

Тема 1. Загальні відомості про метали та сплави

Кристалічна будова металів

1. Атомно-кристалічна будова металів

У техніці під металами розуміють як технічно чисті метали, так і їхні сплави.

Застосування металів потребує знання їхніх механічних, фізичних і технологічних властивостей. Вони залежать не тільки від складу металевих матеріалів, а й від їхньої будови (структури). Тому, змінюючи будову металів термічною або механічною обробкою, можна значно змінити і їхні властивості.

Метали – один з класів конструкційних матеріалів, що характеризується певним комплексом властивостей:

- металевий блиск (добра відбивна здатність);
- пластичність;
- висока теплопровідність;
- висока електропровідність.

Всі метали, що тверднуть в нормальних умовах, являють собою кристалічні речовини, тобто розташування атомів в них характеризується певним порядком – періодичністю, як за різними напрямками, так і за різними площинами. Цей порядок визначається поняттям **кристалічної решітки**.

Іншими словами, кристалічні ґрати – це уявні просторові ґрати, у вузлах яких розташовуються частинки, які утворюють тверде тіло.

Усі метали в твердому стані мають кристалічну будову. Розташування атомів (іонів) у кристалічній речовині звичайно зображають у вигляді елементарної комірки, яка є найменшим комплексом атомів. Багаторазове повторювання її відображає розташування атомів в об'ємі всієї речовини, тобто її кристалічну решітку.

Найхарактернішими для металів є три типи кристалічних комірок:

- об'ємцентрована кубічна (ОЦК) з розміщенням атомів у вершинах і одного атома у центрі об'єму куба;
- гранецентрована кубічна (ГЦК) з розміщенням атомів у вершинах і в центрі кожної грані куба;
- гексагональна щільноупакована (ГЩУ) з розміщенням атомів у вершинах і в центрі шестикутних основ призми і трьох атомів усередині призми.

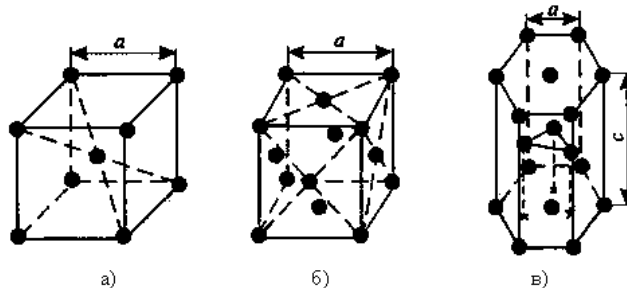


Рис. 8.1. Основні типи кристалічних ґраток:
а – ОЦК; б – ГЦК; в - ГЩУ

У системі ОЦК, наприклад, кристалізуються Fe, Nb, Cr, Mo, W; у системі ГЦК - Cu, Ni, Pb, Ag; у системі ГЩУ - Mg, Zn, Ti, Cd та ін.

Відомо 4 основних типи міжатомних зв'язків:

- металічний – характеризується тим, що при зближенні атомів валентні електрони втрачають приналежність до окремих атомів і стають загальними, утворюючи так званий “електронний газ”. Зв'язок в цьому випадку визначається електростатичним притяганням між позитивно зарядженим іонним скелетом і негативно зарядженим електронним газом;

- іонний зв'язок проявляється у випадку так званих іонних кристалів (хімічні з'єднання типу NaCl, KBr). В цьому випадку утворення зв'язку відбувається шляхом передачі атома одного елемента свого валентного електрона атому іншого елемента. Перехід електрона від одного елемента до іншого призводить до утворення позитивного і негативного іонів, які притягаються один до одного електростатично;

- ковалентний зв'язок частіше проявляється при утворенні молекул з атомів одного елемента (н-д, H_2 , Cl_2 , O_2). Цей тип зв'язку проявляється шляхом об'єднання валентних електронів двох атомів, які переходять на загальну орбіту;

- міжмолекулярний (ван-дер-ваальсний) зв'язок відбувається між нейтральними молекулами. Сили притягання і відштовхування в цьому випадку також мають електромагнітну і квантову природу. Дія сил Ван-дер-Ваальса доволі слабка, тому молекулярні з'єднання мають низьку температуру плавлення.

2. Анізотропія. Дефекти кристалічної будови

У різних кристалографічних площинах, проведених через центри атомів у кристалічних решітках, число атомів і відстані між ними неоднакові. У зв'язку з цим властивості монокристалів у різних напрямках неоднакові. Таке явище називається **анізотропією**.

Анізотропія виявляється в неоднаковості опорів монокристала електричного струму і швидкості розчинення в хімічних реактивах, у відмінності механічних властивостей. Наприклад, міцність зразків, вирізаних у різних напрямках з монокристала міді, відрізняється приблизно в 3 рази, а пластичність - більше ніж у 5 разів.

Реальні метали є тілами полікристалічними, тобто складаються з великої кількості порізного орієнтованих у просторі кристалів (зерен). Тому властивості таких металів у будь-якому напрямі усереднені, однакові. Проте в тих випадках, коли обробка металів сприяє переважному орієнтуванню окремих кристалів (наприклад, при прокатуванні, куванні), полікристалічні метали стають також анізотропними. Так, міцність зразків, вирізаних з листа вздовж і впоперек напрямку прокатування, різна; температурний коефіцієнт лінійного розширення листа з цинку залежно від напрямку прокатування може відрізнятися в 1,5...2 рази. Кристалічна будова, яку було описано вище, є ідеальною. Насправді ж вона має багато дефектів - точкових, лінійних і поверхневих.

Точкові дефекти (рис. 8.2, *a*) характеризуються малим розміром у всіх трьох вимірах. До цих дефектів належать вакансії - вільні вузли 1 у кристалічній решітці, атоми 2, зміщені в простір між вузлами, і атоми 3 домішок.

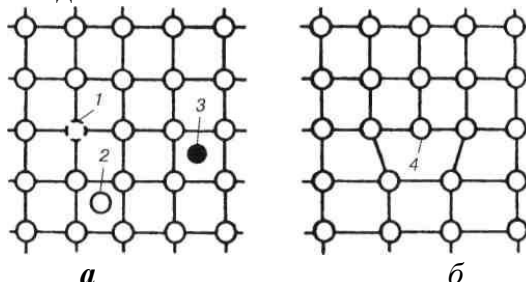


Рис. 8.2. Дефекти кристалічної будови металів

Лінійні дефекти мають малий розмір тільки в двох вимірах. Основний вид цих дефектів - це дислокації. На рис. 8.2, *б* подано так звану крайову дислокацію 4, яка становить край "зайвої" кристалографічної півплощини. При іншому характері зміщення атомів може утворитися складніша дислокація - гвинтова. Дислокації утворюються в процесі твердіння і особливо при деформації металу.

Поверхневі дефекти характеризуються малим розміром тільки в одному напрямі. Звичайно вони утворюються на границях зерен, на вільних поверхнях тощо.

Дефекти кристалічної будови, зокрема дислокації, відіграють велику роль у пластичній деформації, зумовлюючи значні зміни у властивостях металів. Точкові дефекти виявляються більше в процесах, пов'язаних із переміщенням (дифузією) атомів.

3. Поліморфізм металів

У деяких металів (Fe, Sn, Ti та ін.) при зміні температури відбувається перебудова атомів у просторі, тобто змінюється форма кристалічної решітки. Існування тієї самої речовини в різних кристалічних формах (модифікаціях) називають поліморфізмом, а перехід з однієї модифікації в іншу -- поліморфним перетворенням.

Поліморфні перетворення (як і перехід з твердого в рідкий стан і навпаки, втрата магнітних властивостей та деякі інші явища) супроводжуються тепловим ефектом -- виділенням або поглинанням тепла. Тому виявити їх можна за температурними зупинками -- критичними точками -- при побудові кривих нагрівання (охолодження).

Окремі поліморфні модифікації позначають буквами грецького алфавіту: б, в, г, д і т. д., які додають до назв металів, наприклад: б-залізо, в- олово, або до їх символів: Fe-б, Sn-в. При цьому буквою б позначають модифікацію, яка існує при температурі, нижчій за температуру першого поліморфного перетворення.

При поліморфних перетвореннях змінюється не тільки будова кристалічної решітки металу, а й його властивості -- об'єм, пластичність, здатність розчиняти в собі різні домішки та ін. Так, пластичне «біле» олово є його високотемпературною в-модифікацією, тоді як б-модифікація, що існує при температурі, нижчій за 18° С, являє собою крихкий порошок і належить навіть не до металів, а до напівпровідників. Плутоній утворює шість різноманітних кристалічних форм. Дві з них відзначаються аномальними властивостями: від'ємним коефіцієнтом теплового розширення (із зростанням температури метал не розширюється, а стискається), при найбільш високотемпературному поліморфному перетворенні густина плутонію змінюється з 17,7 до 19,8 г/см³.

Поліморфізм металів має велике практичне значення, оскільки він багато в чому визначає поведінку і властивості металів при механічній і термічній обробках, роботі в умовах низьких та високих температур [

Діаграма стану (діаграма фазової рівноваги) сплавів «залізо-вуглець» — графічне відображення фазового стану сплавів заліза з вуглецем в залежності від їх хімічного складу і температури. Фазова діаграма стану «залізо-вуглець» є фундаментом науки про сталь і чавун, як сплави заліза з вуглецем.

Вуглець із залізом утворює хімічну сполуку Fe₃C (цементит) або може перебувати у сплаві у вільному стані у вигляді графіту. Відповідно є дві діаграми сплавів «залізо-вуглець»: цементитна і графітна. Оскільки на практиці застосовують сплави заліза із вмістом вуглецю до 6,67% (що відповідає вмісту вуглецю у цементиті), то зазвичай розглядається частина діаграми стану від чистого заліза до вмісту вуглецю 6,67%, що відповідає цементиту і вона носить назву «цементитна». Оскільки цементит фаза метастабільна, то і відповідна діаграма називається метастабільною (суцільні лінії на рисунку).

Для сірих чавунів і графітизованих сталей слід розглядати стабільну діаграму «залізо-графіт» (Fe-Гр) оскільки саме графіт є стабільною фазою. Цементит утворюється набагато швидше графіту і в багатьох сталях і білих чавунах може існувати досить довго. У сірих чавунах графіт існує обов'язково. На рисунку тонкими пунктирними лініями показані лінії стабільної рівноваги (тобто за участю графіту), там де вони відрізняються від ліній метастабільної рівноваги (за участю цементиту), а відповідні точки позначені штрихом.

Фази діаграми «залізо-вуглець»

1. Рідка фаза — однорідний розчин вуглецю у розплавленому залізі. У рідкому стані залізо добре розчиняє вуглець в будь-яких пропорціях з утворенням однорідної рідкої фази.

2. Ферит — твердий розчин проникнення вуглецю в α-залізі (α-ферит) з ОЦК (об'ємно-центрованою кубічною решіткою) чи у γ-залізі (γ-ферит) з ГЦК (гранецентрованою кубічною решіткою).

Ферит має змінну граничну розчинність вуглецю: мінімальну — 0,006 % при кімнатній температурі (точка Q), максимальну — 0,022 % при температурі 723 °С (точка P). Атоми вуглецю розташовані у центрі грані чи на середині ребер куба, а також у дефектах решітки.

При температурі понад 1392 °С існує γ-ферит (високотемпературний ферит), з граничною розчинністю вуглецю близько 0,1 % за температури 1493 °С (точка H).

Властивості фериту наближені до властивостей чистого заліза. Він є м'яким (твердість — до 130 НВ; границя міцності при розтяганні $\sigma_B = 250...300$ МПа; відносне видовження $\delta = 30...40$ %), пластичним і магнітним до 768 °С матеріалом.

3. Аустеніт — твердий розчин проникнення вуглецю в γ -залізі з ГЦК (гранецентрованою кубічною) решіткою. Атоми вуглецю займають місце у центрі гранецентрованої кубічної решітки.

Аустеніт має змінну граничну розчинність вуглецю: мінімальну — 0,8 % при температурі 727 °С (точка S), максимальну — 2,14 % при температурі 1147 °С (точка E). Аустеніт має твердість 200...250 НВ, пластичний і немагнітний.

При розчиненні інших елементів в аустеніті або в фериті змінюються властивості і температурні межі їх існування.

4. *Цементит* (Fe_3C) — хімічна сполука заліза з вуглецем (карбід заліза), зі складною ромбічною кристалічною решіткою, містить вуглецю 6,67%. Він твердий (понад 800 НВ) і крихкий. Цементит фаза метастабільна і при тривалому нагріванні самовільно розкладається з виділенням графіту.

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

- цементит первинний — виділяється з рідини у вигляді великих пластинчатих кристалів;
- цементит вторинний — виділяється з аустеніту і розташовується у вигляді сітки навколо зерен аустеніту, що після евтектоїдного перетворення стануть зернами перліту;
- цементит третинний — виділяється з фериту і у вигляді дрібних включень розташовується біля границь феритних зерен;
- цементит евтектичний — спостерігається лише у білих чавунах
- цементит евтектоїдний має пластинчасту форму і є складовою частиною перліту.

Вплив на механічні властивості сплавів робить форма, розмір, число і розміщення включень цементиту, що дозволяє на практиці для кожного конкретного застосування сплаву домагатися оптимального поєднання твердості, міцності, стійкості до крихкого руйнування і т. п.

5. *Графіт* — фаза, що складається виключно з вуглецю із шаруватою гексагональною решіткою. Густина графіту (2,3) менша за густину решти фаз (близько 7,5...7,8) і це сповільнює його утворення, що приводить до виділення цементиту при швидкому охолодженні. Утворення графіту зменшує усадку при кристалізації, графіт виконує роль мастила при терті, зменшуючи знос, сприяє розсіюванню енергії вібрацій.

Графіт завжди присутній в сірих чавунах та його різновиду — високоміцних чавунах. Графіт має форму великих крабоподібних (зігнутих пластинчастих) включень (звичайний сірий чавун) або сферодів (високоміцний чавун), а також присутній і у деяких марках сталі (графітизована сталь).

Характерні лінії діаграми

ACD — ліквідус; AECF — солідус. Вище лінії ACD сплави системи перебувають у рідкому стані. По лінії AC з рідкого розчину починають випадати кристали твердого розчину вуглецю в γ -залізі, який називається аустенітом, отже, в області ACE буде суміш двох фаз — рідкого розчину і аустеніту; по лінії CD з рідкого розчину починають випадати кристали цементиту; в області DCF міститься суміш двох фаз — рідкого розчину і цементиту.

Перетворення у твердому стані (вторинна кристалізація) відбувається по лініях GSE, PSK і GPQ. Перетворення у твердому стані відбуваються внаслідок переходу заліза з однієї модифікації в іншу, а також у зв'язку із зміною розчинності вуглецю в залізі.

В області діаграми AGSE існує аустеніт. При охолодженні сплавів аустеніт розпадається з виділенням по лінії GS фериту (твердий розчин вуглецю в α -залізі), а по лінії SE — вторинного цементиту (хімічна сполука Fe_3C). В області діаграми GSP міститься суміш двох фаз — фериту і аустеніту, а в області SE_1 — суміш вторинного цементиту і аустеніту. По лінії PSK відбувається розпад аустеніту з утворенням перліту; тому ця лінія називається лінією остаточного перетворення аустеніту в перліт або перлітною.

Характерні точки

У точці С при вмісті 4,3 % вуглецю і температурі 1147 °С відбувається одночасно кристалізація аустеніту і цементиту і утворюється їх тонка механічна суміш евтектика, яка називається ледебуритом. Точку С називають евтектичною точкою. Ледебурит є у всіх

сплавах, які містять 2,14...6,67 % вуглецю. Ці сплави є чавунами. Точка E відповідає граничному насиченню заліза вуглецем (2,14 %). Сплави, які лежать ліворуч від цієї точки, належать до сталей.

У точці S при вмісті 0,8 % вуглецю і температурі 727 °C аустеніт розпадається і кристалізується тонка механічна суміш фериту та цементиту вторинного — евтектоїд, який називається перлітом. Провівши аналіз перетворень на діаграмі стану «залізо-цементит», можна зробити висновок про структуру сталей та чавунів у нормальних умовах. Сталі із вмістом вуглецю до 0,8 % мають структуру ферит + перліт; із вмістом 0,8 % вуглецю — чистий перліт; із вмістом від 0,8 до 2,14 % вуглецю — перліт + цементит вторинний. Чавуни із вмістом від 2,14 до 4,3 % вуглецю мають структуру перліт + цементит вторинний + ледебурит; із вмістом 4,3 % вуглецю — чистий ледебурит; із вмістом вуглецю від 4,3 до 6,67 % — цементит первинний і ледебурит.

Координати характерних точок:

- A: (0 %/1536 °C) B: (0,53 %/1492 °C) C: (4,3 %/1147 °C) D: (6,67 %/1320 °C) E: (2,06 %/1147 °C)
- F: (6,67 %/1147 °C) G: (0 %/911 °C) H: (0,1 %/1493 °C) I: (0,16 %/1493 °C) K: (6,67 %/723 °C)
- N: (0 %/1392 °C) P: (0,022 %/723 °C) S: (0,8 %/723 °C) Q: (0,002 %/20 °C) M: (0 %/769 °C)
- S': (0,69 %/738 °C) E': (2,03 %/1153 °C) C': (4,25 %/1153 °C)

