

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ім. ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ
КРАСНОДОНСЬКИЙ ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ ТА МЕНЕДЖМЕНТУ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни

ТЕХНОЛОГІЯ МЕТАЛІВ ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

ЧАСТИНА 3. ТИПИ ДІАГРАМ СТАНУ СПЛАВІВ

для студентів напрямку «Машинобудування»

Спеціальність: 7.090221 «Обладнання переробних і харчових виробництв»

ЗАТВЕРДЖЕНО

На засіданні кафедри

«Інженерних дисциплін»

КРАСНОДОН 2010

УДК 669.01 (075.8)

Конспект лекцій з дисципліни «Технологія металів та матеріалознавство». Частина 3. Типи діаграм стану сплавів. Для студентів, які навчаються за напрямком «Машинобудування», спеціальність: 7.090221 «Обладнання переробних і харчових виробництв». Конспект лекцій на російській мові. Склав: доц., к.т.н. Колесніков В.О. Краснодар: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2010. 44 с. Свідоцтво про публікацію електронного навчально-методичного видання. Електронний носій. Реєстраційний номер - 4507. - 2010.

Викладені розділи, де докладно розглянуті типи діаграм стану сплавів. Надані питання до розділів. Наведено перелік джерел.

Укладач:

В.О. Колесніков, доц., к.т.н.

Відп. за випуск

В.О. Колесніков, доц., к.т.н.

Рецензент:

Зав. каф.

мікро- та наноелектроніки,

д.т.н., проф.

Г. М. Кожемякін

1. КОРОТКИЙ ОГЛЯД МАТЕРІАЛУ, ЩО БУВ ВИКЛАДЕНИЙ У ПОПЕРЕДНІХ ЧАСТИНАХ

Шановні студенти, з попередніх двох лекцій курсу «**Технологія металів і матеріалознавство**» Ви дізналися, що властивості металів визначаються особливостями їх будови: розподілом і характером руху електронів в атомах; розташуванням атомів і іонів у просторі, розмірами, формою і характером кристалічних утворень. З особливостями атомної будови пов'язаний характер взаємодії металів, здатність їх створювати різні сполуки і суміші, в які входять декілька металів (сплави), метали з неметалами (наприклад, карбіди, сульфіди і так далі).

Під атомно-кристалічною структурою розуміють взаємне розташування атомів, що існує в кристалі. Кристал складається з атомів (іонів), розташованих в певному порядку, який періодично повторюється в трьох вимірюваннях.

Кристалічна решітка є уявною просторовою сіткою, у вузлах якої розташовуються атоми (іони), створюючи метал (тверде кристалічне тіло). Для реального металу характерна наявність великої кількості дефектів будови, що порушують періодичність розташування атомів в кристалічній решітці. Розрізняють три типи дефектів кристалічної будови: **точкові, лінійні і поверхневі**. Найбільш важливий вид лінійних дефектів — дислокації (лат. *dislocation* — зсув).

Сплав — макроскопічно однорідна суміш двох або більшого числа хімічних елементів з переважанням металічних компонентів. Основною або єдиною фазою сплаву, як правило, є твердий розчин легуючих елементів в металі, що є основою сплаву. Елементами сплаву можуть бути метали і неметали. Ці елементи називаються **компонентами** сплаву. Сплави мають металеві властивості. Наприклад: металевий блиск, високі електропровідність і теплопровідність. Іноді компонентами сплаву можуть бути не тільки хімічні елементи, але і хімічні сполуки, що володіють

металевими властивостями. **Кристалічна будова сплаву** складніша, ніж чистого металу, і залежить від взаємодії його компонентів при кристалізації. Компоненти в твердому сплаві можуть утворювати **твердий розчин, хімічну сполуку** або **механічну суміш**.

У металознавстві **системами** є метали і металеві сплави. Чистий метал вдає із себе просту однокомпонентну систему, сплав – складну. Система – група тіл що виділяються для спостереження і вивчення.

Компоненти – речовини, що створюють систему. Як компоненти виступають чисті речовини і хімічні сполуки, якщо вони не диссоціюють на складові частини в досліджуваному інтервалі температур.

Фаза – однорідна частина системи, відокремлена від інших частин системи поверхневого розділу, під час переходу через яку структура і властивості різко міняються.

Варіантність (C) (число ступенів свободи) – це число внутрішніх і зовнішніх чинників (температура, тиск, концентрація), які можна змінювати без зміни фаз у системі.

Якщо варіантність $C = 1$ (моноваріантна система), то можлива зміна одного з чинників в деяких межах, без зміни числа фаз.

Якщо варіантність $C = 0$ (нонваріантна система), то зовнішні чинники змінювати не можна без зміни числа фаз в системі.

Існує математичний зв'язок між числом компонентів (K), числом фаз (Φ) і варіантністю системи (C). Це правило фаз або закон Гіббса

$$C = K - \Phi + 2 \quad (1.1)$$

Якщо прийняти, що всі перетворення відбуваються при постійному тиску, то число змінних зменшиться

$$C = K - \Phi + 1 \quad (1.2)$$

Де: C – число мір свободи, K – число компонентів, Φ – число фаз, 1 – враховує можливість зміни температури.

Розглянемо умови, при яких з двокомпонентної рідини виділяються тверді фази. Враховуючи, що тиск постійний, використовуємо правило фаз у вигляді рівняння (2). Якщо система складається тільки з однієї рідкої фази, то $C = 2 + 1 - 1 = 2$. Це означає, що у відомих межах можна довільно змінювати і температуру, і склад рідини, залишаючи систему однофазною. Таким чином, на діаграмі рівноваги (у координатах склад - температура) однофазній двокомпонентній системі відповідає площина.

Якщо з рідини при її охолодженні виділяється одна тверда фаза, то $C = 1$, і, отже, це моноваріантна рівновага зображується лінією. Такі лінії обмежують фазові поля, тобто області існування фаз, наприклад, твердої або рідкої. Очевидно, точка перетину двох ліній відповідає одночасному існуванню трьох фаз - двох твердих і однієї рідкої. Така рівновага є нонваріантною ($C = 0$), і зміна будь-якого параметра (температури або складу) приведе до зникнення однієї з фаз.

Процес кристалізації сплавів і пов'язані з ним закономірності будови сплавів вивчають по діаграмах стану. Діаграми стану - це графічні зображення, що показують в умовах рівноваги фазовий склад і структуру сплавів залежно від температури і хімічної концентрації компонентів.

Під рівноважним станом сплаву розуміють такий стан, при якому всі фазові перетворення в сплаві повністю відповідні до діаграми стану. Такий стан настає при повільному охолодженні сплаву. По діаграмах стану можна визначити число фаз в сплавах, відносну кількість кожної фази, її склад і природу: компоненти, твердий розчин, хімічна сполука, визначити температури плавлення, твердіння і алотропічних перетворень в сплавах.

Діаграми стану будують на підставі результатів термічного аналізу, при якому для сплавів різного складу викреслюють криві охолодження в координатах «температура – час». На кривих охолодження кожного сплаву фіксують температури фазових перетворень (критичні точки). Потім критичні точки різних сплавів переносять на діаграму стану, яку будують в координатах «температура – концентрація».

Точки, відповідні температурам початку і кінця кристалізації, температурам фазових перетворень сполучають плавними кривими.

Діаграма стану може бути побудована за даними кривих охолодження сплавів різного складу.

При побудові діаграм стану сплавів на осі абсцис указують хімічний склад або концентрацію сплаву у відсотках. Для цього горизонтальну лінію певної довжини ділять на сто однакових частин і кожне ділення приймають за 1 % одного з компонентів сплаву.

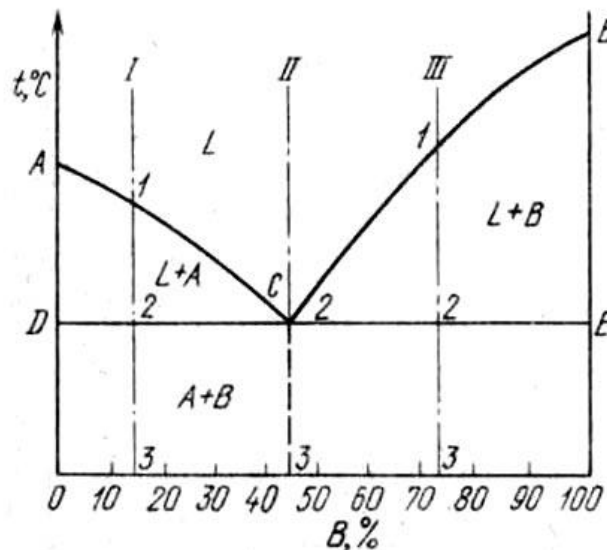
Побудова кривих охолодження є одним з методів фізико-хімічного аналізу і називається термічним аналізом. Академіком Н.С. Курнаковим ще у 1904 році був створений прилад для автоматичного запису кривих охолодження. В даний час фізико-хімічний аналіз разом з використанням кривих охолодження, мікроскопічними методами і вимірюваннями твердості включає рентгеноструктурні і рентгеноспектральні дослідження.

2. ДІАГРАМА СТАНУ ДЛЯ СПЛАВІВ, СТВОРЮЮЧИХ МЕХАНІЧНІ СУМІШІ З ЧИСТИХ КОМПОНЕНТІВ (I РОДУ)

Обидва компоненти в рідкому стані необмежено розчинні, а в твердому стані нерозчинні і не утворюють хімічних сполук.

Компоненти: речовини А і В ($\partial o = 2$).

Фази: рідина L, кристали А і кристали В (максимальне значення $f = 3$).



Мал. 2.1. Діаграма стану для сплавів, створюючих механічні суміші з чистих компонентів (I роду)

Лінія ACB є лінією ліквідус (початок кристалізації), лінія DCE — лінією солідус (кінець кристалізації). На лінії AC починають (при охолодженні) виділятися кристали А, а на лінії CB — кристали В. На лінії DCE з рідини концентрації С одночасно виділяються кристали А і В.

Якщо узяти який-небудь сплав, наприклад сплав I, то крива охолодження для нього матиме вигляд, показаний на мал. 2.2а. На цій кривій ділянка 0 — 1 відповідає охолодженню рідкого сплаву, ділянка 1— 2 — виділенню кристалів А, ділянка 2 — 2' — сумісному виділенню кристалів А і В, ділянка 2' — 3 — охолодженню твердого тіла. На мал. 2 - 4 схематично показана будова сплаву в різні моменти кристалізації. З рідини (мал. 2.2б) виділяються кристали Л, рідина, що потім залишилася, кристалізується з одночасним виділенням кристалів А до Ст. Мал. 2.2в показує структуру металу, що вже закристалізовувався; видно первинні виділення кристалів А і механічна суміш кристалів А + У, які кристалізувалися одночасно.

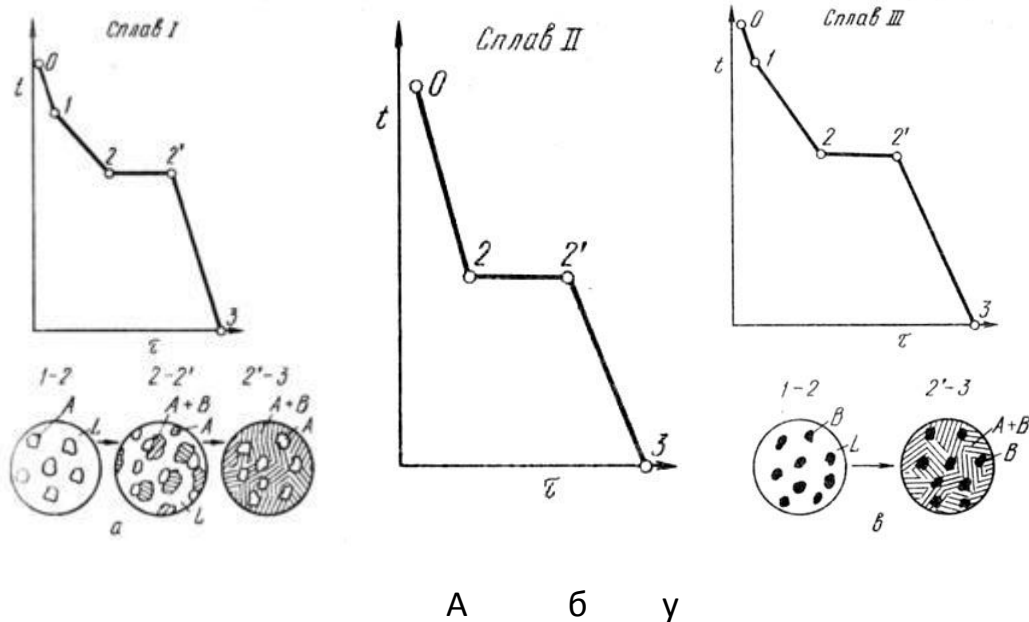
Механічна суміш двох (або більше) видів кристалів, що одночасно кристалізувалися з рідини, називається евтектикою. Крива охолодження сплаву евтектичної концентрації показана на мал. 2.5.2.б. На кривій охолодження відрізок 0—2 відповідає охолодженню рідкого сплаву, відрізок 2—2' — кристалізації евтектики і 2' — 3 — охолодженню сплаву, що закристалізовувався.

Крива охолодження заевтектичного сплаву (сплав I можна назвати доевтектичним, сплав II — евтектичним і сплав III — заевтектичним) зображена на мал. 2.2в. На кривій охолодження відрізок 0—1 відповідає охолодженню рідини, відрізок 1 — 2 виділенню кристалів В, 2 — 2' — кристалізації евтектики 2' — 3 — охолодженню сплаву, що закристалізовувався.

Окремі моменти охолодження сплаву показані на схемах структур на тому ж малюнку. На відміну від кристалів *L*, які на мал. 2.2а зображалися білими, кристали В на мал. 2.2в чорні.

На діаграмі станів (див. мал. 2.1.) показані області існування різних фаз. Нижче за евтектичну горизонталь DCE знаходяться дві фази — кристали А і

В. Лівіше евтектичної концентрації з рідини виділяються спочатку кристали А, а потім евтектика. Тому структурний стан доевтектичного сплаву можна позначити через А+євтектика (А + У) і заевтектичного В+євтектика (А + У), хоча і в тому і в іншому випадку в сплаві дві фази: А і Ст.



Мал. 2.2. Криві охолодження: доевтектичний сплав – а; евтектичний сплав – б; заевтектичний сплав – в;

3. ДІАГРАМА СТАНУ З НЕОБМЕЖЕНОЮ РОЗЧИННІСТЮ В РІДКОМУ І ТВЕРДОМУ СТАНІ

Вельми часто тверда фаза, що виділяється при охолодженні розплавів, складається з кристалів, що утворюються обома компонентами. Така однорідна система має змінний склад і називається твердим розчином. Тверді розчини – системи однофазні, подібно до звичайних рідких розчинів, але на відміну від останніх мають кристалічну структуру.

Необмеженою взаємною розчинністю в твердому стані володіють речовини, що мають близькі значення атомних або іонних радіусів, енергії хімічного зв'язку, схожу будову електронних оболонок і однаковий тип кристалічної решітки (ізоморфні речовини). Прикладами таких систем можуть служити Au–Ag, Cu–Au, Se–Ge, NaCl–NaBr та інші.

Наведемо приклад побудови діаграми стану з необмеженою розчинністю. Обидва компоненти необмежено розчинні в рідкому і твердому станах і не утворюють хімічних сполук.

Компоненти: А, Ст.

Фази: L, б.

Якщо два компоненти необмежено розчиняються в рідкому і твердому станах, то можливе існування тільки двох фаз — рідкого розчину L і твердого розчину б. Отже, трьох фаз бути не може, кристалізація при постійній температурі не спостерігається і горизонтальної лінії на діаграмі немає.

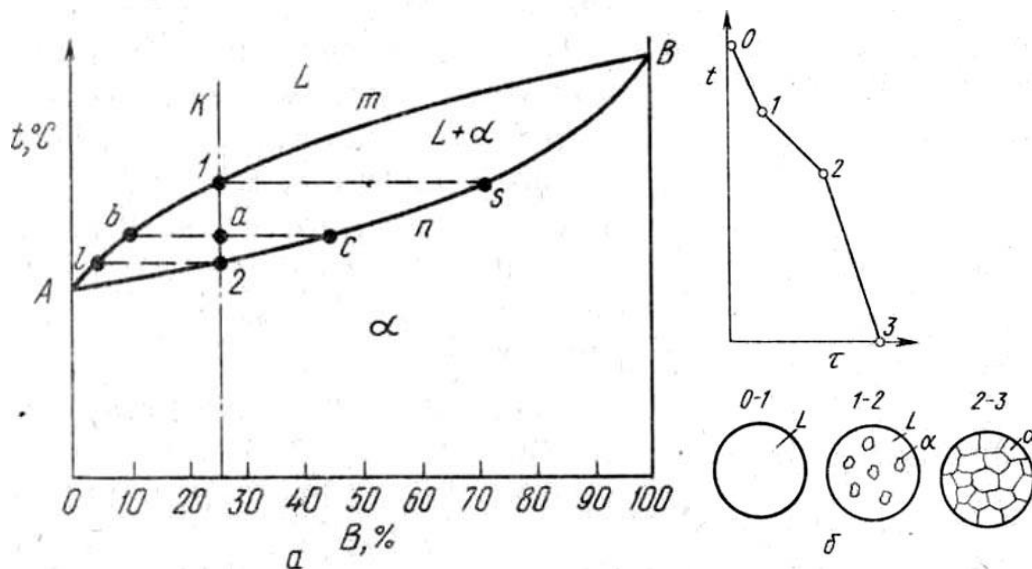
Діаграма, зображена на мал. 3.1а, складається з трьох областей: рідина, рідина + твердий розчин і твердий розчин.

Лінія Амв є лінією ліквідус, а лінія Апв — лінією солідус. Процес кристалізації зображається кривою охолодження сплаву (мал. 3.1б).

Точка 1 відповідає початку кристалізації, точка 2 — кінцю. Між точками 1 і 2 (тобто між лініями ліквідус і солідус) сплав знаходиться в двофазному стані. При двох компонентах і двох фазах система моноваріантна ($z = \text{до} - f + 1 = 2 - 2 + 1 = 1$), тобто якщо змінюється температура, то змінюється і концентрація компонентів у фазах; кожній температурі відповідають строго певні склади фаз. Концентрація і кількість фаз у сплаві, що лежить між лініями солідус і ліквідус, визначаються правилом відрізків. Так, сплав До в точці *a* складається з рідкої і твердої фаз. Склад рідкої фази визначиться

проекцією точки b , що лежить на лінії ліквідус, а склад твердої фази — проекцією точки z , що лежить на лінії солідус. Кількість рідкої і твердої фаз визначається з наступних співвідношень: кількість рідкої фази ac/bc , кількість твердої фази ba/bc .

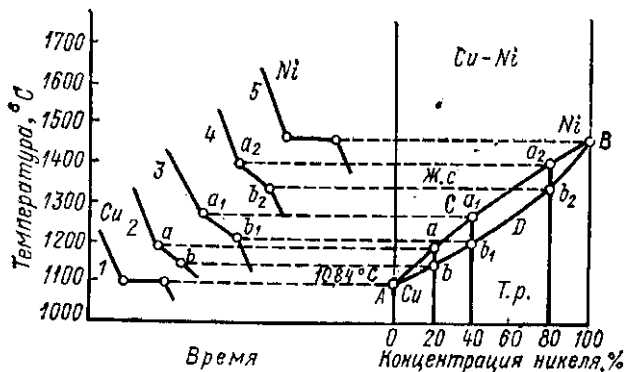
У всьому інтервалі кристалізації (від точки 1 до точки 2) з рідкого сплаву, що має початкову концентрацію Do , виділяються кристали, багатші тугоплавким компонентом. Склад перших кристалів визначиться проекцією s . Закінчиться кристалізація сплаву Do повинна в точці 2, коли остання крапля рідини, що має склад 1, затвердіє. Відрізок, що показує кількість твердої фази, дорівнював нулю в точці 1, коли тільки почалася кристалізація, і кількості всього сплаву в точці 2, коли кристалізація закінчилася. Склад рідини змінюється по кривій 1 — 1, а склад кристалів — по кривій s — 2, і у момент закінчення кристалізації склад кристалів такий же, як і склад початкової рідини.



Мал. 3.1. _

Аналогічний вигляд має діаграма состав–температура для двох рідин, що необмежено змішуються в рідкому і пароподібному стані.

Приведемо приклад діаграми 2-го роду, яка відповідає сплавам, у яких компоненти і в рідкому і в твердому стані утворюють розчин. До них відносяться сплави мідь — нікель, залізо—нікель і ін. Діаграма стану сплавів мідь — нікель приведена на мал. 3.2. Крива 1 відноситься до чистої міді, точка кристалізації якої 1083 °С, а крива 5 — до нікелю, точка кристалізації якого 1452 °С. Крива 2 характеризує кристалізацію 20%-ного сплаву нікелю (або 80%-ного сплаву міді).



Мал. 3.2. Діаграма стану сплавів мідь—нікель

Початку кристалізації цього сплаву відповідає точка *a*, коли кристалізуються грати міді, в якій є 20% нікелю. У точці *b* кристалізація закінчується. Аналогічно кристалізується 40%-ний (крива 3) і 80%-ний (крива 4) сплави нікелю, проте точки початку (*a1* і *a2*) і кінця (*b1* і *b2*) кристалізації у першому сплаві нижче, ніж у другому. Якщо перенести всі точки початку і кінця кристалізації міді і нікелю і вказаних вище сплавів на основну діаграму (мал. 3.2 справа) і з'єднати ці точки, отримаємо лінію ліквідуса *Асв* і лінію солідусу *Адв*. Вище за лінію *Асв* сплави міді з нікелем

знаходяться в рідкому стані, а нижче за лінію Adv — у твердому. У зоні між Aсв і Adv є дві фази: рідкий сплав і кристали твердого розчину нікелю в міді. Діаграма 2-го роду відрізняється від діаграми 1-го роду тим, що тут утворюється одна кристалічна решітка, а значить, немає і евтектичного сплаву, як це спостерігається у сплавів, створюючих механічну суміш. Діаграма 3-го роду, відповідна сплавам, які в результаті твердіння утворюють хімічні сполуки, в даному підручнику не розглядається. У деяких сплавах можуть одночасно знаходитися механічна суміш, твердий розчин і хімічна сполука. Прикладом служать залізовуглецеві сплави — сталь і чавун, що детально розглядаються в наступних розділах.

4. ДІАГРАМА СТАНУ ДЛЯ СПЛАВІВ З ОБМЕЖЕНОЮ РОЗЧИННІСТЮ В ТВЕРДОМУ СТАНІ

(III РОДУ)

Обидва компоненти необмежено розчинні в рідкому стані, обмежено в твердому і не утворюють хімічних сполук.

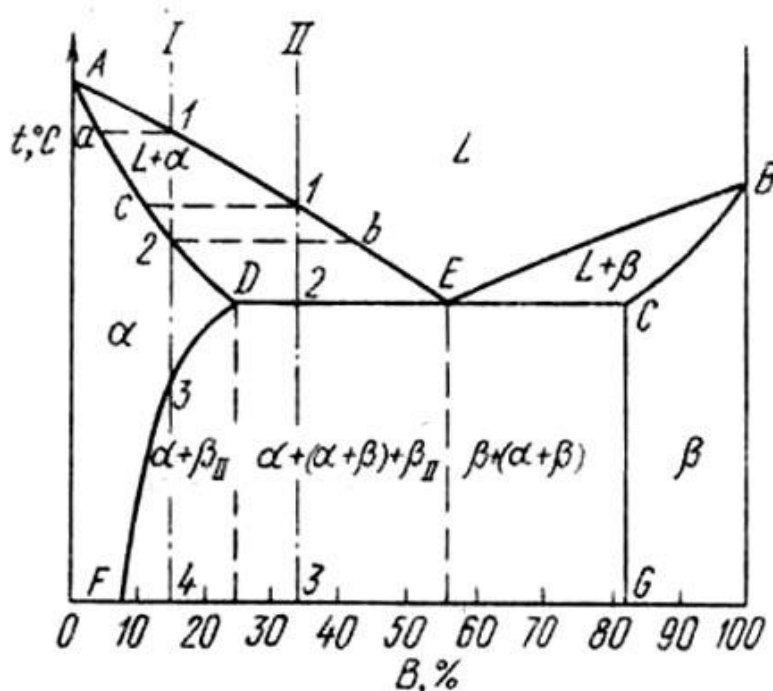
Компоненти: А, Ст.

Фази: L, би, ст.

У сплавах такого роду можливе існування: рідкої фази, твердого розчину компоненту В в А, який ми називатимемо б-розчином, і твердого розчину компоненту А у В, який позначимо через ст. У цих сплавах можлива нонваріантна рівновага при одночасному співіснуванні трьох фаз: L, би, ст. Залежно від того, яка реакція протікає в умовах існування трьох фаз, можуть бути два види діаграм: діаграма з евтектикою і діаграма з перитектикою.

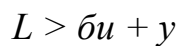
4.1. ДІАГРАМА З ЕВТЕКТИКОЮ

У цій системі не утворюються фази, що є чистими компонентами. З рідини можуть виділятися тільки тверді розчини б або ст. Отже, біля вертикалей A і B , відповідних чистим компонентам, знаходяться області існування твердих розчинів би або ст. Гранична розчинність компоненту $У$ в A визначається лінією DF , а гранична розчинність A у B — лінією CG .



Мал. 4.1.1. Приклад діаграми з евтектикою.

Сплави, що знаходяться між цими двома лініями, знаходяться за межами розчинності, двофазними, такими, що складаються з би + ст. Закінчення кристалізації відбувається по евтектичній реакції



Лінія ACB є на цій діаграмі лінією ліквідус, лінія $ADCB$ — лінією, солідус. Знаючи правило фаз і правило відрізків, можна простежити за процесом кристалізації будь-якого сплаву.

Кристалізація сплаву I. Вище за точку I сплав знаходиться в рідкому стані. У точці I починається процес кристалізації. Виділяються кристали твердого розчину a , концентрація якого змінюється по кривій $a — 2$, а склад рідини змінюється по кривій $I — b$. У точці 2 кристалізація закінчиться, і отримані кристали твердого розчину повинні мати (для рівноважної кристалізації) концентрацію початкової рідини. Ці кристали не зазнають змін до точки 3 , що лежить на лінії граничної розчинності. Нижче за цю точку твердий розчин b є пересиченим і виділяє надмірні кристали. Такими кристалами є кристали ν твердого розчину, що визначають, застосовуючи правило важеля для сплаву, що лежить у середині двофазної області $b + \nu$ (тобто для сплаву нижче за лінію DF)

Склад твердого розчину b змінюється по кривій $3 — F$, унаслідок виділення кристалів ν концентрації G . Кількість кристалів ν при охолодженні збільшується. Кількість кристалів ν , що виділилися із сплаву I , характеризується відрізком від вертикалі I до лінії $3—F$.

Крива охолодження і схеми структур цього сплаву при різних температурах показані на мал. 4.1.1.

Кристали ν , що виділилися з твердого розчину, називаються вторинними кристалами і часто позначаються символом νII на відміну від первинних ν - кристалів (νI), що виділяються з рідини. Процес виділення вторинних кристалів з твердої фази носить назву вторинної кристалізації на відміну від процесу первинної кристалізації, коли кристали (первинні) утворюються в рідкій фазі.

Потрібно відзначити, що сплав, концентрація якого лежить лівіше за точку F, не матиме вторинних виділень ϵ - кристалів.

Оскільки лінія CG на відміну від лінії FD зображена на мал. вертикальною, тобто розчинність компоненту β у ϵ не залежить від температури, то вторинних виділень β -кристалів немає, але вони були б, якби лінія CG була нахилена управо, тобто розчинність зменшувалася б з пониженням температури.

Точка D для твердого розчину β показує максимальну розчинність компоненту Y в компоненті A за найбільш сприятливих умов.

Кристалізація сплаву II. При кристалізації цього сплаву, на відміну від попереднього, досягши горизонтальної лінії DEC настає нонваріантна реакція. У рівновазі знаходяться три фази — рідина E, β -кристали складу точки D і ϵ -кристали складу точки C. Індекс біля символу, що позначає фазу, показує склад фази. Наприклад, β_D означає твердий розчин β складу точки D. Після досягнення температури, відповідної горизонталі DEC, настає евтектична реакція — з рідини виділяються кристали обох твердих розчинів:



Реакція ця нонваріантна, оскільки при двох компонентах в реакції беруть участь три фази ($\nu = \text{до} - f + + 1 = 2 - 3 + 1 = 0$).

Всі три фази, що беруть участь в реакції, мають певні склади (проекції точок E, D і C) і температура їх перетворення постійна.

В результаті кристалізації сплаву II, окрім первинних (що виділилися при охолодженні від точки 1 до точки 2) кристалів α , утворюється ще евтектика $\beta + \epsilon$.

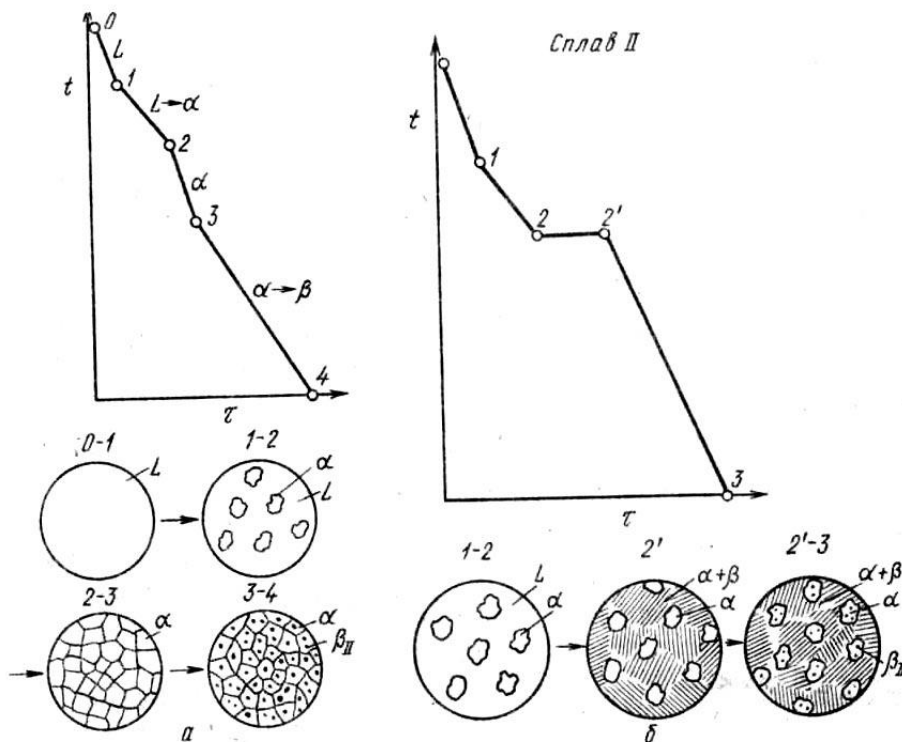
При подальшому охолодженні унаслідок зміни розчинності β -кристали виділяють вторинні кристали β_{II} і при нормальній температурі β -

кристали (як первинні, так і такі, що входять в евтектику) матимуть склад, що відповідає точці **F**.

Крива охолодження сплаву II і структури цього сплаву показані на мал. 4.1.2б.

Виділення вторинних кристалів з евтектичних складових зазвичай не виявляється при мікроскопічному дослідженні, оскільки вторинні виділення об'єднуються з такою ж (однойменною) фазою евтектики.

Не дивлячись на різномаяття структурних складових остаточно охолоджений сплав містить тільки дві фази **б** і **в**, і правило фаз, якщо його застосувати нижче за лінію DE покаже всю кількість **б**- і **в**-фаз незалежно від того, в якій структурній формі вони знаходяться.



Мал. 4.1.2. Криві охолодження сплавів I і II і схеми структур

4.2. ДІАГРАМА З ПЕРИТЕКТИКОЮ

При евтектичному перетворенні рідина кристалізується з утворенням двох твердих фаз. Можливий і інший тип нонваріантного перетворення (трифазної рівноваги), коли рідина реагує з раніше випавшими кристалами і утворює новий вигляд кристалів $L + \nu > \text{бн}$

Реакція подібного типу називається перитектичною. Діаграма з перитектичним перетворенням показана на мал. 4.2.1а. На діаграмі показано три однофазні області: рідину L і обмежені тверді розчини б'.

Лінія ABC являється лінією ліквідус, лінія APDB — лінією солідус.

Кристалізація сплаву I. Кристалізація починається в точці 1, коли з рідини випадають кристали ν - розчину складу точки b. Потім при зниженні температури рідина міняє свою концентрацію по лінії ліквідус від точки I до точки 3, а кристали ν — по лінії солідус від точки b до точки D. Після досягнення перитектичної горизонталі CPD склад рідини відповідатиме точці 3, а склад кристалів — точці D. Ці обидві фази реагують і дають третю фазу **a**, концентрація якої визначається точкою 3 — третьою точкою на горизонталі. Перитектична реакція зображається таким чином:

$LC + \nu D > \text{бP}$ або в більш загальному випадку $L + \nu > \text{бн}$ оскільки точки D і 3 показують граничну концентрацію твердих розчинів ν і б (для простоти лінії граничної розчинності дані вертикальними). Кількісне співвідношення фаз при перитектичній реакції, необхідне для виникнення б - фази, визначається за правилом відрізків співвідношенням.

Кількість $\nu = CP$

Кількість $L = PD$

У даному ж сплаві кількість кристалів, що беруть участь в перитектичній реакції, ν і рідині визначається співвідношенням

Кількість $\nu = C2$

Кількість $L=2D$

тобто в даному сплаві є надлишок ν -фази в порівнянні з тією кількістю, яка необхідна для утворення β -кристалів. Тому після закінчення реакції в надлишку залишаються ν -кристали. Отже, в структурі будуть продукти перитектичної реакції (тобто β - кристали) і що залишилися надмірні первинні ν - кристали. Чим ближче точка 2 лежить до точки P, тим менше в реакції залишається надмірних ν -кристалів.

Для сплаву, що відповідає по концентрації точці P, співвідношення тих, що реагують при перитектичному перетворенні рідини і ν -кристалів таке, що воно якраз достатнє для утворення β -кристалів граничної концентрації.

На мал. 4.2.1б показана крива охолодження сплаву I. Для перитектичної кристалізації (середня схема) характерне те, що нова β -фаза з'являється на межі реагуючої один з одним рідини і ν -кристалів. Для сплаву I перитектичною реакцією закінчується процес кристалізації.

Кристалізація сплаву II (мал. 4.2.1в). Відмінність кристалізації цього сплаву від кристалізації сплаву I полягає в тому, що при перитектичній температурі є надлишок рідкої фази в порівнянні з тією кількістю, яка необхідна для утворення β -кристалів концентрації P. Тому перитектичне перетворення закінчується вичерпанням ν -твердого розчину, і рідина, що

залишилася, в інтервалі між точками 2'— 3 кристалізується в β -фазу. При цьому концентрація рідини змінюється по кривій 3 — a, а концентрація β -кристалів, що утворюються, — по 3 — 3.

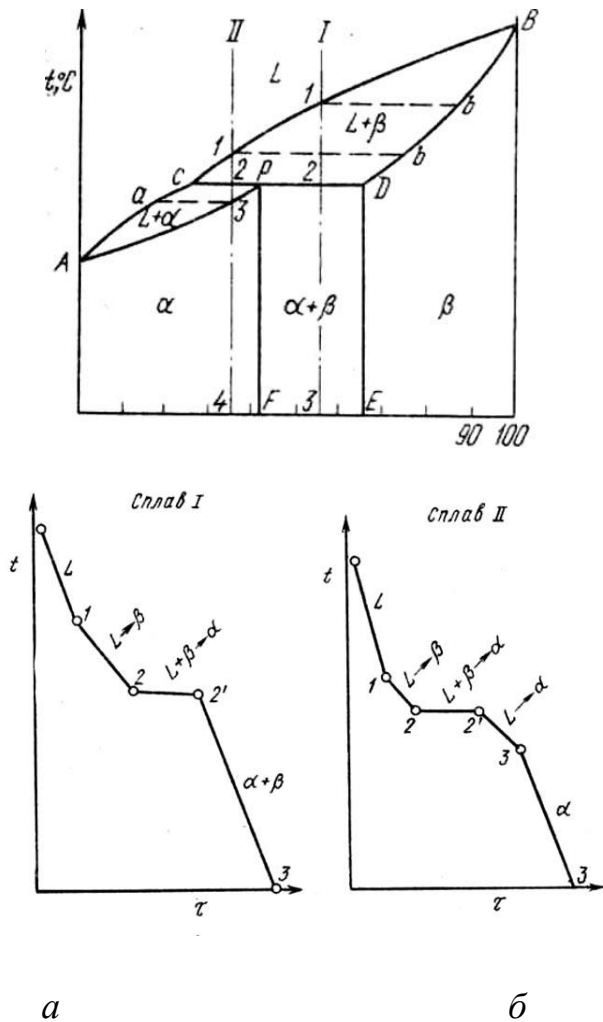


Рис.4.2.1. Діаграма з перитектикою, криві охолодження

5. ДІАГРАМА СТАНУ ДЛЯ СПЛАВІВ УТВОРЮЮЧИХ ХІМІЧНІ СПОЛУКИ (IV РОДУ)

5.1. ДІАГРАМА СТАНУ ДЛЯ СПЛАВІВ УТВОРЮЮЧИХ СТІЙКІ ХІМІЧНІ СПОЛУКИ

Хімічна сполука характеризується певним співвідношенням компонентів, а це відбивається на діаграмі вертикальною лінією, що проходить на осі абсцис через точку, що відповідає співвідношенню компонентів в хімічній сполуці. Якщо компоненти A і B утворюють хімічну сполуку A_nB_m , то на $n + m$ його атомів доводиться n атомів A і m атомів B . Належному атомному співвідношенню відповідає і певне співвідношення по масі.

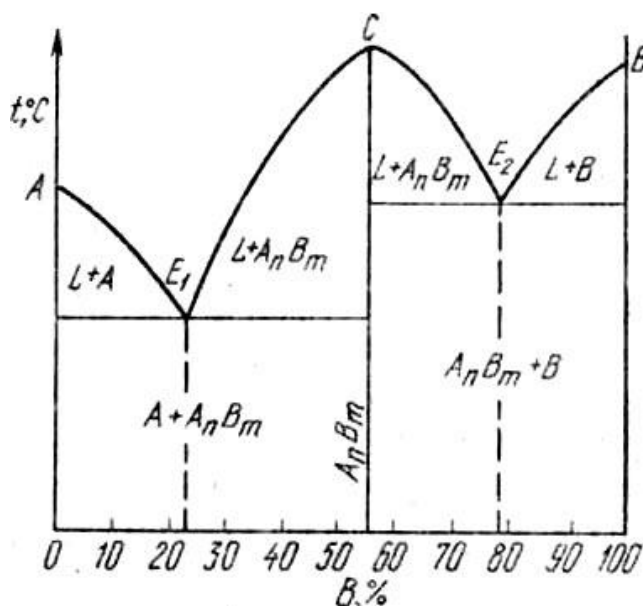
Хімічна сполука стійка, якщо її можна нагрівати без розкладання до розплавлення, і нестійка, якщо при нагріві вона розкладається. Залежно від цього можуть бути два види діаграм. Крім того, можливе утворення декількох хімічних сполук між двома компонентами, а також розчинність на базі хімічної сполуки — ці обставини також знаходять віддзеркалення в діаграмі стану.

Діаграма із стійкою хімічною сполукою

Припустимо, що обидва компоненти утворюють одне стійке з'єднання A_nB_m , причому і це з'єднання, і чисті компоненти не утворюють в твердому стані розчинів.

Компонентами системи є речовини A і B , а твердими фазами — A , A_nB_m і B . Із чотирьох можливих в цій системі фаз можуть співіснувати три L , A , A_nB_m або L , B , A_nB_m .

Це хімічна сполука стійка, тому вона може бути нагріта без розкладання до своєї температури плавлення (точка C). Хімічна сполука плавиться при постійній температурі. Плавлення хімічної сполуки при постійній температурі цілком відповідає правилу фаз. Хімічну сполуку можна розглядати як однокомпонентну систему (один компонент — хімічна сполука, тоді при плавленні $C = k - f + 1 = 1 - 2 + 1 = 0$



Мал. 5.1.1. Діаграма стану для сплавів, що утворюють стійкі хімічні сполуки

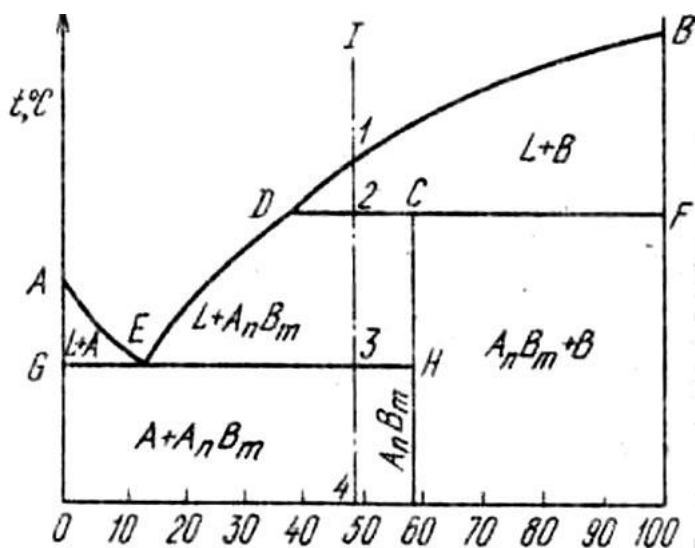
5.2. ДІАГРАМА СТАНУ ДЛЯ СПЛАВІВ УТВОРЮЮЧИХ НЕСТІЙКІ ХІМІЧНІ СПОЛУКИ

Хімічна сполука характеризується певним співвідношенням компонентів, а це відбивається на діаграмі вертикальною лінією, що проходить на осі абсцис через точку, що відповідає співвідношенню компонентів в хімічній сполуці. Якщо компоненти A і B утворюють хімічну сполуку A_nB_m , отже, на n його атомів доводиться n атомів A і m атомів B . Належному атомному співвідношенню відповідає і певне співвідношення по масі.

Хімічна сполука стійка, якщо її можна нагрівати без розкладання до розплавлення, і нестійка, якщо при нагріві вона розкладається. Залежно від цього можуть бути два види діаграм. Крім того, можливе утворення декількох хімічних сполук між двома компонентами, а також розчинність на

базі хімічної сполуки — ці обставини також знаходять віддзеркалення в діаграмі стану.

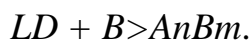
На відміну від діаграми із стійкою хімічною сполукою на мал. приведена діаграма станів, де два компоненти утворюють нестійку хімічну сполуку, яка при нагріві до певної температури (tI) розкладається на рідину і один з компонентів, тобто не розплавляється повністю.



Мал. 5.2.1. Діаграма стану для сплавів, що утворюють нестійкі хімічні сполуки

На лінії DCF знаходяться в рівновазі три фази: рідина концентрації D , кристали компоненту B і кристали хімічної сполуки $AnBm$.

При нагріві нестійка хімічна сполука $AnBm$ розпадається на рідину концентрації D і кристали B . При охолодженні відбудеться зворотна реакція:



Реакція ця подібна до перитектичної: рідина реагує з раніше випавшими кристалами, але утворює не новий твердий розчин, як у разі перитектичної реакції, а хімічну сполуку.

Процес кристалізації сплаву I в рівноважних умовах протікатиме таким чином. У точці 1 починається кристалізація, випадають кристали B , і концентрація рідини змінюється по кривій $I—D$. У точці 2 при постійній температурі утворюється нестійка хімічна сполука по рівнянню, приведеному вище. Після закінчення реакції в надлишку залишається рідина, яка кристалізується з виділенням з'єднання $A_{\text{вст}}$ до тих пір, поки концентрація рідини не досягне точки E . Тоді рідина, що залишилася, кристалізується в евтектику, що складається з кристалів A і хімічної сполуки. Отже, на кривій матимемо два майданчики: верхню, відповідну утворенню нестійкої хімічної сполуки, і нижню, відповідну утворенню евтектики $A + A_{\text{вст}}$.

5.3. ДІАГРАМА СТАНУ ДЛЯ СПЛАВІВ, що ВИПРОБОВУЮТЬ ПОЛІМОРФНІ ПЕРЕТВОРЕННЯ

У приведених вище діаграмах розглядали первинні перетворення, пов'язані з процесом кристалізації рідкого сплаву.

При вторинній кристалізації унаслідок зміни розчинності із зміною температури виділяються вторинні кристали. Вторинна кристалізація спостерігається і в тому випадку, якщо навіть один з компонентів проходить алотропічні перетворення. Таким чином, перетворення в твердому стані спостерігаються у всіх тих випадках, при яких хоч би один з компонентів володіє поліморфізмом (тобто в діаграмах, де компонентами є залізо, олово, кобальт, марганець, титан, цирконій і деякі інші елементи).

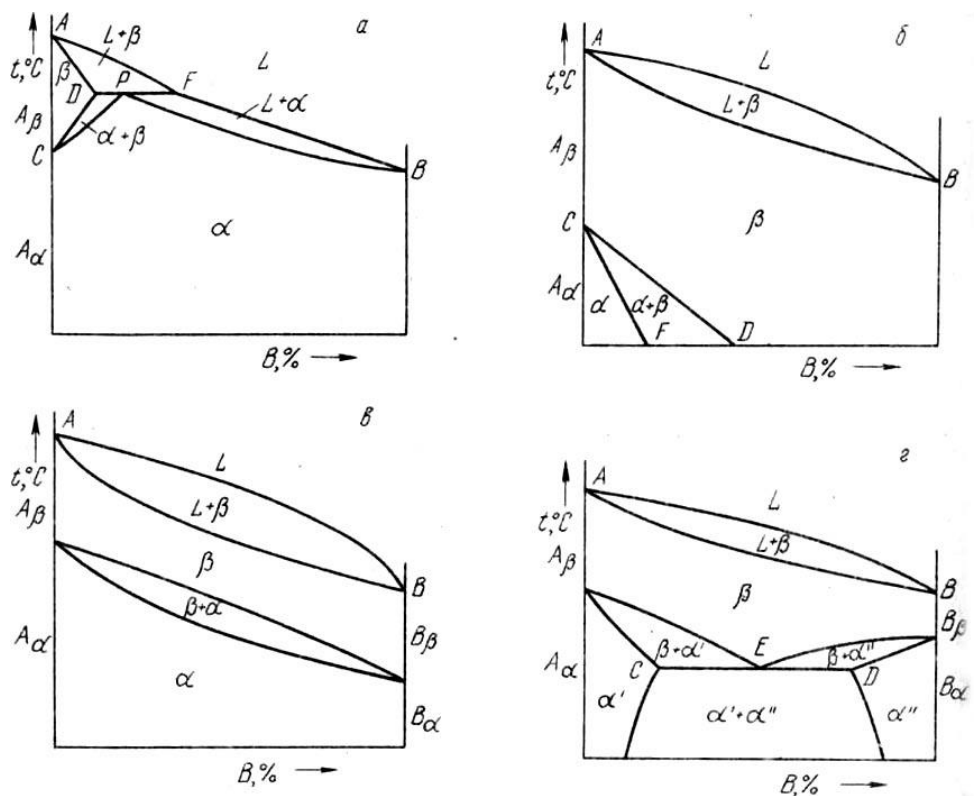
У даних діаграмах з поліморфними перетвореннями верхня частина діаграми характеризує первинну кристалізацію, нижня — вторинну.

Якщо низькотемпературні модифікації обмежено розчинні один в одному, а високотемпературні — необмежено, то отримуємо поєднання діаграм.

При температурі, відповідній лінії CED , відбувається розпад β -твердого розчину з одночасним виділенням β' - і β'' твердих розчинів:

$$y > a' + b''.$$

Перетворення протікає аналогічно кристалізації евтектики, але початковим матковим розчином є не рідина, а твердий розчин. На відміну від кристалізації евтектики з рідини подібне перетворення називається не евтектичним, а евтектоїдним, а суміш отриманих кристалів — евтектоїдом.



Мал. 2.8.4.1. Діаграма стану для сплавів, що випробовують поліморфні перетворення

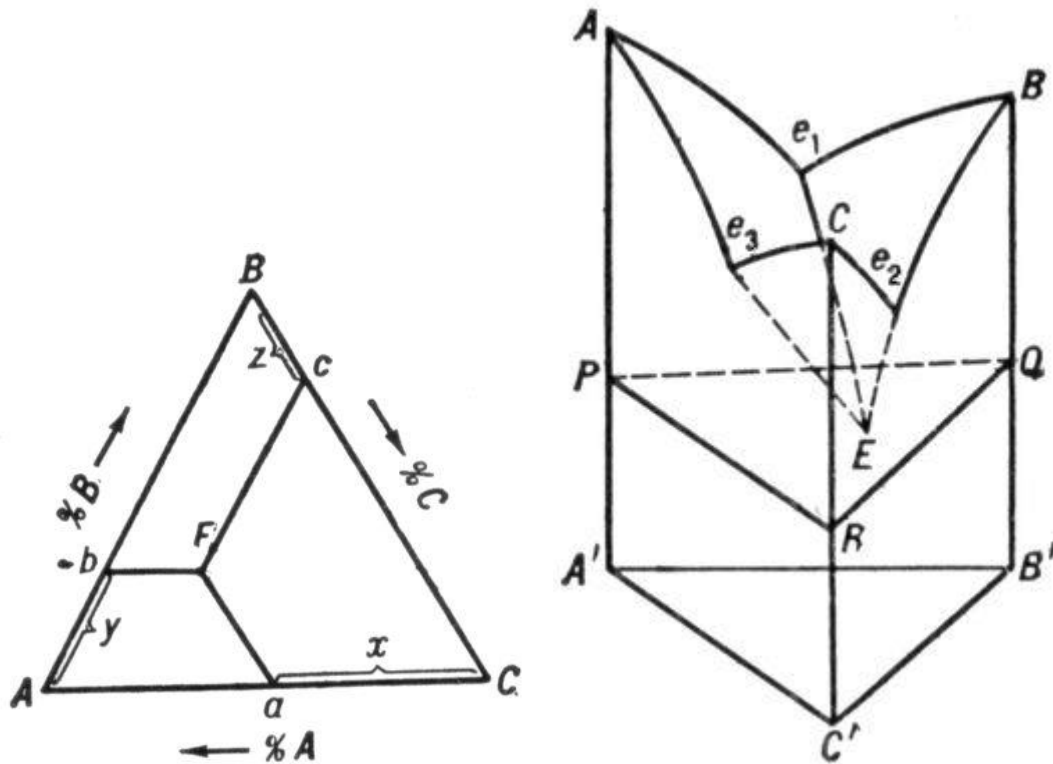
6. ПОТРІЙНІ СИСТЕМИ

Потрійні системи, трикомпонентні системи, фізико-хімічні системи, що складаються з трьох компонентів. Прикладами практично важливих потрійних систем є металеві сплави а також сплави солей, оксидів (шлаки), сульфідів (штейни), системи з води і 2 солей із загальним іоном. Згідно правилу фаз, варіантність (число термодинамічних мір свободи) потрійних систем (що не містять газоподібної фази), що конденсують, при постійному тиску визначається виразом $u = 4 - j$, де j — число фаз системи. Щоб отримати уявлення про характер взаємодії компонентів і практичне застосування потрійних систем, необхідно знати їх *діаграми стану* і *діаграми "склад — властивість"*.

Діаграма "склад — властивість", графічне зображення залежності між складом фізико-хімічної системи і чисельними значеннями її фізичних або механічних властивостей (електропровідності, твердості, в'язкості, показника заломлення і ін.). Діаграма "склад — властивість", побудована при постійній температурі, називається *ізотермою властивості*, при змінній температурі — *політермою властивості*, при постійному тиску — *ізобарою властивості*, при змінному тиску — *полібаро властивості*.

Стан потрійної системи однозначно визначається (при постійному тиску) 3 змінними: температурою T і концентраціями 2 компонентів (концентрація третього компоненту визначається з умови $x + y + z = 100$, де x, y, z — концентрації компонентів). Концентрації зазвичай виражають у відсотках (атомних, молекулярних, по масі). Отже, для зображення діаграм стану потрійної системи необхідний тривимірний простір: два вимірювання

служать, щоб показати зміни складу, а третє показує зміну температури фазових перетворень (або властивостей). Температуру (або величину властивості) відкладають по вертикальній осі; для вказівки складу потрібної системи зазвичай застосовують рівносторонній трикутник, який називається концентраційним (рис.6.1). Його вершини A , B , C відповідають чистим компонентам A , B , C . Кожна сторона трикутника розділена на 100 рівних частин. Склади подвійних систем $A - B$, $B - C$ і $A - C$ зображають точками на сторонах AB , BC і AC , а склади Т. с. — точками F усередині трикутника ABC . Спосіби визначення складу в точці F засновані на геометричних властивостях рівносторонніх трикутників: наприклад прямі Fa , Fb і Fc , паралельні відповідно сторонам BC , AC і AB , відсікають відрізки Ca , Ab і Bc , сума яких дорівнює стороні трикутника. Точці F на мал. 5.1 відповідає $x\% A$, $y\% B$ і $z\% C$.



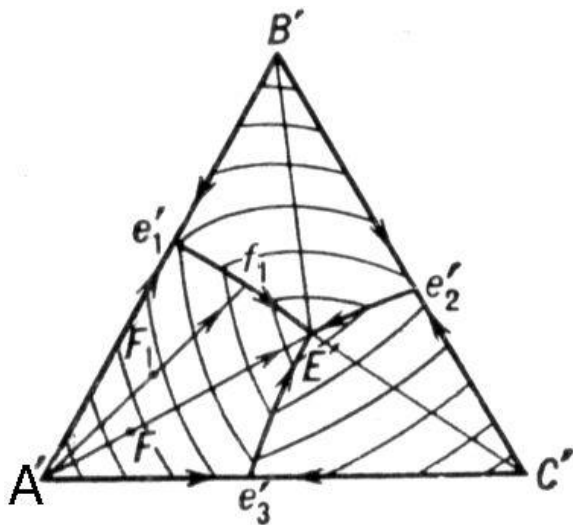
Мал. 6.1. Рівносторонній концентраційний _

Тривимірні діаграми стану потрійних систем представляють у вигляді тригранних призм, обмежених зверху складними поверхнями ліквідуса, що є геометричним місцем точок, кожна з яких відповідає температурі початку кристалізації. На мал. 5.1б показаний простий приклад діаграми стану потрійної системи $A - B - C$, компоненти якої не утворюють між собою хімічних сполук, необмежено взаємно розчинні в рідкому стані і не здібні до поліморфних перетворень. Подвійні системи $A - B$, $B - C$ і $A - C$ з евтектичними точками e_1 , e_2 і e_3 зображають на гранях призми. Ліквідус складається з поверхонь Ae_1Ee_3 (початок кристалізації A), Be_1Ee_2 (початок кристалізації B) і Ce_2Ee_3 (початок кристалізації C). Площина PQR , що проходить через точку потрійної евтектики E паралельно підставі призми, є солідусом потрійної системи (геометричним місцем точок, відповідних температурам кінця кристалізації).

У точці E число співіснуючих фаз, максимальне для потрійної системи, рівне 4 (рідина і кристали A , B , C), а їх рівновага нонваріантна (температура кристалізації і склад фаз постійні).

Користуватись об'ємним зображенням діаграм стану потрійних систем на практиці дуже незручно, тому зостосовують ортогональні проекції і розтини: горизонтальні — ізотермічні і вертикальні — політермічні. На мал. 5.2. показана проекція діаграми мал. 5.1б на площину трикутника $A'B'C'$. На ній 5.2 поверхні ліквідуса зображені 3 полями кристалізації $A'e'_1E'e'_3$, $B'e'_1E'e'_2$, $C'e'_2E'e'_3$, проекція солідуса, вочевидь, співпадає з трикутником $A'B'C'$. Стрілки указують напрямлення пониження температур. Разглянемо послідовність виділення твердих фаз у полі $A'e'_1E'e'_3$. Якщо точка F лежить на прямій $A'E'$, то із рідкої фази при охолодженні випадають кристали A , причому відношення концентрацій B і C залишається постійним. Отже, коли склад потрійної системи достане точки E' , починається сумісна кристалізація компонентів A , B і C при постійній температурі (так як при 4 фазах і постійному тиску потрійна система нонваріантна). Якщо точка F_1 лежить в

області $A'e_1E'$; то спочатку випадають кристали А, а потім, коли склад рідкої фази дійде до точки f_1 , по кривій e_1E' піде сумісна кристалізація А і В, затверднення закінчиться у точці E' . Отже, послідовність кристалізації рідкої фази складу F_1 зображується у сукупності відрізком F_1f_1E' . Подібним же чином можливо простежити хід кристалізації будь якої рідкої фази системи А — В — С. На тій же проєкції наносять ізотерми початку кристалізації (показані тонкими лініями). Вертикальні розтини більш складні, ніж діаграми подвійних систем. Виключення складають так звані квазібінарні розтини тих потрійних систем, де виникають подвійні і потрійні з'єднання постійного складу. Правила проведення таких розтинів (сингулярна триангуляція потрійної системи), вперше сформульовані у 1925 році Н. С. Курнаковим дозволяють спростити розгляд складних потрійних систем.

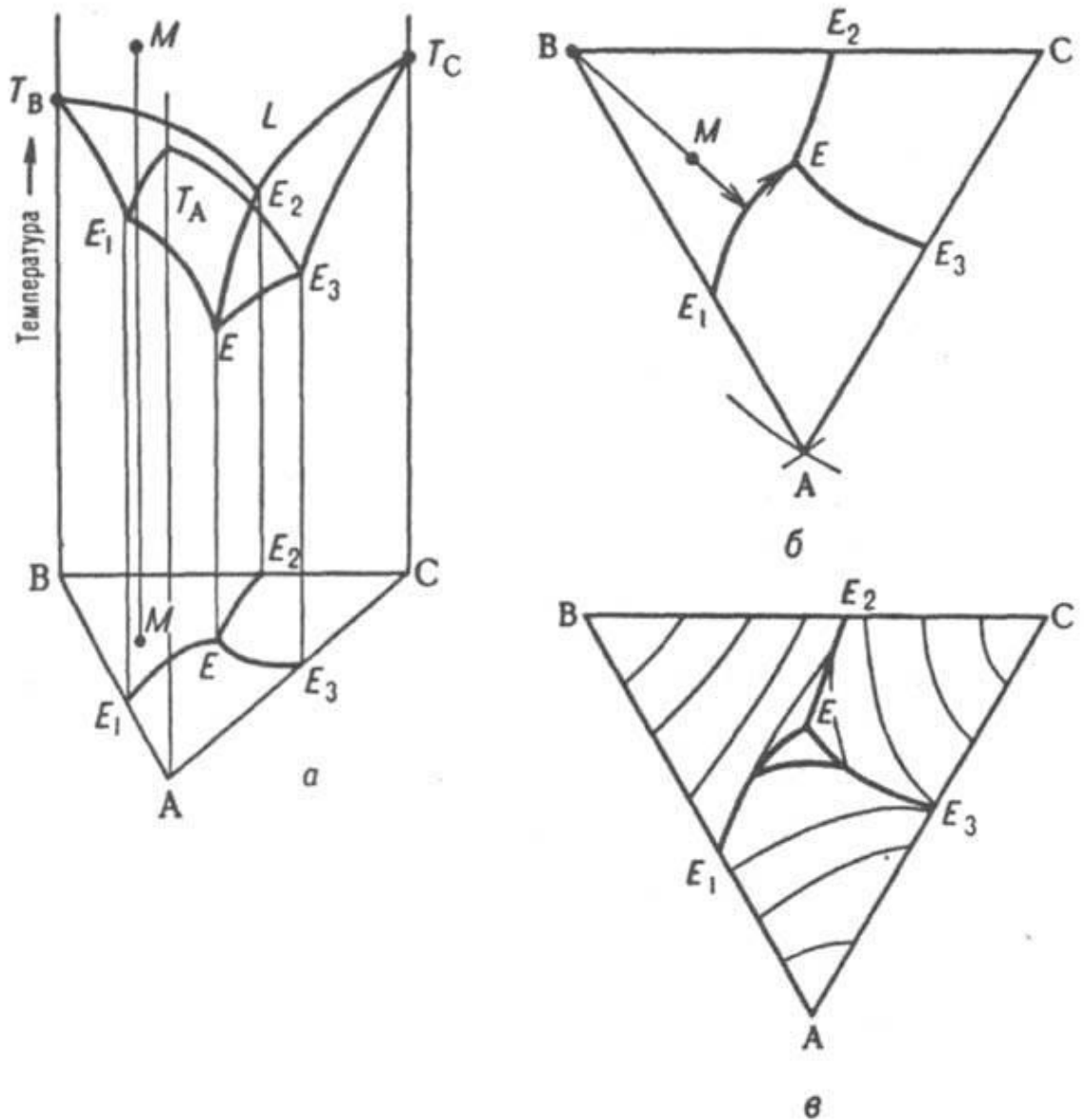


Мал. 6.2. Проекція діаграми мал. 2.9.1 б на площину трикутника $A'B'C'$

Стани потрійних систем однозначно визначаються чотирма незалежними параметрами: T (температурою), p (тиском) і молярними (масовими) долями двох компонентів (частка третього компоненту визначається з умови рівності одиниці суми часток всіх компонентів). Тому

при побудові діаграм стану потрібних систем один з незалежних параметрів (p або T) або два (p і T) фіксують і розглядають просторові ізобарні або ізотермічні діаграми або плоскі ізобарно-ізотермічні діаграми, відповідні одному з перетинів просторової діаграми стану. Кожному складу потрібної суміші відповідає певна точка на площині складів. Область можливих складів потрібних систем називається композиційним трикутником або трикутником складів. У системі прямокутних координат він є прямокутним рівнобедrenим трикутником, вершини якого відповідають компонентам A , B і C , а сторони - подвійним сумішам AB , BC і CA . Поширеніше використання рівностороннього композиційного трикутника. В цьому випадку всі компоненти рівноправні, а за початок координат можна з рівним оснований прийняти будь-яку з його вершин. Для побудови просторової ізобарної або ізотермічної діаграми стану по координатній осі, перпендикулярній композиційному трикутнику, відкладають відповідно T або p . При цьому фігуративні точки системи в цілому і її трикомпонентних фаз виявляються розташованими усередині тригранної призми, грані якої зображають подвійні системи, ребра -однокомпонентні системи. На мал. 5.3а зображена проста **діаграма плавкості** потрібної системи, компоненти якої A , B і C не утворюють один з одним твердих розчинів і (або) хімічна сполука і не розшаровуються в рідкому стані (необмежено взаємно розчинні). Поверхня температур початку кристалізації потрібних розплавів (поверхня ліквідуса) складається з трьох полів $-T_A E_1 E E_3$, $T B E_1 E E_2$ і $T c e_2 e e_3$, що відповідають кристалізації A , B і C відповідно і розділених трьома прикордонними кривими $E_1 E$, $E_2 E$ і $E_3 E$. Ортогональні проєкції прикордонних ліній на композиції трикутник утворюють так звану плоску діаграму плавкості потрібної системи (мал. 6.3б) з трьома полями кристалізації компонентів $A E_1 E E_3$, $B e_1 e e_2$, $C e_2 e e_3$. Повнішу інформацію про систему дає плоска діаграма з нанесеними на ній ізотермами проєкціями кривих перетину поверхні ліквідуса рівновіддаленими площинами (мал. 5.3в). Розглянемо за допомогою діаграми стану процеси, що відбуваються при охолодженні

рідкого розплава первинний стан якого зображається, наприклад, фігуративною точкою М. Тому, що вертикальна пряма, яка проходить через М, перетинає поле кристалізації У (на плоскій діаграмі проекція точки М знаходиться в полі кристалізації В), першим починає кристалізуватися саме цей компонент.

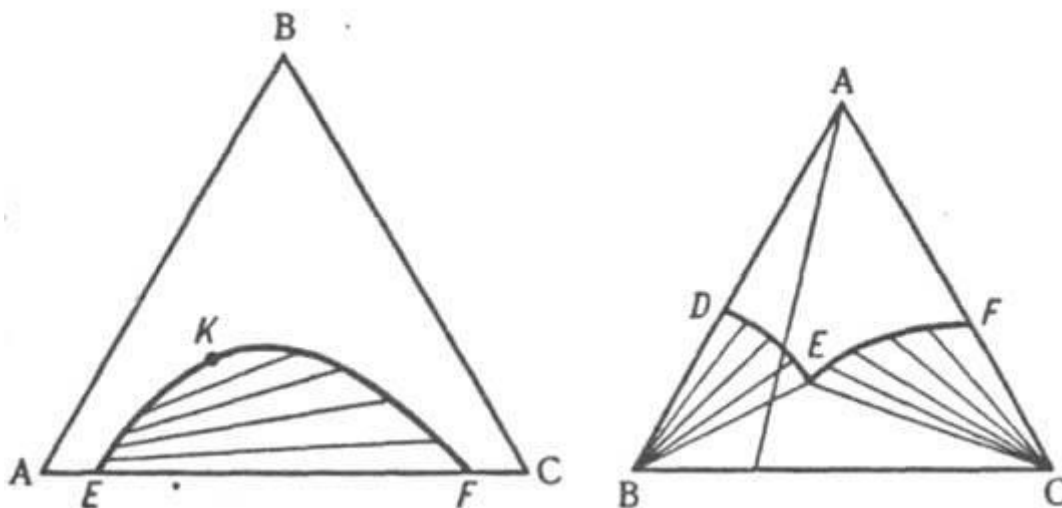


Мал. 6.3. Діаграма плавкості потрійної системи евтектичного типу: а - просторова діаграма, б плоска діаграма, в плоска діаграма з нанесеними на

ній ізотермами. T_A , T_B , T_C температури плавлення компонентів A , B і C відповідно, L область існування рідкої фази; E_1 , E_2 , E_3 евтектич. точки подвійних систем AB , BC і CA відповідно., E потрійна евтектич. точка; M фігуративна точка системи.

Спочатку однофазна і чотирьохваріантна (умовно трьохваріантна) система стає двофазною і трьохваріантною (умовно диваріантною). Співвідношення кількостей A і C в розплаві при кристалізації U не змінюється, тому склад рідини у ході кристалізації U змінюється уподовженою прямою (луча кристалізації), що проходить через точки M і B напрямі видалення від вершини C . В точці перетину луча кристалізації з прикордонною кривою E_1E починає кристалізуватися ще і A , система стає трифазною (умовно моноваріантною). При подальшому охолодженні фігуративна точка рідкої фази зміщується уздовж прикордонної лінії E_1E напрямку до потрійної евтектичної точки E , в якій відбувається кристалізація всіх трьох компонентів при постійній температурі, що завершується повним твердінням системи. Евтектична температура відповідає умовно нонваріантній рівновазі всіх чотирьох фаз. Кристалізація потрійної рідкої суміші будь-якого складу в системі такого типу завжди закінчується утворенням потрійної евтектики тобто поверхнею солідусу даної системи є горизонтальна площина, що проходить через точку E . Звичайно розглядають ізотермічний перетин ізобарної просторової діаграми, званої ізобарно-ізотермічної. Якщо при деякій температурі всі три компоненти – рідини з яких дві обмежено змішуються один з одним, на діаграмі стану, як і у разі подвійних систем, є область співіснування двох рідких фаз, обмежена бінодальною E_kf (мал. 6.4а). Якщо рідким є лише один з компонентів, наприклад вода у системі, що містить ще дві солі Y і Z із загальним іоном діаграма розчинності (мал. 6.4б) складається з чотирьох полів, що відповідають одній рідкій фазі L (поле $ADEF$), двофазним станам ($L + SB$) (поле DEB) і ($L + SC$) (поле FEC) з йодами, що проходять відповідно через

точки В і С, і умовно нонваріантному трифазному стану ($L + SB + SC$) (поле ВЕС), у якому тверді В і Із знаходяться в рівновазі з насиченим цими речовинами розчином складу Е, який називається евтонічним; що відповідає йому фігуративна точка називається **евтонічною** або **евтонікою**.



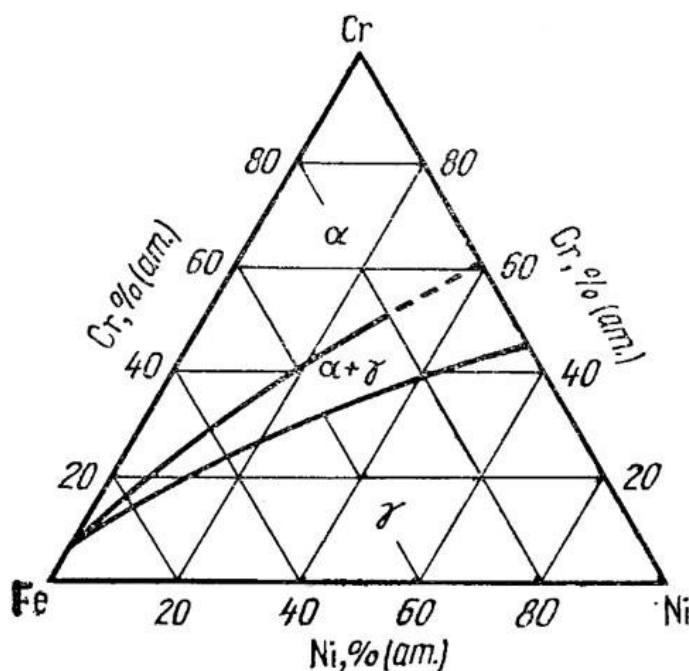
Мал. 6.4. Изобарно-ізоерміч. діаграма стану потрійної системи ABC з обмеженою взаємною розчинністю компонентів А і С в рідкому стані. EKF бінодаль, До - верхня критич. точка розчинності.- а.

Изобарно-ізоерміч. діаграма розчинності твердих В і С в рідкому розчинителі А. DE і EF - лінії розчинності (кристалізації), E - евтоніч точка (евтоніка) - б.

Лінії DE і FE - геометричне місце точок рідких фаз, що знаходяться в рівновазі відповідності з твердими В і С; вони називаються лініями розчинності або лініями кристалізації цих компонентів, оскільки в окремому випадку водних розчинів при ізоермічному випаренні води, що супроводжується рухом фігуративної точки рідини упродовж світіння випарення, що виходить з вершини А, після досягнення фігуративною точкою однією з цих ліній починається кристалізація відповідного

компоненту. При освіті в потрійній системі хімічних сполук (подвійних солей кристалогідратів інтерметалевих з'єднань і т. п.), а також твердих розчинів просторові діаграми стану і їх плоскі перетини ускладнюються. Для потрійних водно-сольових систем, що містять солі із загальними іонами при побудові ізобарно-ізотермічних діаграм стану по координатних осях (у прямокутній системі координат) іноді відкладають не масові або молярні долі компонентів, а молярні концентрації солей або молярну частку однієї з солей у загальній сольовій масі і число молей води на 100 молей сольової маси. Розроблені спеціальні методи побудови діаграм стану для потрійних систем, між компонентами яких можливі реакції заміщення (обміну) або витіснення, а також для систем, що містять чотири і більше компонентів.

Приведемо приклад потрійної діаграми для системи залізо-нікель-хром (Fe-Ni-Cr) мал. 6.5.

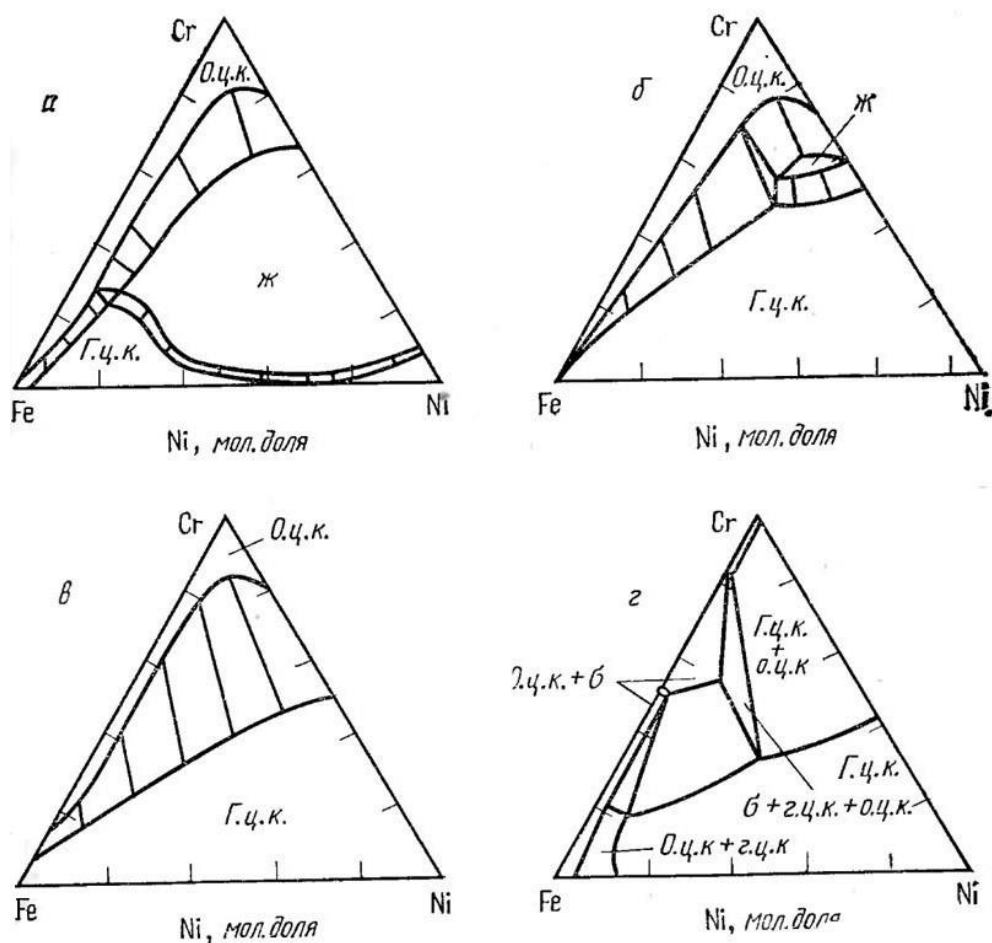


Мал. 6.5. Ізотермічний розріз системи залізо-нікель-хром при температурі 1300 К.

З боку подвійної системи залізо — нікель спостерігається широка область γ -твердих розчинів; з боку залізо — хром — область твердих розчинів а з о. ц. до. кристалічною решіткою.

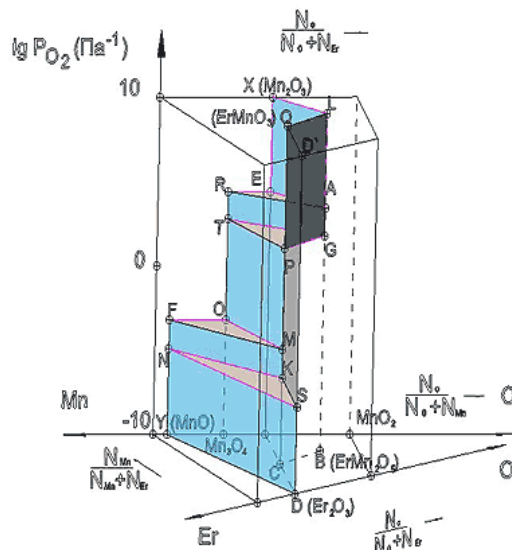
При температурах нижче 950—960 °С виявлена присутність γ -фази. Період грат β -твердого розчину залежно від складу змінюється в межах 0,2862—0,288 нм; γ -фази — в межах 0,3576—0,3585 нм; γ -фази від $a = 0,863$ нм; $c = 0,4559$ нм при $c/a = 0,528$ до $b = 0,8768$ нм; $c = 0,4530$ нм при $c/a = 0,517$. Структура γ -фази відображається в структурі типу ν -U.

На мал. 6.6 приведені ізотермічні розрізи системи при температурах 1700; 1600; 1373 і 923 До, побудовані на підставі термодинамічних розрахунків в наближенні регулярних розчинів.



Мал. 6.6. Ізотермічні розрізи системи залізо-нікель-хром при температурі 1700, 1600, 1373, 923 К.

Експериментальна побудова повних діаграм стану потрійних систем дуже трудомістка. Тим часом для практичних цілей нерідко достатньо побудови бічних подвійних систем і положення моноваріантних кривих, нонваріантних точок і областей розповсюдження твердих розчинів на основі компонентів потрійних систем. У ряді випадків термодинамічні розрахунки простих типів подвійних і потрійних діаграм стану дають результати, близькі до експериментальних даних. Для розрахунків рівноваги в потрійній системі використовують різні спрощені моделі; для вирішення складних термодинамічних рівнянь розроблені спеціальні програми і застосовується обчислювальна техніка. На мал. 6.7 приведено зображення експериментально фрагмента діаграми стану системи $Er - Mn - O$, отриманого на циркуляційно-вакуумній установці



Мал. 6.7. Експериментально отриманий фрагмент діаграми стану системи $Er-Mn-O$ при 1173К, в координатах "склад - тиск кисню".

7. ЗВ'ЯЗОК МІЖ ТИПОМ ДІАГРАМИ СТАНУ І

ВЛАСТИВОСТЯМИ СПЛАВІВ

Як відомо, вид діаграми стану залежить від того, які фази утворюють обидва компоненти. Властивості сплаву також залежать від того, які з'єднання або які фази утворили компоненти сплаву.

Тому наявно, що між видом діаграми стану і властивостями сплаву повинен існувати певний зв'язок. На мал. 7.1 приведено чотири основні типи діаграм станів і відповідні ним закономірності зміни властивостей сплаву із зміною концентрації :

1. При утворенні сумішей (мал. 7.1а) властивості сплаву змінюються по лінійному закону (аддитивно). Отже, значення властивостей сплаву знаходяться в інтервалі між властивостями чистих компонентів.

2. При утворенні твердих розчинів (мал. 7.1б) властивостей сплаву змінюються по криволінійній залежності, причому деякі властивості, в першу чергу електроопір, можуть значно відрізнятись від властивостей компонентів. Отже, при утворенні механічної суміші електроопір підвищується трохи, при утворенні твердого розчину — вельми сильно. Тому розпад твердого розчину на дві (або більш) фази приводить до підвищення електропровідності (закон Курнакова).

3. При утворенні обмежених твердих розчинів (мал. 7.1в) властивості в інтервалі концентрацій, що відповідає однофазним твердим розчинам, змінюються по криволінійному, а в двофазній області діаграми — по прямолінійному закону, причому крайні точки на прямій є властивостями чистих фаз, гранично насичених твердих розчинів, створюючих дану суміш.

4. При утворенні хімічної сполуки на діаграмі "концентрація — властивості" (мал. 7.1г) концентрація хімічної сполуки відповідає максимуму (або мінімуму) на кривій (в даному випадку перелом прямої). Ця точка перелому, відповідна хімічній сполуці, називається **сингулярною** (персоною) **точкою**. По діаграмі "склад — властивості" знаходимо стехіометричне співвідношення компонентів даної хімічної сполуки визначаючи, якій концентрації відповідає сингулярна точка.

Точне вивчення властивостей залежно від зміни концентрацій (тобто побудова діаграми "склад — властивості") є важливим доповненням при вивченні і побудові діаграм станів.

Метод вивчення змін властивостей залежно від зміни складу і побудови діаграми "склад — властивості" був покладений Н. С. Курнаковим в основу розробленого їм фізико-хімічного аналізу сплавів. В даний час фізико-хімічний аналіз є одним з основних методів вивчення сплавів і його широко застосовують в наукових дослідженнях нових сплавів при вивченні структурних перетворень і в інших випадках.

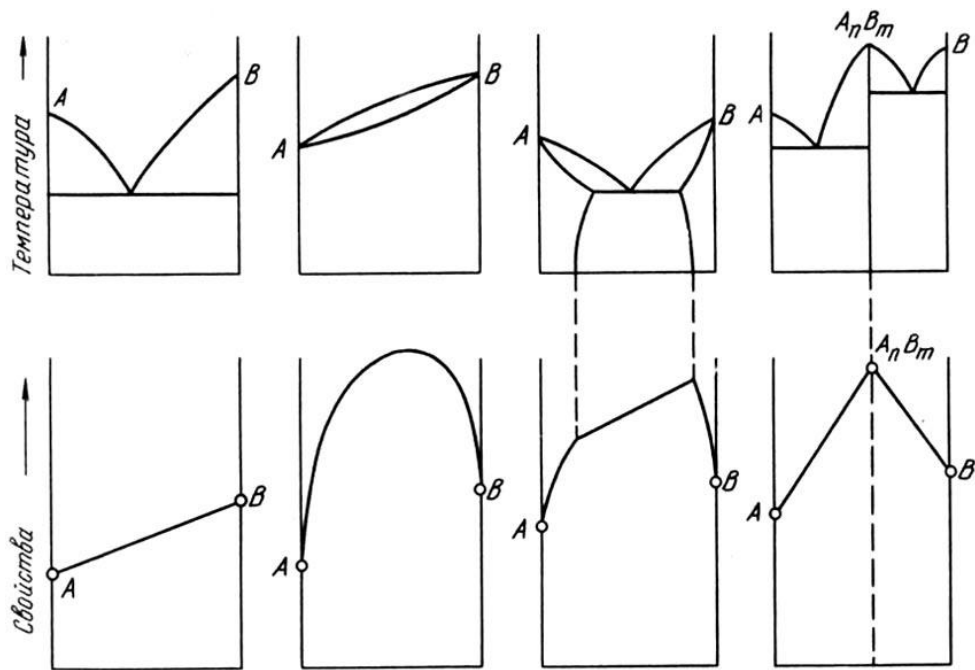


Рис.7.1. Зв'язок між типом діаграми стану і властивостями сплавів

8. ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Який процес називають кристалізацією сплавів?
2. Що таке варіантність системи?
3. Запишіть математичний зв'язок між числом компонентів (K), числом фаз (Φ) і варіантністю системи (C). Як називається цей закон?
4. Що таке діаграма стану? Як відбувається побудова діаграми стану?
5. Як діє правило фаз для діаграми стану?
6. Що таке крива охолодження?
7. Яку лінію на діаграмі стану називають лінією ліквідус?
8. Яку лінію на діаграмі стану називають лінією солідус?
9. Які сплави називають евтектичними?
10. Які сплави називають доевтектичними?

11. Які сплави називають заевтектичними?
12. Яке явище називається транскристалізацією?
13. Опишіть процес кристалізації.
14. Що з себе представляє «кристал Чернова»?
15. Намалюйте схему процесу кристалізації.
16. Намалюйте схему будови зливка металу після твердіння. Які там існують зони?
17. Перелічіть прізвища вчених які Ви зустріли прочитавши другий розділ.

9. ЛІТЕРАТУРА

1. Металознавство і термічна обробка сталі. Довідник. Т.1, Т.2, Т.3 - М.: Металургія, 1983. - 460 с.
2. Лахтін Ю.М. Матеріалознавство / [Навчань. для вузів]. Ю.М. Лахтін. М.: Машинобудування, 1980 - 493с.
3. В.С. Алексеев Матеріалознавство. Конспект лекцій. [Електронний ресурс]. – Електронні дані. Режим доступу: <http://www.fictionbook.ru>.
4. Технологія конструкційних матеріалів [Електронний ресурс]. – Електронні дані. Режим доступу: <http://elib.ispu.ru/library/lessons/tretjakova/index.html>.
5. Унікальні експонати музею військової академії РВСН імені Петра Великого. Пам'ятники науки і техніки [Електронний ресурс]. – Електронні дані. Режим доступу: http://geraldika.net/06_2007_10.htm.
6. Сергій Девятов. ProCast – віртуальне моделювання ливарних технологій. Для тих, хто попереду. [Електронний ресурс].Сапр і графіка – Електронні дані. Режим доступу: <http://www.sapr.ru/Article.aspx?id=17620>.
7. Лігатури (майстер сплави) на основі алюмінію [Електронний ресурс]. – Електронні дані. Режим доступу: http://www.lityo.com.ua/sas_1_7_1.html.
8. Діаграми стану подвійних і багатокомпонентних систем на основі заліза: Справ. видавництво / О. А. Банних, П. Би. С. П. Будберг, Алісова і ін.. - М.: Металургія, 1986. -440 с.
9. [Двойные и многокомпонентные системы на основе меди. Под ред. Шухардина С. В. Наука. / 1979. - 248 с.](#)
10. Діаграми стану подвійних металевих систем (під ред. Н.П. Лякишева). У 3-х тт. М.: Машинобудування, 1996-2000.
11. Гуляєв а.П. Металознавство. 5-е видавництво / А.П. Гуляєв. - М.: Металургія, 1977. - 648 с.
12. Гуляєв а.П. Металознавство. / А.П. Гуляєв. -М.: Металургія, 1986. - 541

- с.
13. Металографічні дослідження [Електронний ресурс]: База даних мікроструктур металів і сплавів. Режим доступу: http://www.microstructure.ru/ruqview2/forshura_4196.aspx?page=1
 14. **ДОВІДНИК МЕТАЛІСТА. у 5-и томах. ТОМ 2.** Під ред. А. Г. Рахштадта и В. А. Брострема. - М.: Машинобудування, 1976.- 720 с.
 15. Системи аналізу зображень і моделювання структур [Електронний ресурс]. – Електронні дані. Режим доступу: <http://www.siams.com>.
 16. Урал-М. Центр колективного користування. [Електронний ресурс]. – Електронні дані. Режим доступу: <http://ural-m.com/index.html>.
 17. Хімічна енциклопедія [Електронний ресурс]. – Електронні дані. Режим доступу: http://www.chemport.ru/chemical_encyclopedia_article_1048.html.
 18. Потрійні діаграми [Електронний ресурс] Енциклопедія. – Електронні дані. Режим доступу: J. Ramirez, X. Tong, Yili Lu, H.J. Diepers (Aachen), I. Steinbach (Aachen), A. Karma (NEU), and C. Beckermann Phase-Field Simulations with Convection [Электронный ресурс] Энциклопедия. – Электронные данные. Режим доступа: <http://www.icaen.uiowa.edu/~becker/solcast.html>.
 19. Загальна теорія сплавів. Будова, кристалізація і властивості сплавів. Діаграма стану [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://supermetalloved.narod.ru/14.pdf>.
 20. Марочник сталей і сплавів [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://www.markmet.ru>.
 21. Кауфман. Л., Бернштейн Х. Расчет диаграм стану за допомогою ЕОМ. Пер. з англ. / під ред. І. Л. Аптекаря, А. Я. Шиняєва. / Л. Кауфман., Х. Бернштейн. - М: Мир, 1972. - 328 С.
 22. Аносов в.Я. Основи фізико-хімічного аналізу / Аносов в.Я., Озерова м.І., Фіалков ю.Я. - М.: Наука, 1976. - 503 с.
 23. Захаров А. М. Діаграмми стани подвійних і потрійних систем / А. М Захаров. — М. : Металургія, 1978.—295 с.
 24. Глазов в.М. Фазові діаграми простих речовин / Глазов в.М., Лазарев в.Б., Жаров в.В. - М.: Наука, 1980. - 271 с.
 25. Зломанов в.П. Р-т-х діаграми двокомпонентних систем. - М.: МГУ, 1980. - 152 с.
 26. Петров д.А. Подвійні і потрійні системи / Д.А.Петров. - М.: Металургія, 1986. - 256 с.

ЗМІСТ

сторінки

1. Короткий огляд матеріалу розглянутого в попередніх частинах	3
2. Діаграма стану для сплавів, створюючих механічні суміші з чистих компонентів (I роду).....	7
3. Діаграма стану з необмеженою розчинністю в рідкому і твердому стані.....	9
4. Діаграма стану для сплавів з обмеженою розчинністю в твердому стані (III роду).....	13
4.1. Діаграма з евтектикою.....	13
4.2. Діаграма з перитектикою.....	17
5. Діаграма стану для сплавів створюючих хімічні сполуки (IV роду).....	20
5.1. Діаграма стану для сплавів створюючих стійкі хімічні сполуки.....	21
5.2. Діаграма стану для сплавів створюючих нестійкі хімічні сполуки.....	22
5.3. Діаграма стану для сплавів, що випробовують поліморфні перетворення.....	24
6. Потрійні системи.....	26
7. Зв'язок між типом діаграми стану і властивостями сплавів.....	37
8. Питання для самоконтролю.....	39
9. Література.....	41

КОНСПЕКТ З ДІСЦИПЛІНИ
ТЕХНОЛОГІЯ МЕТАЛІВ ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО
ЧАСТІНА 3
ТИПИ ДІАГРАМ СТАНУ СПЛАВІВ

На українській мові
для студентів напрямку:
«Машинобудування»

У к л а д а ч :
Валерій Олександровіч Колесніков

Редактор
Техн. редактор
Оригінал-макет Валерій Олександровіч Колесніков

Підписано до друку _____

Формат 60841/16 × Папір друкар. Гарнітура Times.

Друк офсетний. Усл. печ. л. _____. Уч.-изд. л. _____.

Тираж ___ примірників. Видавництво № _____. Замовлення № _____. Ціна договірна.

Видавництво Східноукраїнського національного університету
імені Володимира Даля

Адреси видавництва: 91034, м. Луганськ, кв. Молодіжній, 20а

Телефон: 8 (0642) 41-34-12, факс. 8 (0642) 41-31-60

E-mail: uni@snu.edu.ua <http://www.snu.edu.ua>