу або опір матеріалу крихкому руйнуванню.

Розвиток крихкого руйнування відбувається при низьких температурах, при наявності тріщин, при підвищених залишкових напругах, а також при розвитку втомних процесів та корозії.

Критеріями, що визначають надійність, є температурні пороги хладоломкості, опір поширенню тріщин, ударна в'язкість, характеристики пластичності, живучість.

Довговічність - здатність деталі зберігати працездатність до певного стану.

Довговічність визначається втомою металу, процесами зносу, корозії та іншими, які викликають поступове руйнування і не тягнуть аварійних наслідків, тобто умовами роботи.

Критеріями, що визначають довговічність, є втомна міцність, зносостійкість, опір корозії, контактна міцність.

Загальними принципами вибору критеріїв для оцінки конструкційної міцності є:

- аналогія виду напруженого стану в випробовуваних зразках і виробих;
- аналогія умов випробування зразків та умов експлуатації (температура, середа, порядок навантажування);
- аналогія характеру руйнування і виду зламу в зразку і виробі.

класифікація чавунів

Чавун відрізняється від сталі: за складом - більш високий вміст вуглецю і домішок, за технологічними властивостями - більш високі ливарні властивості, мала здатність до пластичної деформації, майже не використовується в зварних конструкціях.

В залежності від стану вуглецю в чавуні розрізняють:

- білий чавун - вуглець у зв'язаному стані у вигляді цементиту, в зламі має білий колір і металевий блиск;
- сірий чавун - весь вуглець або більша частина знаходиться у вільному стані у вигляді графіту, а у зв'язаному стані знаходиться не більше 0,8% вуглецю. Через велику кількість графіту його злам має сірий колір;
- половинчастий - частина вуглецю знаходиться у вільному стані у формі графіту, але не менше 2% вуглецю знаходиться у формі цементиту. Мало використовується в техніці.

10. Види термічної обробки металів.

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

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

Термічна обробка являє собою сукупність операцій нагрівання, витримки та охолодження, що виконуються в певній послідовності при певних режимах, з метою зміни внутрішньої будови сплаву і отримання потрібних властивостей (представляється у вигляді графіка в осях температура - .. Час, см рис 12.1).

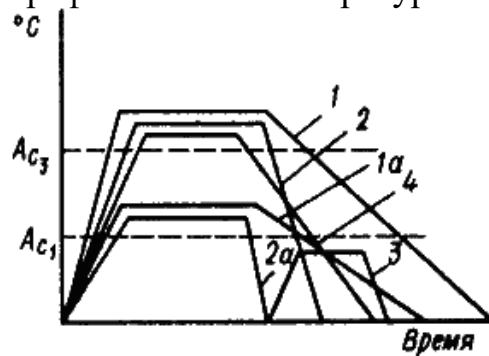


Рис.12.1. Графіки різних видів термообробки: відпалу (1, 1а), загартування (2, 2а), відпустки (3), нормалізації (4)

Розрізняють такі види термічної обробки:

1. **Відпал I роду** - можливий для будь-яких металів і сплавів.

Його проведення не обумовлено фазовими перетвореннями в твердому стані.

Нагрівання, при відпалі першого роду, підвищуючи рухливість атомів, частково або повністю усуває хімічну неоднорідність, зменшує внутрішнє напруження.

Основне значення має температура нагріву і час витримки. Характерним є повільне охолодження

Різновидами відпалу першого роду є:

- дифузійний;
- рекристалізаційний;
- відпал для зняття напруги після кування, зварювання, лиття.

2. **Відпал II роду** - відпал металів і сплавів, що зазнають фазові перетворення в твердому стані при нагріванні і охолодженні.

Проводиться для сплавів, в яких є поліморфні або евтектоїдних перетворення, а також мінлива розчинність компонентів у твердому стані.

Проводять відпал другого роду з метою отримання більш рівноважної структури та підготовки її до подальшої обробки. В результаті відпалу подрібнюється зерно, підвищуються пластичність і в'язкість, знижуються міцність і твердість, поліпшується оброблюваність різанням.

Характеризується нагріванням до температур вище критичних і дуже повільним охолодженням, як правило, разом з піччю (рис. 12.1 (1, 1a)).

3. **Загартування** - проводиться для сплавів, що зазнають фазові перетворення в твердому стані при нагріванні і охолодженні, з метою підвищення твердості і міцності шляхом утворення нерівноважних структур (сорбіт, троостит, мартенсит).

Характеризується нагріванням до температур вище критичних і високими швидкостями охолодження (рис. 12.1 (2, 2a)).

4. **Відпустка** - проводиться з метою зняття внутрішніх напружень, зниження твердості і збільшення пластичності і в'язкості загартованих сталей.

Характеризується нагріванням до температури нижче критичної А (рис. 12.1 (3)). Швидкість охолодження ролі не грає. Відбуваються перетворення, що зменшують ступінь нерівноважності структури загартованої сталі.

Термічну обробку поділяють на попередню і остаточну.

Попередня - застосовується для підготовки структури і властивостей матеріалу для наступних технологічних операцій (для обробки тиском, поліпшення оброблюваності різанням).

Остаточна - формує властивість готового виробу.

Перетворення, які відбуваються в структурі сталі при нагріві і охолодженні

Будь-який різновид термічної обробки складається з комбінації чотирьох основних перетворень, в основі яких лежать прагнення системи до мінімуму вільної енергії. Неправильний режим нагріву може привести або до перегріву, або до перепалу сталі.

Перегрів. Нагрівання доєвтектоїдних сталей значно вище температури призводить до інтенсивного росту зерна аустеніту. При охолодженні ферит виділяється у вигляді пластинчастих або голчастих кристалів. Така структура називається відманштеттовою структурою і характеризується зниженими механічними властивостями. Перегрів можна виправити повторним нагріванням до оптимальних температур з наступним повільним охолодженням.

Перепал має місце, коли температура нагріву наближається до температури плавлення. При цьому спостерігається окислення кордонів зерен, що різко знижує міцність сталі. Злам такої сталі кам'яноподібний. Перепал - невиправний брак.

Технологічні можливості і особливості відпалу, нормалізації, гартування та відпуску

При розробці технології необхідно встановити:

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

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

Нагрівання може здійснюватися в нагрівальних печах, палива або електричних, в соляних ваннах або в ваннах з розплавленим металом,

пропусканням через виріб електричного струму або в результаті індукційного нагріву.

З точки зору продуктивності, нагрівання з максимальною швидкістю зменшує окалінообразование, знеуглецювання і зростання аустенітного зерна. Однак необхідно враховувати перепад температур по перетину, що веде до виникнення термічних напружень. Якщо розтягуючі напруги перевищать межа міцності або межа плинності, то можливо викривлення або утворення тріщин.

Відпал і нормалізація. Призначення та режими

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

- поліпшити оброблюваність заготовок тиском і різанням;
- виправити структуру зварних швів, перегрітої при обробці тиском і лиття сталі;
- підготувати структуру до подальшої термічної обробки.

Характерно повільне охолодження зі швидкістю 30 ... 100 °C / ч.

Відпал першого роду.

1. Дифузійний (гомогенізований) отжиг. Застосовується для усунення ліквідації, вирівнювання хімічного складу сплаву.

У його основі - дифузія. В результаті нагрівання вирівнюється склад, розчиняються надлишкові карбіди. Застосовується, в основному, для легованих сталей.

Температура нагріву залежить від температури плавлення, $T_H = 0,8 T_{пл}$.

Тривалість витримки: годин.

2. Рекристалізаційний отжиг проводиться для зняття напружень після холодної пластичної деформації.

Температура нагріву пов'язана з температурою плавлення: $T_H = 0,4 T_{пл}$. Тривалість залежить від габаритів виробу.

3. Відпал для зняття напружень після гарячої обробки (лиття, зварювання, обробки різанням, коли потрібна висока точність розмірів).

Температура нагріву вибирається в залежності від призначення, знаходиться в широкому діапазоні: $T_H = 160 \dots 700^\circ\text{C}$.

Тривалість залежить від габаритів виробу.

Деталі прецизійних верстатів (ходові гвинти, високонавантажених зубчасті колеса, черв'яки) відпалюють після основної механічної обробки при температурі 570 ... 600°C протягом 2 ... 3 годин, а після остаточної механічної обробки, для зняття шліфувальних напружень - при температурі 160 ... 180°C протягом 2 ... 2,5 годин.

Відпал другого роду призначений для зміни фазового складу.

Температура нагріву і час витримки забезпечують потрібні структурні перетворення. Швидкість охолодження повинна бути такою, щоб встигли відбутися зворотні дифузійні фазові перетворення.

Є підготовчої операцією, якої піддають виливки, поковки, прокат. Відпал знижує твердість і міцність, покращує оброблюваність різанням середньо-і

високовуглецевих сталей. Подрібнюючи зерно, знижуючи внутрішні напруження і зменшуючи структурну неоднорідність сприяє підвищенню пластичності і в'язкості.

Залежно від температури нагрівання розрізняють відпал:

1. повний, з температурою нагріву на 30 ... 50 °C вище критичної температури A_3

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

Проводиться для доєвтектоїдних сталей для виправлення структури.

При такій температурі нагріву аустеніт виходить дрібнозернистий, і після охолодження сталь має також дрібнозернисту структуру.

2. неповний, з температурою нагріву на 30 ... 50 °C вище критичної температури A_1

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

Застосовується для заєвтектоїдних сталей. При такому нагріві в структурі зберігається цементит вторинний, в результаті відпалу цементит набуває сферичну форму (сфероїдизація). Отриманню зернистого цементиту сприяє попередня отжигу гаряча пластична деформація, при якій дробиться цементитна сетка. Структура з зернистим цементитом краще обробляються і мають кращу структуру після гарту. Неповний відпал є обов'язковим для інструментальних сталей.

Іноді неповний отжиг застосовують для доєвтектоїдних сталей, якщо не потрібно виправлення структури (сталь дрібнозерниста), а необхідно тільки знизити твердість для поліпшення оброблюваності різанням.

3. Циклічний або маятниковий отжиг застосовують, якщо після проведення неповного відпалу цементит залишається пластинчастим. У цьому випадку після нагріву вище температури A_1 слід охолодження до 680 оС, потім знову нагрів до температури 750 ... 760) оС і охолодження. В результаті отримують зернистий цементит.

4. Ізотермічний відпал - після нагріву до необхідної температури, виріб швидко охолоджують до температури на 50 ... 100 оС нижче критичної температури A_1 і витримують до повного перетворення аустеніту в перліт, потім охолоджують на спокійному повітрі. Температура ізотермічної витримки близька до температури мінімальної стійкості аустеніту.

В результаті одержують більш однорідну структуру, так як перетворення відбувається при однаковому ступені переохолодження. Значно скорочується тривалість процесу. Застосовують для легованих сталей.

5. Нормалізація. - Різновид відпалу. Термічна обробка, при якій виріб нагрівають до аустенітного стану, на 30 ... 50 оС вище A_3 або $A_{\text{ст}}$ з подальшим охолодженням на повітрі.

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

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

В результаті нормалізації отримують більш тонку будову евтектоїда (тонкий перліт або сорбіт), зменшуються внутрішні напруження, усуваються

вади, отримані в процесі попередньої обробки. Твердість і міцність трохи вище ніж після відпалу. В заевтектонічних сталях нормалізація усуває грубу сітку вторинного цементиту.

Нормалізацію частіше застосовують як проміжну операцію, поліпшує структуру. Іноді проводять як остаточну обробку, наприклад, при виготовленні сортового прокату.

Для низьковуглецевих сталей нормалізацію застосовують замість відпалу.

Для середньовуглецевих сталей нормалізацію або нормалізацію з високим відпуском застосовують замість гарту з високим відпусткою. У цьому випадку механічні властивості трохи нижче, але виріб піддається меншій деформації, виключаються тріщини.

Хіміко-термічна обробка сталі

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

Зміна хімічного складу поверхневих шарів досягається в результаті їх взаємодії з навколишнім середовищем (твердої, рідкої, газоподібної, плазмової), в якій здійснюється нагрів.

В результаті зміни хімічного складу поверхневого шару змінюються його фазовий склад і мікроструктура,

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

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

Дисоціація - отримання насичує елемента в активованому атомарному стані в результаті хімічних реакцій, а також випаровування. Наприклад, адсорбція - захоплення поверхнею деталі атомів насичує елемента.

Адсорбція - завжди екзотермічний процес, що призводить до зменшення вільної енергії.

Дифузія - переміщення адсорбованих атомів вглиб виробу.

Для здійснення процесів адсорбції і дифузії необхідно, щоб насичує елемент взаємодіяв з основним металом, утворюючи тверді розчини або хімічні сполуки.

Хіміко-термічна обробка є основним способом поверхневого зміцнення деталей.

Основними різновидами хіміко-термічної обробки є:

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

Призначення та технологія видів хіміко-термічної обробки: цементации, азотування нітроцементации і дифузійної металізації

Цементация

Цементация - хіміко-термічна обробка, яка полягає в дифузійному насиченні поверхневого шару атомами вуглецю при нагріванні до температури 900 ... 950 оС.

Цементатії піддають сталі з низьким вмістом вуглецю (до 0,25%).

Нагрівання виробів здійснюють в середовищі, легко віддає вуглець. Підібравши режими обробки, поверхневий шар насичують вуглецем до необхідної глибини.

Глибина цементатії (ч) - відстань від поверхні виробу до середини зони, де в структурі є однакові обсяги фериту та перліту (ч. = 1 ... 2 мм).

Ступінь цементатії - середній вміст вуглецю в поверхневому шарі (зазвичай, не більше 1,2%).

Більш високий вміст вуглецю призводить до утворення значних кількостей цементиту вторинного, який повідомляє шару підвищену крихкість.

На практиці застосовують цементацию в твердому і газовому карбюризаторе (насичуватися вуглецем середовищі).

Ділянки деталей, які не піддаються цементатії, попередньо покриваються міддю (електролітичним способом) або глиняного сумішшю.

Цементация в твердому карбюризаторі.

Майже готові вироби, з припуском під шліфування, укладають у металеві ящики і пересипають твердим карбюризатором. Використовується деревне вугілля з добавками вуглекислих солей BaCO_3 , Na_2CO_3 в кількості 10 ... 40%. Закриті ящики укладають в піч і витримують при температурі 930 ... 950 °С.

За рахунок кисню повітря відбувається неповне згоряння вугілля з утворенням окису вуглецю (CO), яка розкладається з утворенням атомарного вуглецю по реакції:

Утворені атоми вуглецю адсорбуються поверхнею виробів і дифундують вглиб металу. Недоліками даного способу є:

- значні витрати часу (для цементатії на глибину 0,1 мм витрачається 1:00);
- низька продуктивність процесу;
- громіздке обладнання;
- складність автоматизації процесу.

Спосіб застосовується в дрібносерійному виробництві.

Газова цементация.

Процес здійснюється в печах з герметичною камерою, наповненою газовим карбюризатором.

Атмосфера вуглецевих газів включає азот, водень, водяні пари, які утворюють газ-носії, а також окис вуглецю, метан та інші вуглеводні, які є активними газами.

Глибина цементатії визначається температурою нагріву і часом витримки.

Переваги способу:

- можливість отримання заданої концентрації вуглецю в шарі (можна регулювати вміст вуглецю, змінюючи співвідношення складових атмосфери газів);

- скорочення тривалості процесу за рахунок спрощення подальшої термічної обробки;
 - можливість повної механізації й автоматизації процесу.
- Спосіб застосовується в серійному і масовому виробництві.

Термічна обробка після цементації

В результаті цементації досягається тільки вигідне розподіл вуглецю по перетину. Остаточну формує властивості цементованном деталі подальша термообробка. Всі вироби піддають загартуванню з низьким відпусткою. Після гарту цементованном виріб набуває високу твердість і зносостійкість, підвищується межа контактної витривалості і межа витривалості при згині, при збереженні в'язкої серцевини.

Комплекс термічної обробки залежить від матеріалу і призначення виробу.

Азотування

Азотування - хіміко-термічна обробка, при якій поверхневі шари насичуються азотом.

Вперше азотування здійснив Чижевський І.П., промислове застосування - в двадцять років.

При азотуванні збільшуються не тільки твердість і зносостійкість, але також підвищується корозійна стійкість.

При азотуванні вироби завантажують в герметичні печі, куди надходить аміак NH_3 з певною швидкістю. При нагріванні аміак диссоціює по реакції: $2\text{NH}_3 \rightarrow 2\text{N} + 3\text{H}_2$. Атомарний азот поглинається поверхнею і дифундує всередину виробу.

Фази, що виходять в азотованого шарі вуглецевих сталей, не забезпечують високої твердість, і утворюється шар крихкий.

Для азотування використовують сталі, що містять алюміній, молібден, хром, титан. Нітриди цих елементів дисперсних і володіють високою твердістю і термічної стійкістю.

Типові азотіруемые сталі: 38ХМЮА, 35ХМЮА, 30ХТ2НЗЮ. Глибина і поверхнева твердість азотованого шару залежать від ряду факторів, з яких основні: температура азотування, тривалість азотування і склад азотіруемой сталі.

- В залежності від умов роботи деталей розрізняють азотування:
- для підвищення поверхневої твердості і зносостійкості;
 - для поліпшення корозійної стійкості (антикорозійне азотування).

У першому випадку процес проводять при температурі 500 ... 560 °С протягом 24 ... 90 годин, так як швидкість азотування становить 0,01 мм / ч. Вміст азоту в поверхневому шарі становить 10 ... 12%, товщина шару (ч) - 0,3 ... 0,6 мм. На поверхні отримують твердість близько 1000 НВ. Охолодження проводять разом з піччю в потоці аміаку.

Значне скорочення часу азотування досягається при іонному азотуванні, коли між катодом (деталлю) і анодом (контейнерної установкою) порушується тліючий розряд. Відбувається іонізація азотовмісна газу, і іони бомбардуючи поверхню катода, нагрівають його до температури насичення. Катодного

розпорошення здійснюється протягом 5 ... 60 хв при напрузі 1100 ... 1400 В і тиску 0,1 ... 0,2 мм рт. ст., робоча напруга 400 ... 1100 В, тривалість процесу до 24 годин.

Антикорозійне азотування проводять і для легованих, і для вуглецевих сталей. Температура проведення азотування - 650 ... 700 °С, тривалість процесу - 10:00. На поверхні утворюється шар - фази товщиною 0,01 ... 0,03 мм, який має високу стійкість проти корозії. (-Фаза - твердий розчин на основі нітриду заліза Fe₃N, що має гексагональну решітку).

Азотування проводять на готових виробах, що пройшли остаточну механічну і термічну обробку (гартування з високим відпуском).

Після азотування в серцевині вироби зберігається структура сорбіту, яка забезпечує підвищену міцність і в'язкість.

Ціанування і нітроцементация

Ціанування - хіміко-термічна обробка, при якій поверхню насичається одночасно вуглецем і азотом.

Здійснюється в ваннах з розплавленими ціаністими солями, наприклад NaCN з добавками солей NaCl, BaCl та ін При окисленні ціаністого натрію утворюється атомарний азот і окис вуглецю:

Глибина шару і концентрація в ньому вуглецю та азоту залежать від температури процесу та його тривалості.

Ціанірованого шар має високу твердість 58 ... 62 HRC і добре чинить опір зносу. Підвищуються втомна міцність і корозійна стійкість. Тривалості процесу 0,5 ... 2 години.

Високотемпературне ціанування - проводиться при температурі 950 ... 980 °С, супроводжується переважним насиченням стали вуглецем до 0,6 ... 1,2% (рідинна цементация). Вміст азоту в ціанірованного шарі 0,2 ... 0,6%, товщина шару 0,15 ... 2 мм. Після ціанування вироби піддаються гарту і низькому відпуску. Остаточна структура ціанірованного шару складається з тонкого шару карбонітридов Fe₂(C, N), а потім азотистий мартенсит.

У порівнянні з цементациєю високотемпературне ціанування відбувається з більшою швидкістю, призводить до меншої деформації деталей, забезпечує більшу твердість і опір зносу.

Низькотемпературне ціанування - проводиться при температурі 540 ... 600 °С, супроводжується переважним насиченням стали азотом

Проводиться для інструментів з швидкорізальних, високохромистих сталей, є остаточною обробкою.

Основним недоліком ціанування є отруйність ціаністих солей.

Нітроцементация - газове ціанування, здійснюється в газових сумішах з цементі газу і диссоційованного аміаку.

Склад газу температура процесу визначають співвідношення вуглецю та азоту в ціанірованного шарі. Глибина шару залежить від температури і тривалості витримки.

Високотемпературна нітроцементация проводиться при температурі 830 ... 950°C, для машинобудівних деталей з вуглецевих і малолегованої сталей при підвищеному вмісті аміаку. Завершальною термічною обробкою є гартування з низьким відпусткою. Твердість досягає 56 ... 62 HRC.

На ВА3і 95% деталей піддаються нітроцементации.

Низькотемпературної нітроцементации піддають інструмент з швидкорізальної сталі після термічної обробки (загартування та відпуску). Процес проводять при температурі 530 ... 570 °C, протягом 1,5 ... 3:00. Утворюється поверхневий шар товщиною 0,02 ... 0,004 мм з твердістю 900 ... 1200 HV.

Нітроцементация характеризується безпекою в роботі, низькою вартістю.

Дифузійна металізація

Дифузійна металізація - хіміко-термічна обробка, при якій поверхня сталевих виробів насичується різними елементами: алюмінієм, хромом, кремнієм, бором та ін.

При насиченні хромом процес називають хромуванням, алюмінієм - алітуванням, кремнієм - сіліцированием, бором - борированием.

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

При твердій дифузійній металізації металізатора є феросплав з додаванням хлористого амонію (NH_4Cl). В результаті реакції металізатора з HCl або Cl_2 утворюється з'єднання хлору з металом (AlCl_3 , CrCl_2 , SiCl_4), які при контакті з поверхнею дисоціюють з утворенням вільних атомів.

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

Газова дифузійна металізація проводиться в газових середовищах, які є хлоридами різних металів.

Дифузія металів протікає дуже повільно, так як утворюються розчини заміщення, тому при однакових температурах дифузійні шари в десятки і сотні разів тонше, ніж при цементации.

Дифузійна металізація - процес дорогий, здійснюється при високих температурах (1000 ... 1200 °C) протягом тривалого часу.

Одним з основних властивостей металізованих поверхонь є жаростійкість, тому жаростійкі деталі для робочих температур 950 ... 980 °C виготовляють з простих вуглецевих сталей з наступним алітуванням, хромуванням або сіліцированием. Алітування проводять при температурі 950-1050°C

Виключно високою твердістю (2000 HV) і високим опором зносу через утворення боридів заліза (лютій FeB_2) характеризуються борованої шари, але ці шари дуже крихкі.