**1. Поняття про сплав**

**Сплав** цескладна речовина, отримана сплавленням двох або більше компонентів, переважно металевих. Сплави можна отримати також плазмовим напилюванням, спіканням при високих температурах порошків, спресованих із різних компонентів, та іншими методами. ***Необхідною умовою*** для будь-якого методу виготовлення сплавів є взаємна дифузія атомів компонентів. Ця умова найлегше задовольняється тоді, коли компоненти перебувають у рідкому стані й утворюють однорідні розчини на атомному рівні. Під час кристалізації залежно від фізико-хімічних властивостей компонентів їх атоми взаємодіють. Внаслідок такої взаємодії формуються ***структури*** у вигляді:

* твердого розчину заміщення або проникнення;
* хімічної сполуки;
* механічної суміші з різнорідних кристалів тощо.

**2. Тверди розчини**

**Тверді розчини** є кристалічними фазами змінного складу. Атоми розчиненого елементу В розміщуються в кристалічних ґратках розчинника - елементу А, або заміщаючи атоми у вузлах ґраток, або упроваджуючись в міжвузловини-пори. ***За характером розподілу*** атомів розчиненої речовини в кристалічних ґратках розчинника розрізняють тверді розчини:

* заміщення;
* проникнення ;
* віднімання.

***Твердий розчин заміщення*** це коли атоми розчиненого компонента В (рис. 18.1, а) заміщують частину атомів компонента-розчинника А в його кристалічній ґратці. Кількість заміщених атомів може змінюватись у широкому діапазоні.

Залежно від цього розрізняють тверді розчини з необмеженою і з обмеженою розчинністю. Якщо атоми одного компонента заміщує необмежена кількість (від 0 до 100 %) атомів іншого компонента, то утворюється ***необмежений твердий розчин заміщення***. Згідно з дослідженнями Юма-Розері, для утворення такого розчину необхідно вибрати компоненти, в яких:

* однаковий тип елементарної кристалічної комірки;
* різниця розмірів атомних радіусів не перевищує 8...15 %;
* близька будова валентних атомних рівнів компонентів.



Рисунок 18.1 - Елементарна кристалічна комірка твердих розчинів заміщення (а) та проникнення (б): А - атом компонента-розчинника, В - атом розчиненого компонента

У деяких випадках навіть за виконання перелічених умов необмежені тверді розчини не формуються.

Необмежені тверді розчини утворюють такі пари компонентів: мідь - золото, мідь - нікель, γ-залізо - вольфрам, ванадій - титан та інші.

Якщо компоненти не відповідають переліченим вище вимогам, вони можуть утворювати ***обмежені тверді розчини заміщення***. Тоді розчинність одного компонента в іншому буде зменшуватись зі збільшенням різниці атомних радіусів компонентів. Як правило, зі зниженням температури така розчинність зменшується. Обмежена розчинність можлива навіть за наявності компонентів із різними типами кристалічних комірок. У твердих розчинах заміщення атоми розчиненого компонента розподіляються переважно невпорядковано.

Тверді розчини бувають ***упорядковані та неупорядковані*** (рис. 18.2)



Рисунок 18.2 - Кристалічна решітка твердого розчину: упроядковаго (а) та неупорядкованого (б)

Окремі тверді розчини заміщення під час повільного охолодження або тривалого нагрівання при певних температурах утворюють упорядковані тверді розчини, в яких атоми компонентів займають чітко визначені положення у вузлах просторової кристалічної ґратки. Умовою повної впорядкованості атомів компонентів є співвідношення між їх кількістю, що визначається цілими числами, як, наприклад, 1:1, 1:2, 1:3 і т.д. Тоді сплав із упорядкованим розташуванням атомів можна умовно приписати хімічній сполуці, зокрема СuZn, СuАu, СuАu. Коректніше впорядковані тверді розчини слід розглядати як проміжні структури між твердими розчинами й хімічними сполуками.

Коли відхилення від поданих вище співвідношень незначні, маємо лише часткову впорядкованість. Під час нагрівання вона поступово зменшується і навіть зовсім зникає.

Виникнення і зникнення впорядкованості атомів супроводжується зміною властивостей сплаву. Впорядковані тверді розчини порівняно з невпорядкованими характеризуються підвищеними твердістю, міцністю й електропровідністю, проте зниженою пластичністю.

***Т******верді розчини проникнення*** утворюються тоді, коли атоми розчиненого компонента В (див. рис. 18.1, б) можуть перебувати в міжатомних порожнинах просторової кристалічної ґратки компонента розчинника А.

Умовою для утворення твердого розчину проникнення є розмірний фактор у вигляді співвідношення:

* (18.1)
* - радіус прониклого атома неметалу; - радіус атома металу.

Зважаючи на невеликі розміри порожнин кристалічної ґратки металу-розчинника, можна стверджувати, що в них можуть перебувати лише атоми неметалів з малими розмірами (Карбон, Нітроґен, Бор).

Зазначимо, що в металах з ГЦК і ГЩУ комірками розмір найбільшої міжатомної порожнини становить 0,41 і в металах з ОЦК коміркою - відповідно 0,29. Ось чому метали з ОЦК коміркою практично не утворюють твердих розчинів проникнення. Тверді розчини проникнення бувають тільки ***обмеженими*,** концентрація розчиненого компонента в них практично не перевищує 2 %. У твердому розчині проникнення Карбону в Ферумі з ГЦК коміркою - *аустеніті* - максимальна розчинність становить 2,14 % С.

Утворення твердих розчинів супроводжується зміною параметрів кристалічної комірки металу-розчинника, з чим пов'язують зміну властивостей твердого розчину. Тверді розчини проникнення мають спотворенішу кристалічну ґратку, ніж тверді розчини заміщення. Тому зі збільшенням концентрації компонента проникнення в них сильніше зростають твердість і міцність при одночасному зменшенні пластичності. В металознавстві прийнято позначати компоненти великими літерами латинського алфавіту (А, В, С), тверді розчини - малими літерами грецького алфавіту (α, β, γ), а впорядковані тверді розчини - α', β', γ'.

**3. Хімічні сполуки**

**Хімічна сполука** найчастіше утворюється з елементів, які істотно відрізняються за будовою і властивостями. Співвідношення кількості атомів елементів, що входять до складу сполуки, строго визначене й виражається простою формулою (де А і В - хімічні елементи (компоненти), а *m* i n- прості цілі числа). Елементарна кристалічна комірка хімічної сполуки відмінна від кристалічних комірок компонентів, що її утворили (рис. 18.3). Хімічні елементи в ній займають строго визначені положення. Властивості хімічної сполуки істотно відрізняються від властивостей компонентів.



Рисунок 18.3 - Кристалічна решітка хімічної сполуки

Переважно хімічним сполукам властива низька пластичність і висока твердість, яка істотно перевищує твердість компонентів. На відміну від твердих розчинів, хімічні сполуки мають сталу температуру плавлення (дисоціації).

**4. Механічні суміші**

**Механічна суміш** складається із різнорідних кристалів. Така структура утворюється тоді, коли під час кристалізації сили взаємодії між однорідними атомами більші, ніж сили взаємодії між різнорідними атомами. Переважно в кристалічній ґратці одного компонента розчиняються в обмеженій кількості атоми іншого компонента. Тоді мікроструктура сплаву у вигляді механічної суміші складається зі зерен твердого розчину α та зерен твердого розчину β (рис. 18.4).

Коли взаємною розчинністю компонентів можна знехтувати, умовно вважають, що механічна суміш складається зі зерен компонента А й зерен компонента B.



Рисунок 18.4 - Схема мікроструктури механічної суміші: α - зерна твердого розчину компонента В у компоненті А; β - зерна твердого розчину компонента А в компоненті В

**5. Поняття про діаграми стану**

**Діаграма стану** це графічне зображення стану сплавів залежно від їх хімічного складу й температури. Вона повинна будуватися в координатах, що пов'язують концентрацію з температурою, і в цих координатах повинна містити лінії, які визначають зміни фаз в сплавах.

Побудову діаграми стану проводять в умовах, максимально близьких до рівноважних. ***Рівноважний стан*** характеризується мінімальною вільною енергією і виникає під час дуже повільного охолодження або нагрівання. Відхід від рівноважних умов зумовлює нагромадження у сплаві надлишку вільної енергії і водночас певні зміни у його структурі.

Діаграми стану несуть цінну інформацію про температуру плавлення (кристалізації) і про наявність або відсутність структурних перетворень у твердому стані. Діаграми знаходять широке практичне застосування у промисловості (ливарне виробництво, гаряча обробка металів тиском, зварювальне виробництво, термічна та хіміко-термічна обробки, обґрунтування вибору того чи іншого сплаву для конкретних умов експлуатації тощо).

**6. Правило фаз**

**Правило фаз** (Гіббса) виражає залежність між кількістю ступенів вільності С, компонентів К і фаз Ф, що перебувають у рівновазі, й у загальному вигляді описується рівнянням:

* С = К - Ф + 2 , (18.2)
* 2 - кількість зовнішніх змінних параметрів (температура й тиск).

***Фаза*** це однорідна (гомогенна) частина сплаву, яка має певний хімічний склад, кристалічну будову (виняток становить рідкий стан) і властивості. В металевих сплавах фазами можуть бути хімічні елементи, тверді й рідкі розчини на їх основі та хімічні сполуки.

Очевидно, що фазами системи можуть бути або чисті елементи, або хімічні сполуки, або розчини і при цьому окремо в кожному з можливих фізичних (агрегатному або поліморфному) стані.

Наприклад, у сплаві, що представляє ***систему із компонентів - металів А і В*** як фази, взагалі кажучи, ***можуть бути***:

* самі компоненти: 1) твердий *А*; 2) рідкий *А*; 3) твердий *В*; 4) рідкий *В*; 5) кожна з їх алотропічних модифікацій;
* їх розчини (А:В):1) рідкий, 2) твердий з можливими його модифікаціями;
* хімічні сполуки типу АmВn,кількість яких також може бути різним залежно від природи компонентів і які також можуть утворювати в свою чергу окремі фази: 1) у рідкому і 2) у твердому вигляді з можливими модифікаціями.

Нарешті в загальному випадку можна мати ще і газоподібну фазу (пари).

***Система*** - це будь-яка речовина, що складається із компонента або сплаву заданого складу, чи сукупності нескінченно великої кількості сплавів, утворених певними компонентами. Система характеризується температурою і масовими частками компонентів. Система може бути простою і складною. ***Проста система*** складається з одного якого-небудь хімічного індивіду (чистого елементу або хімічної сполуки): всі перетворення, що можуть при цьому відбуватися у простій системі, можуть полягати лише у фізичних змінах: переході з твердого в рідкий або газоподібний стан, з однієї алотропічної модифікації в іншу і т.п. У ***складній системі*** ми маємо вже два або декілька хімічних індивідів, і в ній окрім фізичних змін можуть спостерігатися і хімічні взаємодії (утворення твердих розчинів, хімічних сполук і т. п.), так що перетворення, що відбуваються в цих системах, можуть бути як фізичними, так і хімічними, супроводжуваними зміною складу або концентрації тіл, що утворюються. Наприклад, якщо ми візьмемо сплав, що складається з двох металів (скажемо Рb і Sb), то тут у нас буде вже складна система і перетворення, що здійснюється в ній, полягатимуть не тільки у тому, що метали плавитимуться (або випаровуватися), але також і у тому, що вони можуть взаємно розчинятися один в одному, утворюючи розчин деякої концентрації, або навпаки можуть виділятися з розчину в чистому вигляді.

***Компонент системи*** - це речовина, що утворює сплав. До компонентів належать хімічні елементи або стійкі хімічні сполуки. Очевидно, що в простій системі повинен бути один компонент, у складній - два і більш, але при урахуванні числа компонентів завжди потрібно мати на увазі, щоб це число представляло якнайменшу кількість індивідів, цілком достатнє для утворення системи, і щоб вони були незалежні один від одного. Наприклад, для системи Fe-Fe3C : компоненти - залізо (Fe), цементит (Fe3C); фази рідка (Р), аустеніт (А), ферит високотемпературний і ферит низькотемпературний (Ф), цементит (Ц).

У тих випадках, коли система проста і у всіх своїх точках знаходиться в однаковому фізичному стані (наприклад абсолютно чисте тверде залізо, або чиста рідка вода без навколишньої пари), система називається ***однорідною або гомогенною***. У всіх же інших випадках, де зустрічаються тіла в різному фізичному стані або що настільки розрізняються хімічно, що ми можемо встановити між ними (фізичні) поверхні розділу, система називається ***неоднорідною або гетерогенною***.

У загальному випадку система, як правило, буває неоднорідною, складеною однак із частин, які самі по собі є вже однорідними: це значить, що в неоднорідній системі ми можемо механічно виділити (найчастіше тільки в думках) такі окремі складові частини (тіла), які самі по собі у всіх своїх точках є абсолютно однозначними і в яких отже ми вже не можемо фізично виділити ще які-небудь складові.

Звідси видно, яку велику різноманітність фаз може представляти навіть нескладна система (сплав), що складається всього лише з двох компонентів. Однак в одній системі (сплаві) ми не зустрічаємося зі всіма можливими фазами одночасно, і кількістьостанніх, як правило, буває незначним, якщо сплав знаходиться у рівновазі, і всі перетворення, які йому властиві, відбуваються в ньому нормально. У таких-то випадках ми і можемо врахувати, яка кількість фаз повинна існувати в системі у зв'язку з його складом (концентраціями компонентів) і умовами існування (температурою і тиском).

***Правило фаз*** дає нам вказівку на те, яка кількість фаз може існувати в сплаві (системі) в умовах його рівноваги залежно від його складу, тобто присутніх в ньому компонентів створюючих систему, і від його температури і тиску. Це правило говорить, що в стані рівноваги системи може одночасно існувати тільки кінцева кількість фаз.

***Ступінь вільності*** - кількість незалежних один від одного визначальних факторів рівноваги (концентрація, температура, тиск), які можна змінювати в певних межах без зміни кількості фаз.

Оскільки зміни атмосферного тиску практично не впливають на фазову рівновагу металевих сплавів, то одним із двох зовнішніх факторів (тиском) можна знехтувати й тоді рівняння (4.2) набуває такого вигляду:

* С = К - Ф + 1. (18.3)

Залежно від того, як взаємодіють між собою компоненти в рідкому та твердому станах і які структури вони при цьому утворюють, розрізняють різні типи діаграм. Найпоширеніші з них розглянемо нижче.