

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторної роботи № 4
«Діаграми стану та термічне оброблення сплавів»
з навчальної дисципліни «Системи технологій»
для здобувачів освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр»
спеціальності 131 «Прикладна механіка»

2024

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи № 4
«Діаграми стану та термічне оброблення сплавів» з навчальної
дисципліни «Системи технологій» для здобувачів
освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр» спеціальності 131
«Прикладна механіка» / Укл.: В.Г. Міщенко, Е.А. Бажміна –
Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2024. – 16 с.

Укладачі: В.Г. Міщенко, професор, д-р техн. наук
Е.А. Бажміна, доцентка, докторка філософії

Рецензент: М.Ю. Осіпов, доцент, канд. техн. наук

Гаранти ОПП: О.Є. Капустян, доцент кафедри «ІТЗ та МК»,
канд. техн. наук
М.Ю. Осіпов, доцент кафедри «ІТЗ та МК»,
канд. техн. наук

Відповідальний
за випуск: Е.А. Бажміна, доцентка, докторка філософії

Затверджено
на засіданні кафедри
«Інтегровані технології зварювання
та моделювання конструкцій»
Протокол № 7
від «3» квітня 2024 р.

Рекомендовано до видання
НМК ІФ факультету
Протокол № 9
від «14» травня 2024 р.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 МЕТА РОБОТИ	5
2 ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ.....	5
3 ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ	5
4 МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ	15
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА.....	16

ВСТУП

XXI століття – століття глобалізації, інформатизації та глибоких змін. За допомогою прискореного розвитку в новому столітті освіти, науки, техніки та новітніх технологій сучасні компанії перетворюються на власників потужного інтелектуального капіталу, відкривають нові виняткові можливості та створюють довгострокові цінності.

Ринок сприймає наукомістку, високоінтелектуальну, ефективну й екологічно небезпечну технологію, спроможну забезпечити значне підвищення продуктивності праці, зниження експлуатаційних витрат, енергоспоживання, високі конкурентні властивості продукції.

Необхідність змінити структуру і властивості сплавів може виникнути, якщо при отриманні деталі методом лиття сталася внутрішньокристалічна ліквідація, якщо треба зміцнити сплав термічним обробленням, і в деяких інших випадках. Для визначення можливості проведення термічного оброблення і призначення її температурного режиму треба знати закономірності зміни фазового складу залежно від температури та хімічного складу сплаву в цій системі. Графічна залежність, що містить цю інформацію, і є діаграмою стану.

Згідно з програмою навчальної дисципліни «Системи технологій» основною метою її викладання є формування та засвоєння студентами економічних основ технологічного розвитку, визначення та засвоєння чинників, що впливають на собівартість та якість продукції в порівнянні сучасних технологій України, Японії, США, Німеччини та інших розвинених країн світу, а також рівня розвитку технологій як пріоритетного напрямку забезпечення соціальних потреб населення та підвищення його життєвого рівня. Важливо знати принципи економічної доцільності вироблення певного продукту або досконалості й ефективності технологічного процесу та вміти їх визначити в грошовому еквіваленті.

Методичні вказівки призначені для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр» спеціальності 131 «Прикладна механіка».

1 МЕТА РОБОТИ

1. Вивчити основні різновиди діаграм стану подвійних сплавів.
2. Навчитися визначати за діаграмою стану можливість проведення термічного оброблення сплавів, їхнє зміцнення.

2 ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Прочитайте уважно теоретичні відомості про діаграми стану сплавів, термічне оброблення та його вплив на властивості сплавів.
2. Виконайте всі пункти завдання, зазначені викладачем. Проаналізуйте отримані результати та зробіть висновки щодо можливості використання діаграм стану для практичної роботи зі сплавами.
3. Поясніть, які сплави металевих систем можуть піддаватися зміцнювальному термічному обробленню.

3 ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ

Для практичної роботи з подвійними сплавами необхідно знати їхню структуру, можливість її зміни зі зміною температури та складу сплаву. Відповідно, можна зробити висновки щодо властивостей сплавів і можливості зміни властивостей у потрібному напрямку. Необхідність змінити структуру і властивості сплавів може виникнути, якщо при отриманні деталі методом лиття сталася внутрішньокристалічна ліквідація, якщо треба зміцнити сплав термічним обробленням, і в деяких інших випадках. Для визначення можливості проведення термічного оброблення і призначення її температурного режиму треба знати закономірності зміни фазового складу залежно від температури та хімічного складу сплаву в цій системі. Графічна залежність, що містить цю інформацію, і є діаграмою стану. Діаграми стану дають змогу отримувати різнобічну інформацію про сплави. З їх допомогою можна зробити висновки щодо ливарних властивостей сплавів і, відповідно, можливості отримання з них виливка, схильності сплавів до внутрішньокристалічної ліквідації та ліквідації за питомою вагою при кристалізації, пластичності різних сплавів і можливості їх пластичної деформації при виготовленні виробів.

Найчастіше для побудови діаграм стану металевих систем використовують термічний аналіз, що ґрунтується на тому, що плавлення, кристалізація і всі структурні зміни сплавів у твердому стані відбуваються з тепловими ефектами (з поглинанням або виділенням тепла). Отже, знімаючи криві нагріву або охолодження сплавів різного складу якої-небудь системи, можна зафіксувати температури, при яких відбуваються ті або інші зміни в структурі. Якщо потім цю інформацію представити графічно в координатах «температура – склад сплаву», то вийде діаграма стану системи.

Залежно від характеру взаємодії компонентів у сплаві, відповідності або відмінності в їхній атомно-кристалічній будові можливе утворення різних фаз: твердих розчинів, фазових сумішей кристалів окремих компонентів, хімічних сполук тощо. Ця взаємодія описується різними видами діаграм стану з різними можливостями зміни структури та проведення термічного оброблення сплавів.

Основні різновиди таких діаграм розглядаються в загальному вигляді нижче.

Типи подвійних діаграм

У цій системі в рідкому стані компоненти A і B розчиняються один в одному, а у твердому не розчиняються. На вертикальній осі на діаграмах завжди відкладається температура, а на горизонтальній – склад сплаву у відсотках. На приведеній діаграмі в точці x_1 міститься 100 % компонента A , праворуч від цієї точки збільшується кількість компонента B у сплавах, і в точці x_3 міститься 100 % компонента B (рис. 3.1). Точка a відповідає температурі плавлення компонента A , а точка c – компонента B .

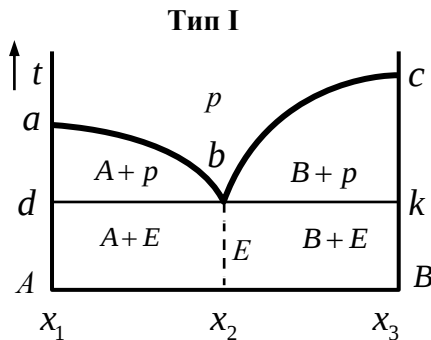


Рисунок 3.1 – Діаграма з повною нерозчинністю компонентів у твердому стані

Якщо розглядати діаграму при пониженні температури (зверху вниз), то перетин кожної лінії відповідає зміні фазового стану, будови сплавів цієї системи. На рис. 3.1 лінія abc є геометричним місцем температур початку кристалізації сплавів і називається лінією ліквідус. Вище за цю лінію всі сплави системи $A - B$ знаходяться в рідкому стані.

Лінія dbk є геометричним місцем температур кінця кристалізації й називається лінією солідус. Нижче неї всі сплави знаходяться у твердому стані. Отже, між лініями ліквідус і солідус сплав знаходиться у двофазному стані (і рідкому, і твердому), тобто в областях $abda$ і $bckb$ відбуваються процеси кристалізації (при охолодженні) і плавлення (при нагріванні).

При охолодженні з рідкого стану на лініях ab і bc починається процес кристалізації. Оскільки компоненти цієї системи не розчиняються один в одному й хімічно не взаємодіють, то при кристалізації утворюються кристали чистих компонентів. Причому, в області $abda$ сприятливіші умови для утворення в рідині зародків компонента A і зростання з них кристалів, а в області $bckb$ – компонента B . Тому на лінії ab починається кристалізація компонента A , а на лінії bc – компонента B . При подальшому пониженні температури ці процеси тривають до лінії солідус dbk .

Точка b на діаграмі називається евтектичною, вона належить одночасно лінії ab і лінії bc . При кристалізації сплаву евтектичного складу (x_2) у точці b одночасно формуються кристали компонентів A і B , внаслідок чого утворюється дрібна фазова суміш кристалів A і B , яка називається евтектикою. Евтектика зберігається в цьому сплаві і при подальшому охолодженні у твердому стані.

При кристалізації компонентів A і B в областях $abda$ і $bckb$ склад рідини, що залишилася, безперервно змінюється. У першому випадку вона збіднюється компонентом A , у другому – B . Коли охолодження доходить до лінії dbk , склад рідини, що залишилася, стає подібним евтектичному (x_2). Тому на лінії dbk , так само як і в точці b , кристалізується евтектика.

У твердому стані (нижче лінії dbk) структура доевтектичних сплавів (в інтервалі концентрацій $x_1 - x_2$) складатиметься з кристалів компонента A й евтектики, структура евтектичного сплаву (складу x_2) – з однієї евтектики, структура заевтектичних сплавів (у інтервалі концентрацій $x_2 - x_3$) – з кристалів компонента B і евтектики. Подальше

оохолодження у твердому стані не призводить до деяких змін у структурі, оскільки ніяких ліній у нижній частині діаграми немає.

Оцінимо можливість термічного оброблення сплавів системи з повною нерозчинністю компонентів у твердому стані.

Термічним обробленням називають зміну структури та властивостей сплавів шляхом нагріву їх до певної температури, витримки й охолодження з необхідною швидкістю. Якщо подивитися на діаграму, зображену на рис. 3.1, то видно, що нагрів і охолодження сплавів цієї системи у твердому стані не призводять до зміни структури, а тому, – і властивостей. Це свідчить, що зміцнювальне термічне оброблення сплавів подібних систем неможливе.

У випадку, коли компоненти C і D розчиняються один в одному у твердому стані в усьому інтервалі концентрацій від 0 до 100 % треба розглядати діаграму системи сплавів $C - D$ (рис. 3.2). Точки a і b – температури плавлення (кристалізації) компонентів C і D відповідно. Верхня лінія є лінією ліквідус, тому, вище неї всі сплави цієї системи знаходяться в рідкому стані. Нижня лінія – лінія солідус, нижче якої всі сплави знаходяться у твердому стані. Кристалізація при охолодженні рідини починається на лінії ліквідус, за такої умови утворюються кристали твердого розчину C в D (чи D в C), закінчується цей процес на лінії солідус. Нижче солідусу, тобто у твердому стані, структура сплавів – це кристали твердого розчину заміщення. При подальшому охолодженні до кімнатної температури змін у структурі не відбувається. Оскільки нагрів і охолодження сплавів цієї системи у твердому стані не призводять до зміни структури, зміцнювальне термічне оброблення сплавів подібних систем неможливе.

Тип II

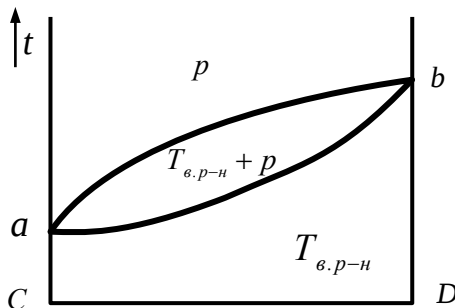


Рисунок 3.2 – Діаграма з необмеженою розчинністю компонентів у твердому стані

Якщо в процесі кристалізації відбулась внутрішньокристалічна ліквідація, то усунути або зменшити неоднорідність хімічного складу в сплаві можна термічним обробленням – дифузійним відпалом (чи гомогенізацією). Для цього необхідно нагріти сплав до високих температур, щоб прискорити дифузійні процеси, витримати при цих температурах тривалий час (години або десятки годин) наступним повільним охолодженням. Режим дифузійного відпалу наведено на рис. 3.3 (заштрихований інтервал температур).

Тип II а

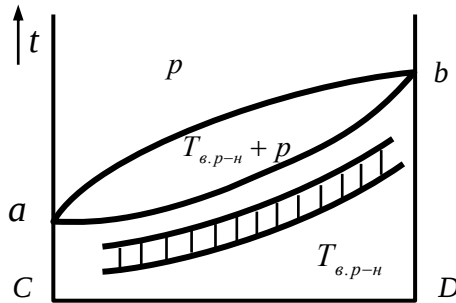


Рисунок 3.3 – Область визначення відпалу на діаграмі з необмеженою розчинністю

У системі, зображеній на рис. 3.4, компонент K у компоненті M у твердому стані не розчиняється, а M у K розчиняється в обмежених кількостях. Позначимо твердий розчин компонента M у K буквою α . Такий твердий розчин з обмеженою розчинністю може утворитися як за типом заміщення, так і за типом впровадження. При температурі t_1 у твердому розчині α може розчинитися x_2 компонента M , а при кімнатній температурі – x_1 , тобто з пониженням температури розчинність M у твердому розчині α зменшується.

Лінія abc – ліквідус діаграми, тому, при вищих температурах усі сплави цієї системи знаходяться в рідкому стані.

Лінія $adbf$ – солідус, нижче неї сплави знаходяться в твердому стані.

При охолодженні доєвтектичних сплавів (з концентрацією компонента M до x_3) в області $abda$ відбуватиметься кристалізація твердого розчину α , а в заєвтектичних сплавах (з концентрацією M більше x_3) в області $bcfb$ – кристалізація компонента M . Водночас у сплавах із концентрацією M до x_2 кристалізація закінчується на лінії ad

Для систем із твердими розчинами з обмеженою розчинністю компонентів, залежною від температури (подібних до системи на рис. 3.4), можливе зміцнювальне термічне оброблення. Суть його полягає в наступному. Якщо взяти сплав складу 1 – І зі структурою, що складається з кристалів α і часток M , нагрівати його до температури точки 1 (вище за лінію de), витримати при цій температурі, щоб усі частки M розчинилися у твердому розчині α , і швидко охолодити, то компонент M не встигне виділитися з твердого розчину. Після охолодження структура сплаву буде пересиченим твердим розчином α' . Цей процес називається гартуванням. При витримці загартованого сплаву при кімнатній або дещо підвищеній температурі з пересиченого твердого розчину виділятиметься надмірний компонент M з утворенням дисперсних (дуже дрібних) часток: $\alpha' \rightarrow \alpha + M_{дисп.}$ Такий процес називається старінням (при кімнатній температурі – природне старіння, а при підвищених температурах – штучне).

Дрібнодисперсні частки, що утворюються при старінні, є ефективними перешкодами для руху дислокацій і тим самим зміцнюють сплав, підвищують його характеристики міцності. Отже, зміцнювальне термічне оброблення сплавів подібних систем полягає в гартуванні та старінні. У реальних сплавах трапляються варіанти, коли обидва компоненти обмежено розчиняються один в одному у твердому стані. У цьому випадку в системі буде два тверді розчини. Приклад такої діаграми показаний на рис. 3.5.

Тип IV

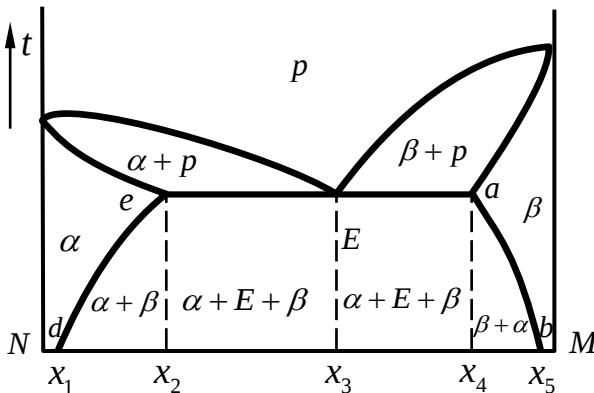


Рисунок 3.5 – Діаграма стану з обмеженою розчинністю обох компонентів один в одному

Тут є твердий розчин M в $N(\alpha)$ і твердий розчин N в $M(\beta)$. Лінії de й ab показують, відповідно, граничну розчинність компонентів M і N у твердих розчинах α і β залежно від температури. Сплави такої системи також можуть піддаватися зміцнювальному термічному обробленню (гартуванню і старінню). Якщо розчинність компонента у твердому розчині не залежить від температури, то термічне оброблення (гартування) стає неможливим, оскільки не можна отримати пересичений твердий розчин, необхідний для утворення при подальшому старінні дисперсної зміцнювальної фази. Приклад такої діаграми показаний на рис. 3.6. Тут концентрація компонента P у твердому розчині α постійна й рівна x_1 .

Тип V

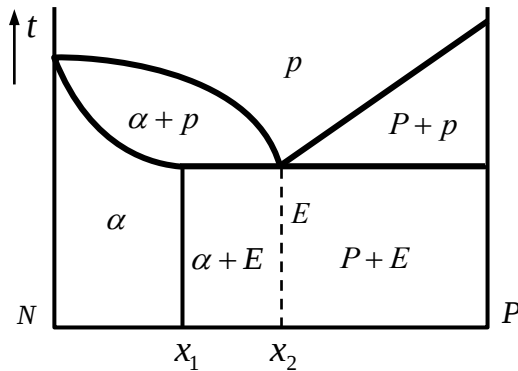


Рисунок 3.6 – Діаграма стану, в якій розчинність одного з компонентів не залежить від температури

Якщо в процесі кристалізації компоненти утворюють стійку хімічну сполуку, то вона грає роль самостійного компонента в системі. З урахуванням цього, будь-яку діаграму з хімічною сполукою можна аналізувати, розклавши її умовно на простіші діаграми, аналогічні розглянутим вище.

На рис. 3.7 показана діаграма з утворенням хімічної сполуки A_mD_n між компонентами A і D . Цю діаграму умовно можна розділити на дві простих діаграми: $A - A_mD_n$ і $A_mD_n - D$ (лінії ліквідус abc і cdf , лінії солідус kbm і $ndef$). Перша з них – типова діаграма з повною нерозчинністю компонентів у твердому стані, а друга – діаграма з обмеженою розчинністю компонентів. З урахуванням цього і вказані фази в областях діаграми на рис. 3.7.

У цій системі 2 евтектики (точки b і d); одна з них E_1 – складається з кристалів $A + A_mD_n$, а інша E_2 – з кристалів $A_mD_n + \alpha$. Компонент A обмежено розчиняється в D з утворенням твердого розчину α . Як видно з рис. 3.7, для сплавів у правій частині системи можливе зміцнювальне термічне оброблення (гартування і старіння).

Тип VI

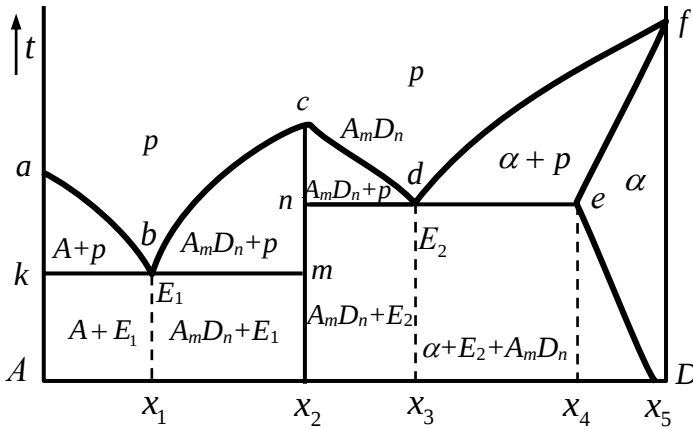


Рисунок 3.7 – Діаграма стану з утворенням хімічної сполуки між компонентами

Якщо один або обидва компоненти при нагріванні й охолодженні у твердому стані міняють свою кристалічну будову, то це позначається на вигляді діаграми. На ній з'являються додаткові лінії, що характеризують зміну кристалічної ґратки компонентів та їхню взаємодію після такої зміни з утворенням нових фаз у твердому стані. Така діаграма показана на рис. 3.8.

Для зручності розгляду цю діаграму умовно можна розділити на дві, перша з яких – верхня частина діаграми, що показує процеси, які ідуть при кристалізації рідини (згори й до лінії cdf). Це діаграма з повною розчинністю компонентів у твердому стані. Друга умовна діаграма – це нижня частина системи $B-K$, що показує процеси, які проходять у сплавах у твердому стані (нижче лінії солідус ab). Це діаграма з обмеженою розчинністю компонентів у твердому стані.

Тип VII

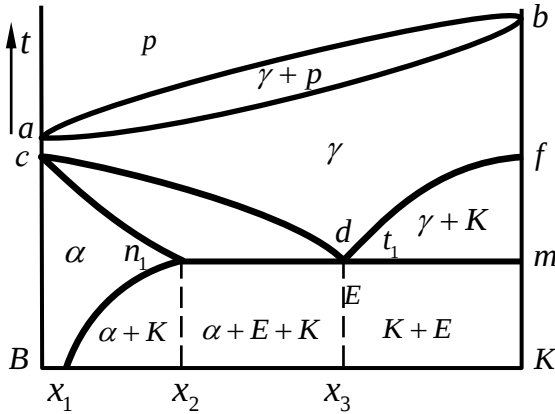


Рисунок 3.8 – Діаграма стану з фазовим перетворенням у твердому стані

При розгляді цих умовних простих діаграм треба використати вище викладений матеріал. У системі $B - K$ є два типи твердих розчинів: γ – твердий розчин з необмеженою розчинністю компонентів і α – твердий розчин із обмеженою розчинністю компонента K у B . Межа розчинності складає x_2 при температурі t_1 і x_1 при кімнатній температурі. Відрізняються ці тверді розчини кристалічною будовою.

У точці c відбувається зміна кристалічної ґратки компонента B , а в точці f – компонента K . При охолодженні сплавів на лінії cdf починається перетворення твердого розчину γ в інші фази (у зв'язку зі зміною кристалічної ґратки компонентів). Водночас у сплавах із концентрацією до x_3 (ліва частина діаграми) утворюються кристали твердого розчину α , а в сплавах із концентрацією K більше x_3 – кристали компонента K . Закінчується це перетворення γ на лінії md при температурі t_1 утворенням механічної суміші типу евтектичної (така суміш називається евтектоїдною) з кристалів твердого розчину α і компонента K . Лінія md показує граничну розчинність K у твердому розчині α залежно від температури.

Як видно з рис. 3.8, для сплавів таких систем можна проводити зміцнювальне термічне оброблення.

4 МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

Розглянути детально діаграму стану сплаву за вказівкою викладача – з аналізом процесів, що йдуть при охолодженні або нагріванні сплавів, аналізом фаз, які утворюються в усіх областях діаграми, поясненням значення ліній на діаграмі.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Афтанділянц Є Г., Зазимко О. В., Лопатько К. Г. Матеріалознавство : підручник. К. : Вища освіта, 2012. 548 с.
2. Дяченко С. С., Дощечкіна І. В., Мовлян А. О., Плешаков Е. І. Матеріалознавство : підручник. Харків : ХНАДУ, 2007. 440 с.
3. Міщенко В. Г., Лоскутов С. В. Технології виробництва спеціальних сталей та їхні фізико-механічні властивості : монографія. Riga, Latvia : «Baltija Publishing», 2023. 168 с.
4. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство : Практикум : навч. посібник / В.В. Попович, А.І. Кондир, Е.І. Плешаков та ін. Львів : Світ, 2009. 552 с.