

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ СЕМЕНА КУЗНЕЦЯ

ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ

Методичні рекомендації
до самостійної роботи студентів
усіх спеціальностей
першого (бакалаврського) рівня

Харків
ХНЕУ ім. С. Кузнеця
2017

УДК 621(07)
ББК 30.12р
О-75

Затверджено на засіданні кафедри технології, екології та безпеки життєдіяльності.

Протокол № 2 від 14.09.2016 р.

Самостійне електронне текстове мережеве видання

Укладачі: С. М. Логвінков
О. М. Борисенко

Основи технологічних систем : методичні рекомендації до
О-75 самостійної роботи студентів усіх спеціальностей першого (бакалаврського) рівня : [Електронне видання] / уклад. С. М. Логвінков, О. М. Борисенко. – Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2017. – 43 с.

Подано основні закономірності будови і методи аналізу фазових змін у двокомпонентних діаграмах стану. Наведено приклади виконання завдань і варіанти діаграм стану для самостійного їх аналізу. Матеріал відповідає темам: "Діаграми стану як фізико-хімічні основи матеріалознавства", "Особливості будови двокомпонентних діаграм стану", "Основні види діаграм стану двокомпонентних систем" робочої програми навчальної дисципліни.

Рекомендовано для студентів усіх спеціальностей першого (бакалаврського) рівня.

УДК 621(07)
ББК 30.12р

© Харківський національний економічний
університет імені Семена Кузнеця, 2017

Вступ

Розвиток людства здійснюється через удосконалення штучних матеріалів і розширення сфер їх застосування для виготовлення засобів праці та предметів споживання. Емпіричний етап матеріалознавства змінився в 30-х роках ХХ сторіччя на науково обґрунтований вибір інгредієнтів матеріалів для прогнозованого забезпечення їх властивостей під час теплової обробки. Цьому сприяло формування академіком Н. С. Курнаковим нового вчення про діаграми стану і методи їх фізико-хімічного аналізу, які розвинені працями вчених (В. Я. Анесов, Л. С. Палатник, А. С. Бережний та ін.).

Найбільшого поширення на практиці мають діаграми стану, що взаємно зв'язують склад і температуру (типу "X – T") і дозволяють визначати якісні та кількісні зміни складу фаз у разі кристалізації розплавів або нагріванні композицій з вихідних речовин. Двокомпонентні діаграми стану є базовими в технологіях чавуну, сталі, оксидної кераміки, цементу та інших матеріалів. У цей час накопичений значний масив експериментальних даних про будову двокомпонентних діаграм стану, що дозволяє активно застосовувати їх у технологіях для формування необхідного комплексу фаз і властивостей синтезованих матеріалів.

"Основи технологічних систем" – навчальна дисципліна, що вивчає загальні принципи технологічного обґрунтування й прийняття ефективних рішень щодо корегування промислових процесів, підвищення дієздатності складних систем з урахуванням впливу зовнішніх факторів.

Об'єктом навчальної дисципліни є технологічні системи різного рівня складності, їх структурні елементи та зв'язки між ними в умовах адаптації до зовнішнього впливу.

Предметом навчальної дисципліни є технологічні системи, які є основою виготовлення сучасних матеріалів та виробів з них.

У процесі навчання студенти отримують необхідні знання під час лекційних занять та виконання практичних завдань. Також велике значення в процесі вивчення та закріплення знань має самостійна робота студентів.

Освоєння навичок самостійного аналізу фізико-хімічних систем, що описані двокомпонентними діаграмами стану, сприяє формуванню у студентів компетентності за основними поняттями матеріалознавства та концептуальними положеннями функціонування складних технологіч-

них систем з мінімізацією техніко-економічних параметрів проведення високотемпературних процесів і досягнення необхідних властивостей синтезованих матеріалів.

Матеріал відповідає темам: "Діаграми стану як фізико-хімічні основи матеріалознавства", "Особливості будови двокомпонентних діаграм стану", "Основні види діаграм стану двокомпонентних систем" робочої програми навчальної дисципліни.

У процесі виконання самостійної роботи основна увага приділяється оволодінню студентами професійними компетентностями, що наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Професійні компетентності, які отримують студенти після вивчення навчальної дисципліни

Код компетентності	Назва компетентності	Складові компетентності
ОТС	Здійснювати комплексне оцінювання діаграм стану двокомпонентних систем	Визначати структурні особливості системи. Визначати класифікаційні критерії входів та виходів технологічних систем
		Здійснювати аналіз будови діаграм стану двокомпонентних систем
		Визначати основні види діаграм стану двокомпонентних систем для їх подальшого аналізу

1. Діаграми стану – основа матеріалознавства.

Термодинамічна рівновага, основні правила та визначення

Діаграми стану стали основою технологій штучних матеріалів, коли Н. С. Курнаков запропонував відображати різні види фізико-хімічних процесів у формі графічних елементів й розробив основні правила зображення будови діаграм. Діаграми стану "X – T" типу – це рисунок, елементи якого (точки, горизонтальні та вертикальні відрізки прямих, лінії й області ними обмежені) відображають взаємозв'язок складу двокомпонентної суміші (X) з температурою (T) під час постійного тиску (якщо не обумовлено спеціально, то під час нормального атмосферного тиску). Такі діаграми вважають термодинамічно рівноважними, оскільки в них не враховується такий параметр, як час, а отже, передбачається завершеність усіх фізико-хімічних процесів незалежно від реальних швидкостей їх перебігу. Під час термодинамічної рівноваги всі частини фізико-хімічної системи мають однаковий хімічний потенціал і врівноважені в механічному відношенні.

Під *фізико-хімічною системою* мається на увазі виділена в просторі сукупність хімічних речовин, обмежених реальною фізичною межею чи уявною математичною поверхнею, здатних взаємодіяти між собою під час зміни зовнішніх умов.

Фаза – частина або сукупність гомогенних частин термодинамічно рівноважної системи, відокремлених від інших частин системи поверхнею поділу і які характеризуються, у відсутності зовнішніх полів сил, однаковими у всіх своїх точках складом і властивостями (у разі незалежності від маси) або не стрибкоподібно змінюють властивості зі зміною складу (маси) і зовнішніх умов.

Кожна фаза є визначеною індивідуальними макроскопічними властивостями, а між фазами існує *міжфазна поверхня* – поверхня поділу, перехід через яку стрибкоподібно змінює властивості.

Незалежні компоненти системи – це прості або складні хімічні речовини, найменше число яких необхідно і достатньо для утворення будь-якої з фаз цієї системи.

Гетерогенна система, на відміну від *гомогенної*, складається з декількох фаз.

Фазова рівновага – динамічний стан, під час якого окремі макроскопічні частини системи зберігають свої властивості під час незмінності параметрів стану (концентрація компонентів, обсяг, тиск, температура, гравітаційні та інші поля).

Ступені свободи – це такі незалежні параметри, які можна довільно міняти в певних межах їх значень без порушення фазової рівноваги, що не викликає зникнення одних і утворення інших фаз системи.

Число ступенів свободи визначає кількість параметрів, якими можна варіювати без зміни числа і природи фаз: 0 (інваріантний стан), 1 (моноваріантний), 2 (диваріантний).

Фігуративна точка – точка, позначена на діаграмі стану за певної концентрації компонентів і температури, переміщення якої передбачається простежувати у взаємозв'язку з фазовими змінами в системі.

Правило фаз Гіббса – число ступенів свободи (f) рівноважної системи дорівнює числу незалежних компонентів (k) плюс число зовнішніх параметрів (m) і мінус число співіснуючих фаз (p):

$$f = k + m - p. \quad (1.1)$$

У нашому випадку будуть розглядатися системи з одним зовнішнім параметром (температура), що визначає значення $m = 1$. Крім того, аналізуватися будуть двокомпонентні системи, тобто $k = 2$. Для розглянутих завдань (1.1) приймає вигляд:

$$f = 3 - p. \quad (1.2)$$

Структура рівняння (1.2) вказує, що в системі інваріантний стан ($f = 0$) досягається у разі співіснування 3-х різних фаз. Тому в двокомпонентних системах "Х – Т" типу в будь-якій точці не може існувати більше трьох фаз. В іншому випадку система не знаходиться в термодинамічній рівновазі й частина фаз зникне під час наближення до рівноважного стану.

Правило сполучної прямої – будь-яка фігуративна точка на діаграмі стану може бути використана для визначення якісного та кількісного складу фаз, що в ній співіснують. Для цього через фігуративну точку проводять паралельно осі концентрацій ($T = \text{const}$) пряму до перетину з найближчими суцільними лініями – точки перетину вкажуть на співіс-

нуючі фази, а кількісне співвідношення фаз визначається отриманими відрізками сполучної прямої згідно з правилом важеля.

Правило важеля – кількісне співвідношення фаз у будь-якій фігуративній точці діаграми стану обернено пропорційно співвідношенню відрізків сполучної прямої.

Якщо фігуративна точка А ділить сполучну пряму на два відрізки, на кінцях яких знаходяться склади фаз В і С, то в фігуративній точці А співіснують між собою (не взаємодіють) фази В і С, а їх кількісне співвідношення визначатиметься (рис. 1.1) обернено пропорційною залежністю:

$$\frac{\text{Кількість фази В}}{\text{Кількість фази С}} = \frac{\text{Довжина АС}}{\text{Довжина АВ}} \quad (1.3)$$

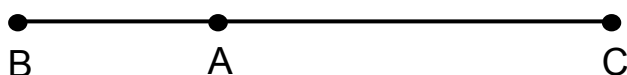


Рис. 1.1. Правило важеля

Сума відрізків сполучної прямої може бути прийнята за 100 % ($AB + AC = BC$) та вираз (1.3) набуде вигляду:

$$\text{кількість фази В} = AC / BC, \quad (1.4)$$

$$\text{кількість фази С} = AB / BC. \quad (1.5)$$

Правило важеля застосовується в побудові концентраційної осі діаграм стану, під час визначення вмісту компонентів системи у складі хімічних сполук, під час визначення у двофазних областях діаграм кількісних співвідношень цих фаз (наприклад, твердої фази певного складу і розплаву).

2. Елементи будови двокомпонентних діаграм стану

Основні *елементи будови* двокомпонентних діаграм стану: координатні осі; вертикалі складів; точки складів хімічних сполук на концентраційній осі; ізотерми поліморфних перетворень хімічних сполук; криві ліквідусу, сольвусу і солідусу; точки евтектик і перитектик, евтектоїдні і перитектоїдні точки; бінодальні, спінодальні криві і лінії ліквідації; коноди.

У двокомпонентних діаграмах стану дві *координатні осі*: вісь ординат – температурна і вісь абсцис – концентраційна. Концентраційна вісь має особливість – об'єднує дві осі – вісь зі зростаючим значенням концентрації одного компонента і спадним значенням іншого компонента. Точки початку і кінця концентраційної осі відповідають 100 % вмісту чистих компонентів, а вміст якого-небудь одного компонента визначається за різницею: 100 % мінус вміст іншого компонента (рис. 2.1).



Рис. 2.1. **Вміст компонентів у двокомпонентних діаграмах**

Вертикалі складів – перпендикуляр, опущений з будь-якої фігуративної точки на концентраційну вісь або відновлений до неї з будь-якої точки цієї осі. Всім точкам цього перпендикуляра відповідає однаковий склад з постійним вмістом компонентів.

Ізотерми – відрізки прямих, паралельних концентраційній осі. Ізотерми, що відзначають на діаграмах, часто розмежовують області, в яких присутні поліморфні модифікації однієї і тієї ж хімічної сполуки, які розрізняються між собою. Крім того, ізотерми на діаграмах стану часто є *конодами* – геометричне місце точок відрізка прямої, що відповідають співіснуванню фаз, склади яких лежать на кінцях цього відрізка.

Точки складів хімічних сполук – утворені перетинанням концентраційної осі з вертикаллю відповідного складу, що має індивідуальну будову з цілочисловим співвідношенням компонентів. Кожній хімічній сполуці відповідної діаграми відповідає конкретна точка складу і своя вертикаль складу. Позначають точки складів на осі концентрацій (наприклад, AB_2 , A_2B_5 , A_7B_{12} тощо) відповідно до вмісту компонентів у конкретному складі.

Іноді склад хімічних сполук записують уздовж вертикалі складу, а також застосовують скорочення (наприклад, 2 : 5 замість A_2B_5 , 7 : 12 замість A_7B_{12} і т. д.). Для визначення характеру плавлення хімічних сполук застосовують правила:

1. Якщо вертикаль складу хімічної сполуки доходить до кривої ліквідусу і в точці перетину відзначається максимум, то сполука плавиться *конгруентно* (без розкладання), утворюючи тільки розплав того ж складу, який був у твердій сполуці.

2. Якщо вертикаль складу хімічної сполуки не доходить до кривої ліквідусу, а обмежена ізотермою, що перетинає криву ліквідусу і утворює в точці перетину перегин, то хімічна сполука плавиться *інконгруентно* (з розкладанням) з утворенням розплаву й іншої твердої речовини, що відрізняються за складом від складу сполуки, що плавиться.

3. Хімічна сполука розкладається у твердому стані (або утворюється з двох сполук у твердому стані), якщо її вертикаль складу обмежена ізотермою (або виходить з ізотерми, відповідно), яка перетинає вертикалі складів двох інших сполук, точки складів яких найближчі та знаходяться по обидві сторони від точки складу аналізованої сполуки.

Криві *ліквідусу*, *солідусу* та *сольвусу* – це геометричні місця точок: повного переходу суміші компонентів та сполук з них у розплавлений стан; початку плавлення суміші та появи розплаву; граничної концентрації розчинення у твердому стані одного компонента в іншому. Ліквідус (з англ. "рідке") відокремлює на діаграмі стану область існування розплаву. Солідус (з англ. "тверде") відокремлює на діаграмі стану області існування компонентів та сполук, що знаходяться у твердому стані. Сольвус відокремлює на діаграмі стану область існування твердих розчинів компонентів або їх сполук одне в одному.

Точка евтектики на діаграмі стану зазвичай утворюється у випадку, коли компоненти незначно відрізняються за температурою плавлення, як правило, конгруентного. До того ж суміші таких компонентів у різних пропорціях забезпечують утворення кривих ліквідусу, що опускаються від температур плавлення індивідуальних компонентів і перетинаються з ізотермою – конодою в єдиній точці. Евтектика має строго певний склад і відповідає мінімальній температурі плавлення суміші компонентів – температура евтектики менша температур плавлення індивідуальних компонентів. У точці евтектики процес кристалізації (або плавлення, залежно від охолодження або нагрівання) завжди закінчується (починається, від-

повідно під час нагрівання суміші). Процес евтектичного плавлення вважається фізичною за своєю природою і він описується рівнянням:



де A, B – індивідуальні компоненти у твердому стані.

У точці евтектики на діаграмі стану співіснують три фази: два твердих компоненти (A, B) і рідина (розплав), що згідно правила фаз Гіббса (1.2) означає інваріантність точки (число ступенів свободи дорівнює нулю).

Під час інконгруентного плавлення хімічної сполуки на діаграмі стану в місці перетину ізотерми і кривої ліквідусу утворюється точка перегину на кривій ліквідусу, звана *перитектикою* чи перитектичною точкою. Ця точка також є інваріантною, але на відміну від евтектики, їй відповідає хімічний процес:



де A – твердий компонент;

BC – хімічна сполука, що інконгруентно плавиться.

У точці перитектики процес плавлення може не закінчуватися, що залежить від того, з якого боку від вертикалі складу сполуки BC знаходиться фігуративна точка (цим визначається надлишок або недостача A і рідини B (2.2)).

Якщо в реакціях (2.1) і (2.2) замість рідини беруть тверді розчини, то утворюється *евтектоїд* або *перитектоїд*, відповідно.

На відміну від індивідуальних хімічних сполук тверді розчини змінюють свій склад залежно від температури і вони можуть відповідати обмеженій розчинності компонентів один в одному або не мати граничної концентрації розчинності й утворювати безперервний ряд твердих розчинів. Евтектоїдні та перитектоїдні взаємодії відбуваються без участі розплаву, всі реагенти є твердими речовинами, що можливо тільки нижче солідусу (або кажуть: в субсолідусній області).

Деякі тверді розчини мають область взаємнорозмішуваності (розшарування, фазового розділення), що проявляється утворенням характерних графічних фігур – куполів (рідше перевернутих куполів або замкнутих областей) фазового розпаду твердих розчинів. Внутрішня крива

купола називається *спінодаль* і її обмежують склади абсолютно нестійких (дуже швидко розпадаються на два твердих розчини іншого складу) твердих розчини. Із зовнішнього боку купол обмежує *бінодаль*, а у вершині присутня критична точка взаємної розчинності.

Між бінодаллю і спінодаллю розташовуються концентраційні області твердих розчинів, які називають метастабільними (вони схильні до розпаду, але через повільні швидкості процесу можуть дуже довго зберігати свою структурну стійкість). Характерно, що і деякі склади розплавів здатні до розшарування, незмішуваності і це проявляється формуванням купола на кривій ліквідусу.

Розпад певного складу розплаву на два розплави іншого складу називають *ліквацією*.

На відміну від фазового розпаду твердих розчинів по спінодальному механізму, купол ліквації обмежений однією кривою і часто не має вершини (експериментально надзвичайно складно встановити точні концентрації рідкофазного поділу і верхню частину кривих до ймовірної вершини лише намічають пунктирними лініями).

3. Основні методи аналізу фазових змін та приклади виконання завдань

Для технічної практики найбільш цінну інформацію вдається витягувати під час вирішення аналітичних завдань за визначенням у двокомпонентних діаграмах стану складів сумішей за певною температурою (або зворотна задача), а також за визначенням послідовності фазових змін у ході плавлення (або кристалізації) сумішей, у тому числі з побудовою діаграм плавлення. Основні методи аналізу двокомпонентних діаграм стану доцільно розглядати на їх типових варіантах і з демонстрацією правил роботи на конкретних прикладах.

3.1. Графічний спосіб аналізу

Приклад 1

За діаграмою (рис. 3.1) визначити відсоткове співвідношення твердої і рідкої фаз для складу, що відповідає фігуративній точці N, який охолоджений до температури T_1 .

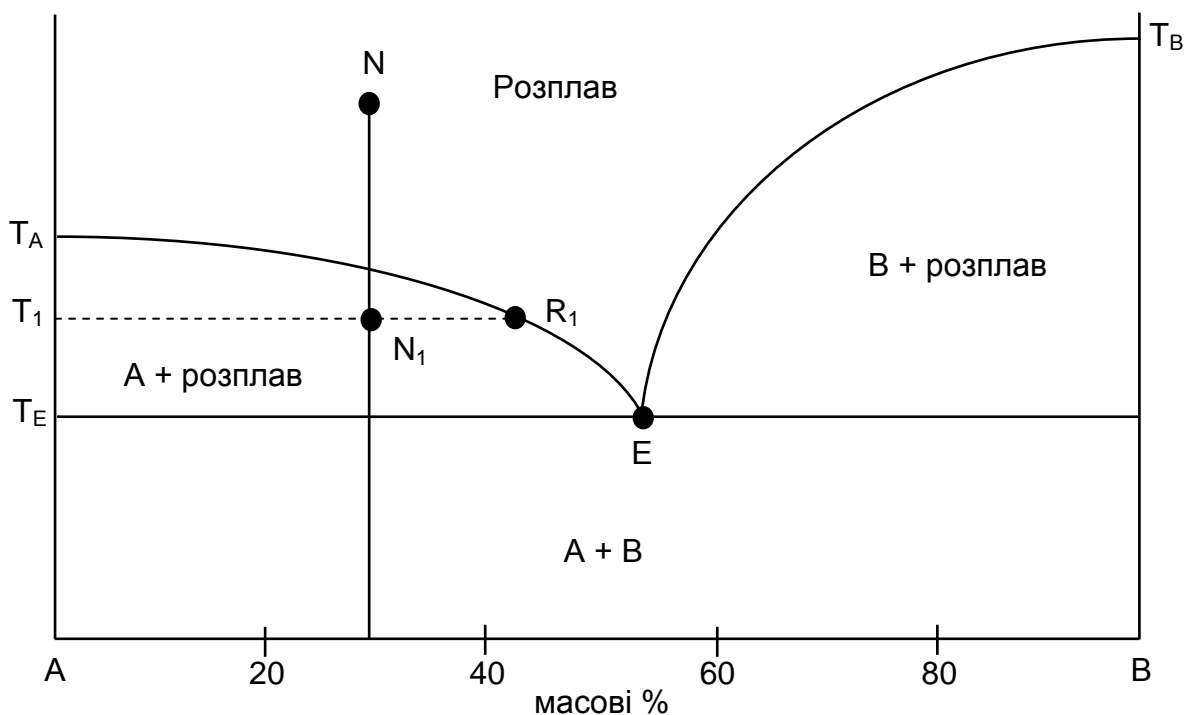
Відповідно до рис. 3.1 зазначаємо, що діаграма стану має інваріантну точку E, що відповідає евтектиці. Ізотерма за температури евтектики

(T_E) є солідусом, нижче якого розплав відсутній і розташована область складів з хімічної суміші твердих фаз А і В (визначається за правилом сполучної прямої в будь-якій точці цієї області).

Ламана крива T_AET_B відповідає ліквідусу і вище якої розташована область існування розплаву (число ступенів свободи згідно з правилом фаз Гіббса дорівнює 2, тобто незалежно один від одного можна змінювати і температуру і концентрацію компонентів не змінюючи природу і число фаз (єдина фаза – розплав)).

Задана фігуративна точка відповідає суміші компонентів з 70 % А і 30 % В (визначається точкою перетину концентраційної осі з перпендикуляром N) і відповідний склад знаходиться в розплавленому стані.

Для вирішення завдання проводимо сполучну пряму за заданою температурою T_1 , яка дає точку перетину з ліквідусом R_1 (відповідно, співіснують у цій області твердий компонент А і розплав).



**Рис. 3.1. Діаграма стану
двокомпонентної системи А – В з евтектикою**

Відрізок сполучної прямої T_1R_1 розділений вертикаллю складу, що відповідає фігуративній точці N, на два відрізки – T_1N_1 і N_1R_1 . Співвідношення цих відрізків відповідає співвідношенню розплаву і твердого А. Згідно з правилом важеля можна записати відсотковий склад твердої (ТВ) та рідкої (Р) фаз:

$$T_B = \frac{\text{Довжина відрізка } N_1 R_1}{\text{Довжина відрізка } T_1 R_1} \cdot 100 \%,$$

$$P = \frac{\text{Довжина відрізка } N_1 T_1}{\text{Довжина відрізка } T_1 R_1} \cdot 100 \%.$$

Приклад 2

За діаграмою (рис. 3.2) визначити кількість розплаву, що утворюється в суміші складу 80 % А і 20 % В під час її нагрівання до температури T_1 .

Відповідно до рис. 3.2 зазначаємо, що діаграма стану вказує на можливість утворення безперервного ряду твердих розчинів між А і В, складу яких змінюються згідно кривої сольвусу $T_A - M - T_B$. У цьому випадку крива сольвусу одночасно є і солідусом, нижче якого знаходиться лише твердий розчин з компонентів А і В. Крива $T_A N T_B$ відповідає ліквідусу і вище розташовується область існування розплаву. В області між солідусом і ліквідусом знаходиться область складів із суміші розплаву з твердим розчином змінного складу.

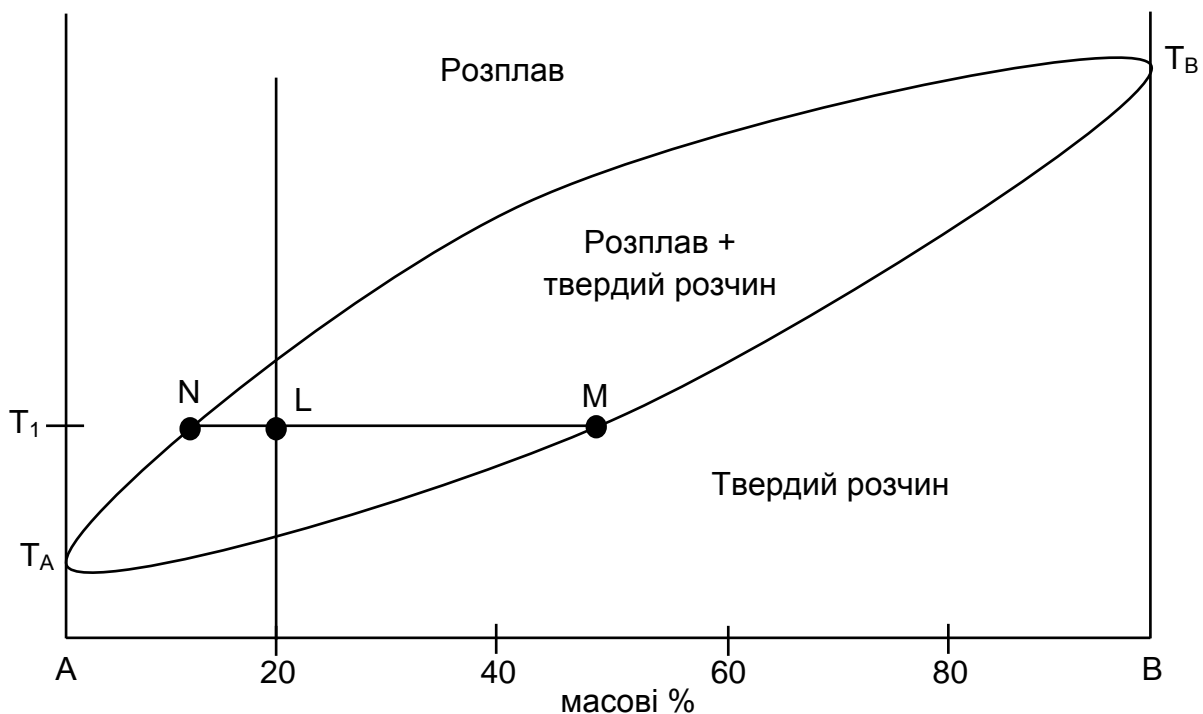


Рис. 3.2. Діаграма стану двокомпонентної системи А – В з безперервною областю твердих розчинів

Для вирішення завдання відновлюємо перпендикуляр з точки заданого складу суміші та визначаємо точку (L) під час перетину ізотерми для заданої температури T_1 . Відрізок ізотерми NM визначає співіснування

фаз і ділиться точкою L на частини, пропорційні вмісту твердої фази і розплаву. Для кількісного вмісту розплаву (P) згідно з правилом важеля запишемо:

$$P = \frac{\text{Довжина відрізка LM}}{\text{Довжина відрізка NM}} \cdot 100 \%$$

Приклад 3

За діаграмою (рис. 3.3) у полі кристалізації α -модифікації компонента В визначити склад вихідної суміші, яка забезпечує утворення 30 % розплаву за температури T_1 .

Діаграма стану на рис. 3.3 у своїй будові містить характерні елементи. За температури T_L спостерігається початок розшарування розплаву на два склади, які не змішуються, та відзначається формування області ліквіації, верхні межі якої достовірно не встановлені (передбачувані кордони відзначені пунктиром).

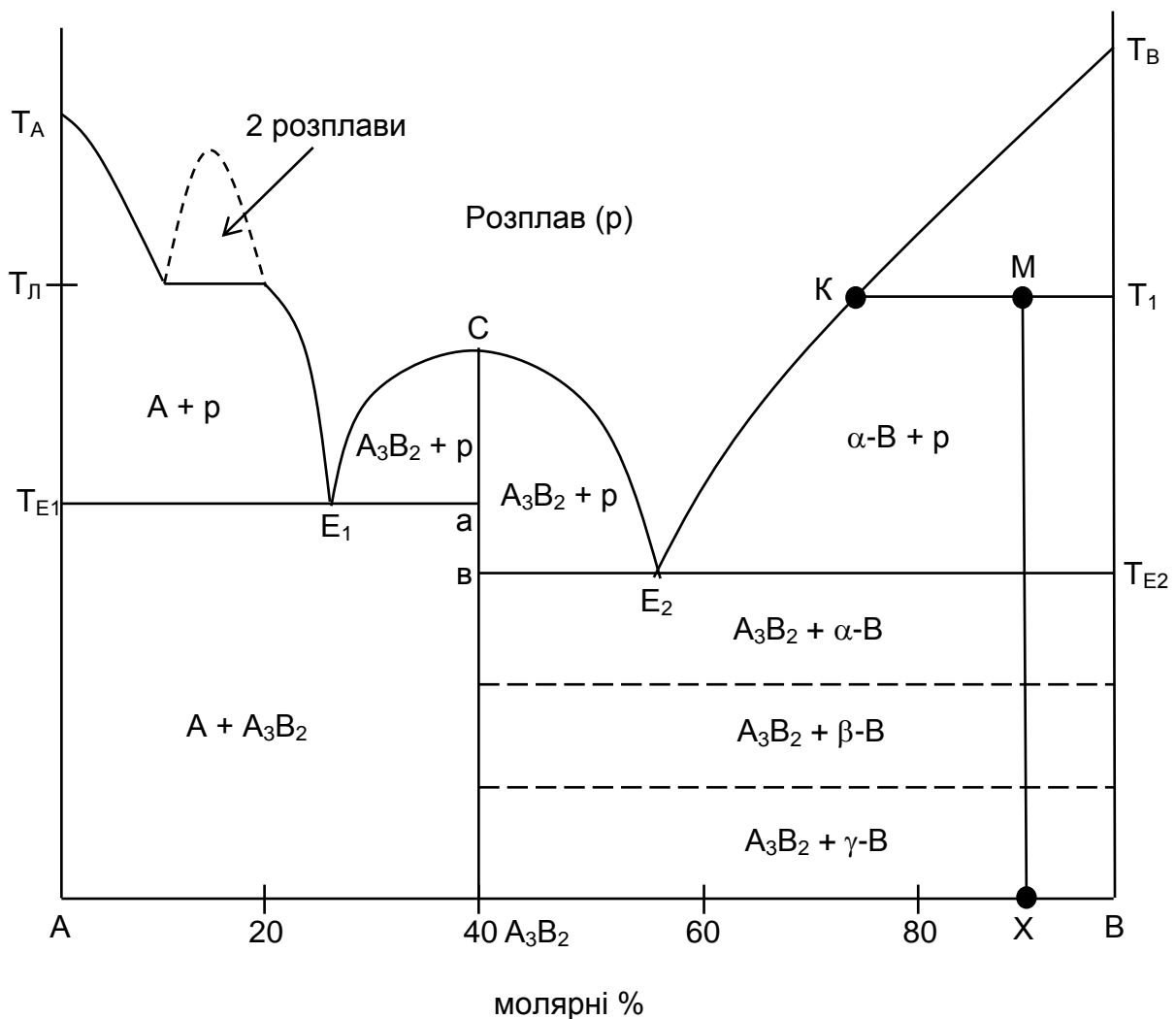


Рис. 3.3. Діаграма стану системи А – В

У системі є хімічна сполука, що відповідає складу A_3B_2 та плавиться конгруентно (вертикаль складу A_3B_2 впирається в купол у точці "С"). Вертикаль складу сполуки, що конгруентно плавиться, ділить діаграму на дві псевдосистеми, в яких сполука A_3B_2 утворює евтектики (E_1 і E_2) з відповідними компонентами системи (А і В). Компонент В може існувати у вигляді трьох поліморфних модифікацій, склад яких однаковий, а кристалічна будова відрізняється. Перехід поліморфних модифікацій компонента В (γ -В \leftrightarrow β -В \leftrightarrow α -В) відбувається за температур, зазначених на діаграмі пунктирними ізотермами. Солідус представлений ламаною $T_{E1} - a - b - T_{E2}$, ліквідус – $T_A - E_1 - c - E_2 - T_B$. Співіснуючі фази у відповідних областях діаграми записані згідно з правилом сполучної прямої.

Вирішення завдання починаємо з проведення сполучної прямої за заданою температурою в поле кристалізації поліморфної модифікації α - В: $T_1 - K$. Приймавши довжину відрізка T_1K за 100 %, визначаємо довжину, що відповідає 30 % та відкладаємо її, починаючи від точки T_1 – отримаємо точку М. Точка М ділить відрізок T_1K на частини, що відповідають вмісту 70 % твердого α - В і 30 % розплаву згідно правила важеля (KM і MT_1). Тому склад фігуративної точки М відповідає вирішенню завдання: опускаємо перпендикуляр з М на координатну концентраційну вісь діаграми і відраховуємо вміст компонентів А (ХВ) і В (ХА) в заданих одиницях (молярні %).

Приклад 4

За діаграмою (рис. 3.4) визначити температуру, за якою в суміші 10 % А і 90 % В утворюється 60 % розплаву.

Відзначаємо характерні елементи будови заданої діаграми стану. В системі утворюється сполука складу A_nB_m , яка плавиться інконгруентно (впирається в ізотерму, кінці якої вказують, що під час плавлення утворюється розплав складу Р і тверда фаза – твердий розчин складу L, а на ліквідусі утворюється точка перегину – Р).

На діаграмі є область обмежених твердих розчинів (максимальна розчинність A_nB_m у В відзначається складом, відповідним точці L за температури T_L), яка обмежена кривою сольвусу ($B - L - T_B$).

Ліквідус представлений кривою $T_A - E - P - T_B$. Солідус представлений ламаною лінією $T_E - a - K - L - T_B$, причому ділянка $L - T_B$ збігається з сольвусом.

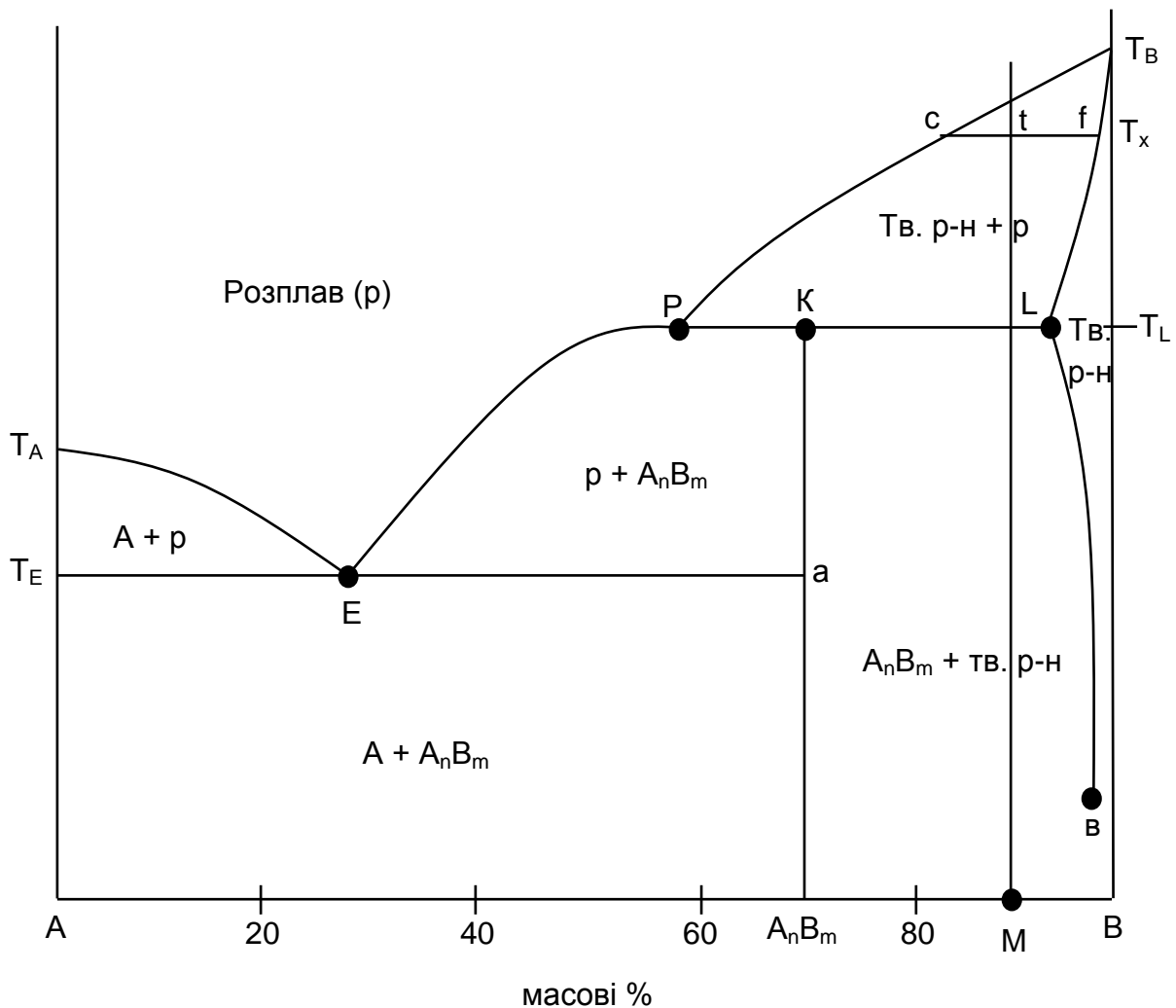


Рис. 3.4. Діаграма стану системи

Для вирішення завдання знаходимо на концентрацій осі заданий умовами склад суміші (M) і відновлюємо з нього перпендикуляр. Розплав у такому складі суміші утворюється за температур вище солідусу і в області, де співіснують твердий розчин з розплавом (P – L – T_B).

Вирішення зводиться до графічного знаходження сполучної прямої, яка ділиться перпендикуляром з точки M на дві частини в пропорції 2 : 3 (40 % тверда фаза і 60 % розплав), причому більш довгий відрізок повинен відраховуватися від кривої L – T_B згідно з правилом важеля. Як видно з рис. 3.4, така сполучна пряма встановлена (c – t – f) і їй відповідає температура T_x.

3.2. Аналітичний спосіб розрахунку

Приклад 5

За діаграмою (рис. 3.5) у полі кристалізації компонентів визначити склад суміші, який утворює за температури T_1 20 % розплаву.

У будові діаграми є можливість утворення області обмежених твердих розчинів хімічної сполуки A_nB_m в А, виділена сольвусом $f - R - T_A$. Максимальна розчинність сполуки A_nB_m у компоненті А досягається за температури T_p і відповідає концентрації фігуративної точки R. За температури вище T_p твердий розчин складу R розпадається за перитектичною реакцією на розплав перитектичного складу P та сполуку A_nB_m (див. коноду P – a на рис. 3.5). У системі можливе утворення ще однієї хімічної сполуки складу A_rB_d . Обидві сполуки плавляться конгруентно, тому вертикалі їх складів упираються в купола на кривій ліквідусу. Крім точки R на діаграмі є інші інваріантні точки – евтектики складу E_1 і E_2 .

У разі застосування аналітичного способу розрахунку розрізняють два випадки:

1) під час кристалізації один з компонентів повністю залишається в розплаві, тоді як інший компонент частково кристалізується і частково входить до складу розплаву (наприклад, склади області $T_{E2} - E_2 - T_B$);

2) під час кристалізації обидва компоненти виділяються у твердій фазі (наприклад, склади в області первинної кристалізації сполуки A_rB_d , оскільки і компонент А і компонент В присутні у складі цієї сполуки).

У першому випадку для розрахунків застосовується формула (3.1), а в другому – (3.2) або (3.3).

$$X = \frac{p \cdot x}{100 \%}, \quad (3.1)$$

$$p = \frac{X - x_1}{x - x_1} \cdot 100 \%, \quad (3.2)$$

$$X = \frac{p \cdot x}{100 \%} + \frac{100 - p \cdot x}{100 \%}, \quad (3.3)$$

де X – вміст компонента у суміші (%);

x, x_1 – вміст цього ж компонента у розплаві та у твердій фазі, відповідно (%);
 p – кількість розплаву (%).

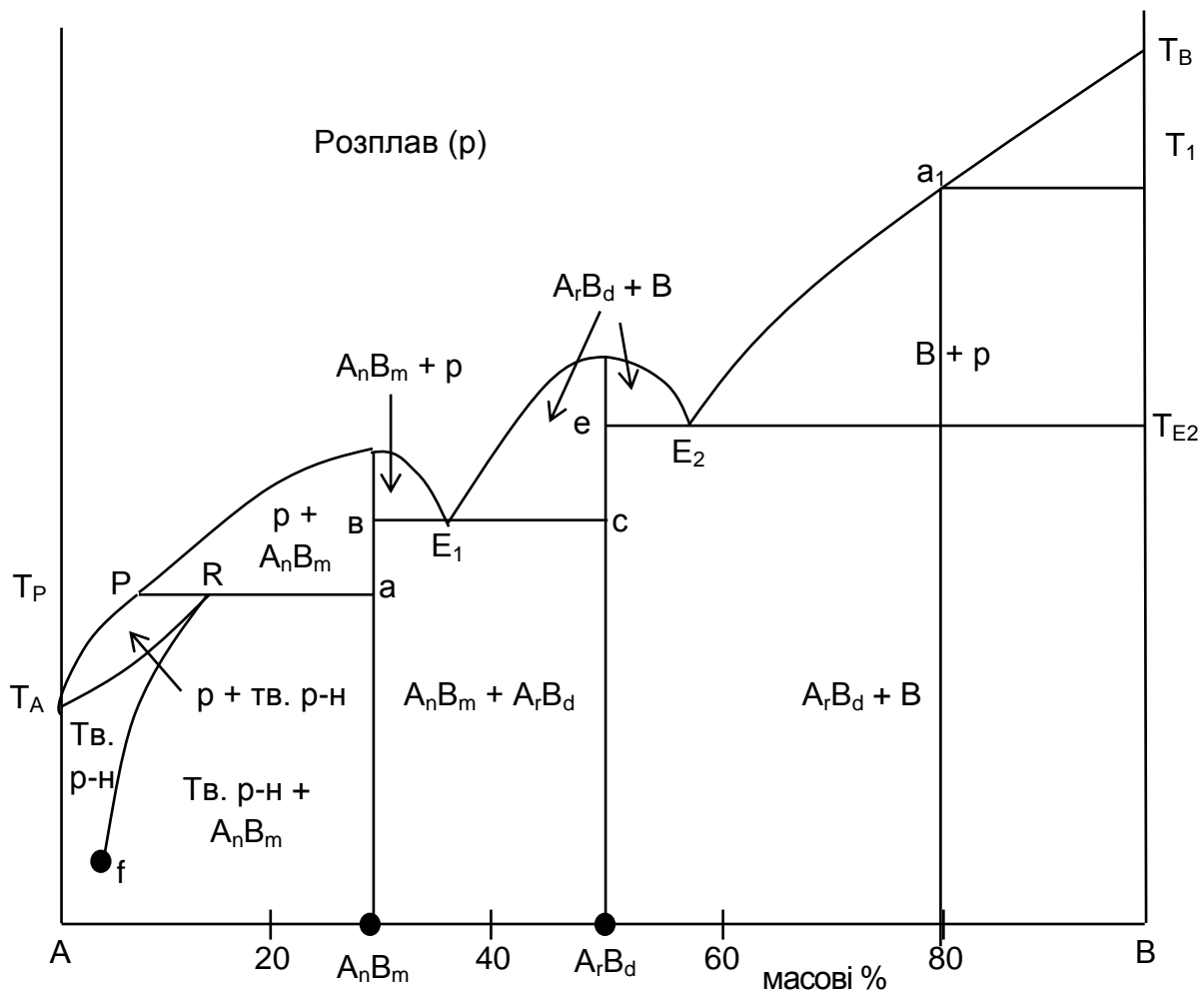


Рис 3.5. Діаграма стану А – В

Для розв'язуваної задачі спостерігається перший випадок, оскільки один з компонентів (А) залишається повністю в розплаві під час кристалізації, а значить необхідно скористатися формулою (3.1).

Кількість розплаву задано за умовою ($p = 20\%$), а значить x (вміст компонента, що не кристалізується і залишається в розплаві (А)) необхідно визначити за діаграмою. Для цього проводимо коноду за заданою температурою $T_1 - a_1$. Точка на ліквідусі (a_1) вкаже на склад розплаву, тобто опустивши перпендикуляр з цієї точки на концентраційну вісь, можна відрахувати на ній значення вмісту А в розплаві: $x = 20\%$. Підставляємо значення p і x у (3.1):

$$X (\text{компонент В}) = 20 \% \cdot 20 \% / 100 \% = 4 \%$$

Вміст компонента А у вихідній суміші визначається за різницею:

$$X (\text{компонент А}) = 100 \% - 4 \% = 96 \%$$

Приклад 6

За діаграмою стану двокомпонентної системи А – В (рис. 3.6) розплав за температури T_1 містить 20 % В та 80 % А.

Склад хімічної сполуки, що кристалізується, (N) – 70 % В та 30 % А.

Кількість розплаву, що утворюється за T_1 – 60 %.

Необхідно визначити склад вихідної суміші.

Елементи будови діаграм стану, які наявні на заданій діаграмі рис. 3.6, майже всі знайомі з раніше розглянутих прикладів: вертикаль складу хімічної сполуки N; крива ліквідусу $T_A - E_1 - E_2 - T_N - T_B$; солідус визначений ізотермами за T_{E1} та T_{E2} з відрізком вертикалі складу сполуки N між ними.

З елементів будови на діаграмі рис. 3.6, що раніше не розглядалися, маємо концентраційну область обмежених твердих розчинів (у межах концентрацій від d до g). Область має характерний вигляд купола з вершиною (у точці c).

Купол розташований нижче солідусу, що вказує на обмежений температурний інтервал стабільності твердих розчинів, склади яких за температур вище температури бінодалі (d – c – g) розпадаються у твердому стані на механічну суміш з компонентів А і N. Внутрішня частина купола обмежена спінодаллю (e – c – f) та містить склади абсолютно нестійких твердих розчинів (лабільних), які розпадаються на два твердих розчини, що мають інші склади.

"Стінки" купола містять метастабільні склади твердих розчинів, які термодинамічно нестабільні, але через структурні особливості розпад може тривати дуже довго і вони можуть існувати на практиці завдяки цьому.

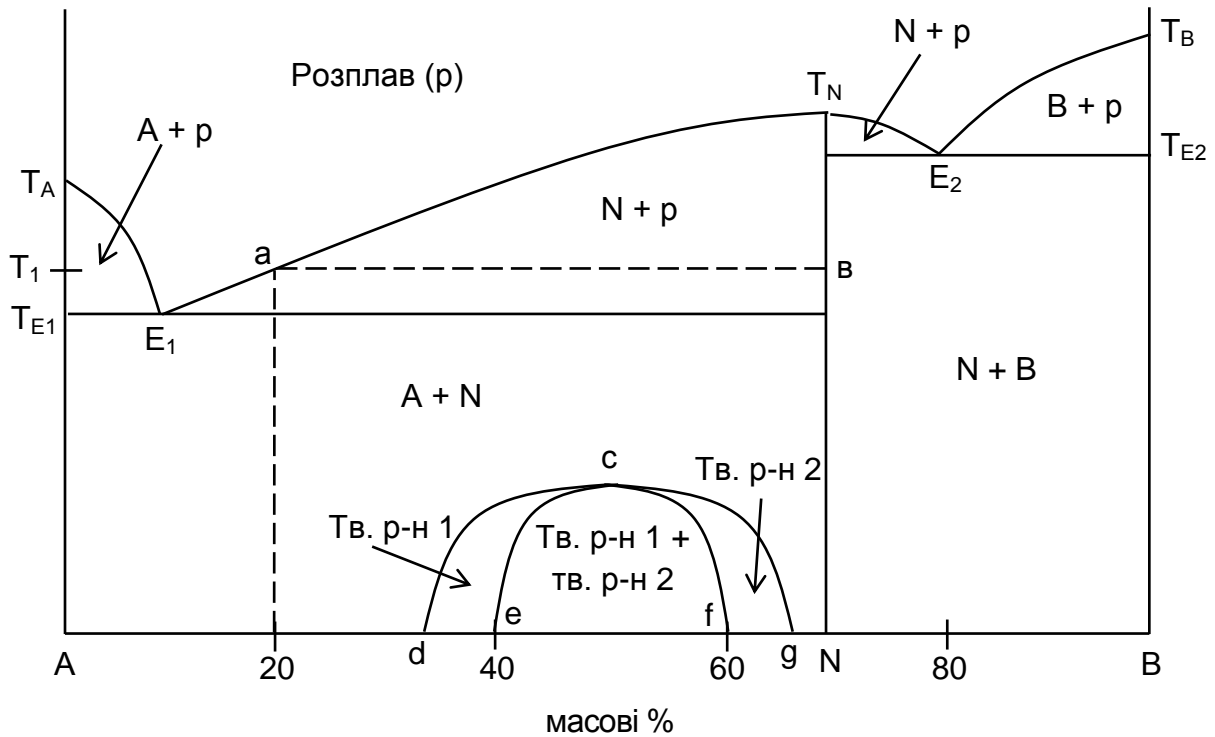


Рис. 3.6. Двокомпонентна система А – В

За умовами завдання ізотерма за температури T_1 (а – в) перетинає поле кристалізації сполуки N. Оскільки сполука N містить обидва вихідних компоненти, то під час кристалізації буде спостерігатися другий випадок і необхідно використовувати формули (3.2) та (3.3). Перший доданок у (3.3) визначає вміст компонента B у розплаві, а другий – у твердій фазі:

$$X(B) = \frac{p \cdot x_B}{100\%} + \frac{100 - p \cdot x_1 B}{100\%} = \frac{60 \cdot 20}{100} + \frac{100 - 60 \cdot 70}{100} = 40\% .$$

Вміст іншого компонента визначається різницею:

$$X(A) = 100 - 40 = 60\% .$$

3.3. Визначення шляхів кристалізації

Приклад 7

Проаналізувати шлях кристалізації розплаву, склад якого відповідає фігуративній точці K на рис. 3.7.

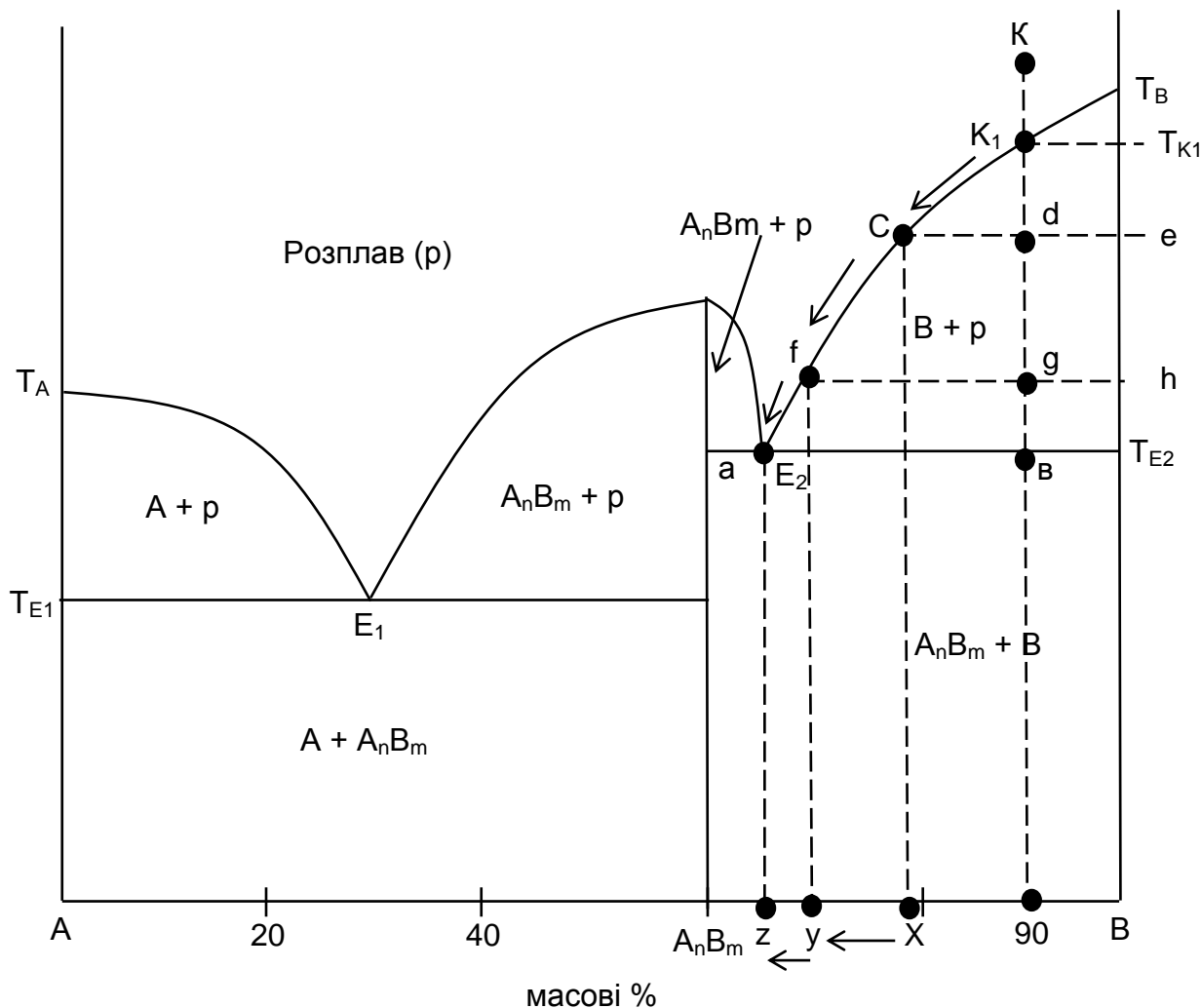


Рис. 3.7. Діаграма стану А – В

Відзначимо, що шляхи кристалізації та шляхи плавлення на діаграмах стану характеризують однакові процеси, що відрізняються тільки протилежним напрямом протікання. Шляхи кристалізації (плавлення) зручно наочно подавати у вигляді таблиць, але для з'ясування способу їх заповнення спочатку опишемо хід аналізу шляху кристалізації розплаву (K) на рис. 3.7.

Фігуративна точка K знаходиться в області гомогенного розплаву, склад якого визначається під час опускання перпендикуляра на концен-

траційну вісь: 90 % компонента В та 10 % компонента А. Число ступенів свободи для фігуративної точки К дорівнює 2, а значить під час зниження температури зберігатиметься той же самий склад розплаву аж до точки K_1 . Точка K_1 знаходиться на ліквідусі (число ступенів свободи дорівнює 1), нижче якого починається кристалізація і з гомогенного розплаву виділяються перші кристали компонента В за температури T_{K1} . Під час зниження температури нижче T_{K1} з розплаву будуть виділятися кристали В, а склад розплаву збіднюється за цим компонентом, і буде зміщуватися за ліквідусом від K_1 до E_2 .

На рис. 3.7 додатково поставлені точки d і g, щоб показати послідовність зміни не тільки складу розплаву, а й співвідношення кількості розплаву і твердого компонента В під час кристалізації. Так, для точки d склад розплаву буде збіднений компонентом В порівняно з вихідним складом розплаву (x % і 90 %, відповідно). Співвідношення між кількістю розплаву та кількістю В згідно з правилом важеля: d_e / d_c .

Під час зниження температури і досягнення точки g склад розплаву ще значніше збіднюється компонентом В та визначається положенням точки f на ліквідусі (y % і 90 %, відповідно). Наростає і кількість твердого компонента В у суміші з розплавом (відрізок gf довший відрізка dc у разі рівності відрізків $de = gh$): $fg / fh > cd / ce$. Під час досягнення евтектичної температури T_{E2} весь розплав (евтектичного складу E_2) повністю витрачається у евтектичній реакції: розплав (E_2) $\rightarrow A_nB_m + B$.

Співвідношення між A_nB_m і В у початковий момент протікання реакції визначається співвідношенням $v_{E2} / v_{T_{E2}}$, а по завершенню реакції: $ba / b_{T_{E2}}$. Як видно, в ході перебігу евтектичної реакції кількість раніше утвореного компонента В продовжує накопичуватися паралельно з виникненням і наростанням кількості хімічної сполуки A_nB_m . У евтектиці кристалізація завжди закінчується, нижче T_{E2} утворюється лише суміш твердих фаз: A_nB_m та В (кількісне співвідношення E_2T_{E2} / a_{E2}), яка в перерахунку на вміст вихідних компонентів дає таку ж концентрацію, як і у вихідному розплаві (90 % В та 10 % А).

Таблична форма запису узагальнює описаний аналіз шляху кристалізації в лаконічному вигляді (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Схема шляху кристалізації

Фігуративні точки	Температура	Склад рідкої фази	Склад твердої фази
К	T_K	К (90 % В + 10 % А)	–
$K \rightarrow K_1$	$T_K \rightarrow T_{K_1}$	K_1	В – з'являється
$K_1 \rightarrow b$	$T_{K_1} \rightarrow T_{E_2}$	$K_1 \rightarrow E_2$	В
b	T_{E_2}	E_2 – зникає	В + A_nB_m – з'являється
нижче b	$< T_{E_2}$	–	В + A_nB_m

Приклад 8

Встановити відмінність у процесі кристалізації сумішей складів М та N (рис. 3.8).

Схеми шляхів кристалізації сумішей складів М та N подано в табл. 3.2 та 3.3, відповідно.

Таблиця 3.2

Схема шляху кристалізації (М)

Фігуративні точки	Температура	Склад рідкої фази	Склад твердої фази
М	T_1	d	В
$M \rightarrow a$	$T_1 \rightarrow T_p$	$d \rightarrow P$	В
a	T_p	P	В – витрачається A_nB_m – з'являється
$a \rightarrow c$	$T_p \rightarrow T_E$	$P \rightarrow E$	A_nB_m
c	T_E	E – зникає	A_nB_m + твердий розчин (з'являється)
$c \rightarrow x$	нижче T_E	–	A_nB_m + твердий розчин (склад змінюється за LA)

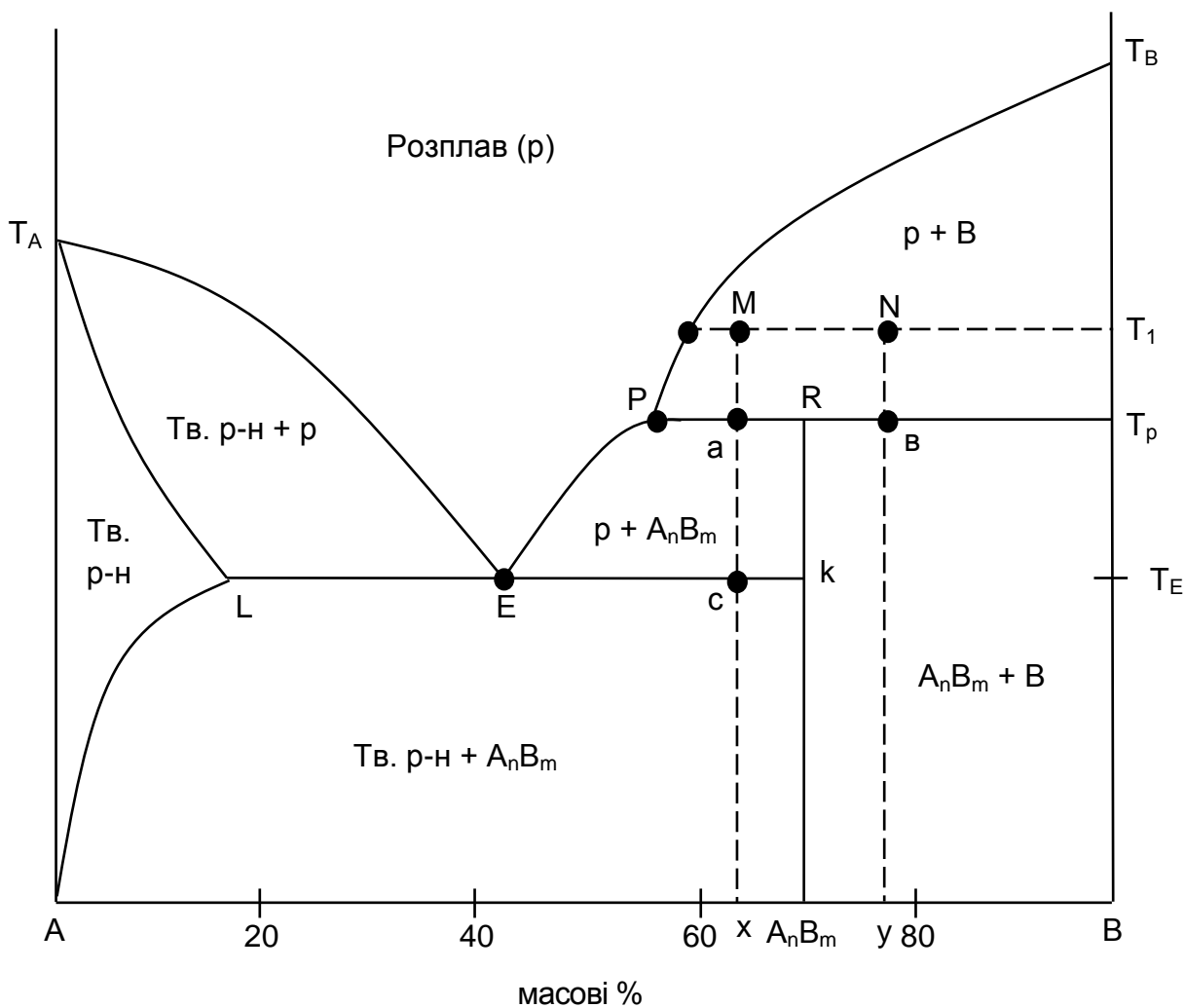


Рис. 3.8. Діаграма стану

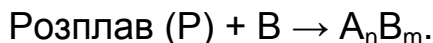
Таблиця 3.3

Схема шляху кристалізації (N)

Фігуративні точки	Температура	Склад рідкої фази	Склад твердої фази
N	T_1	d	B
N → b	$T_1 \rightarrow T_p$	d → P	B
b	T_p	P – зникає	B – витрачається $A_n B_m$ – з'являється
b → y	нижче T_p	–	B + $A_n B_m$

Порівнюючи дані табл. 3.2 та 3.3 видно, що кристалізація складів N закінчується в перитектиці та нижче T_p присутня тільки механічна суміш фаз $A_n B_m$ і B (кількісне співвідношення визначається довжинами відрізків

$b - T_p$ і $R - b$, відповідно), а для складу M кристалізація в перитектиці не закінчується, нижче T_p в суміші ще присутній розплав (склад змінюється за ліквідусною кривою $P - E$) аж до евтектичної температури T_E . Як видно, різниця зумовлена протіканням перитектичної реакції:



Для складу N в суміші фаз вище T_p знаходився надлишок твердої фази B (склад суміші (%): кількість твердої фази $B = dN / dT_1$; кількість розплаву $= NT_1 / dT_1$), що зумовило повне витрачання розплаву в перитектичній взаємодії. Навпаки, у складі M знаходився надлишок розплаву (склад суміші (%): кількість твердої фази $B = dm / dT_1$; кількість розплаву MT_1 / dT_1), що зумовило повне витрачання B у перитектичній реакції та наявність залишків розплаву в суміші після її завершення. Остаточний розплав продовжує кристалізацію нижче T_p і кристалізація завершується лише у разі досягнення розплавом складу E за температури T_E , що супроводжується евтектичною реакцією: розплав $(E) \rightarrow$ твердий розплав $(L) + A_nB_m (K)$. Строго геометричне співвідношення розплаву і твердої фази в перитектичній реакції, як видно з рис. 3.8 та схеми взаємодії, відзначається для складу, що відповідає стехіометрії складу A_nB_m (тобто для фігуративних точок, що лежать на вертикалі складу A_nB_m або її продовженні). На відміну від евтектики, в якій кристалізація завжди завершується (або починається плавлення), у перитектиці це правильно лише для складів, що знаходяться правіше складу A_nB_m (прилеглих ближче до твердої фази).

Приклад 9

Проаналізувати шлях плавлення для складу, заданого фігуративною точкою N на рис. 3.9.

Солідус заданої діаграми (рис. 3.9) представлений кривими сольвусу, розташованими в нижній області куполоподібної області $T_A - K - T_B$. Сольвус виділяє область існування твердого розчину, який утворюється (вище температури T_A) на основі компонента A (склади, що відповідають ділянці $T_A - K$), а в точці K змінюється характер будови твердого розчину і його основою виступає компонент B (склади, що відповідають ділянці

К – T_B). Ліквідус відокремлює область існування гомогенного розплаву і має куполоподібну форму з максимумом у точці К. Фігуративна точка N має склад x (70 % B і 30 % A) та представлена за низьких температур механічною сумішшю фаз A і B, які здатні утворювати тверді розчини на основі B або A вище температур T_B або T_A , відповідно. Склад, що відповідає точці N, починає утворювати твердий розчин на основі фази B за температури T_L .

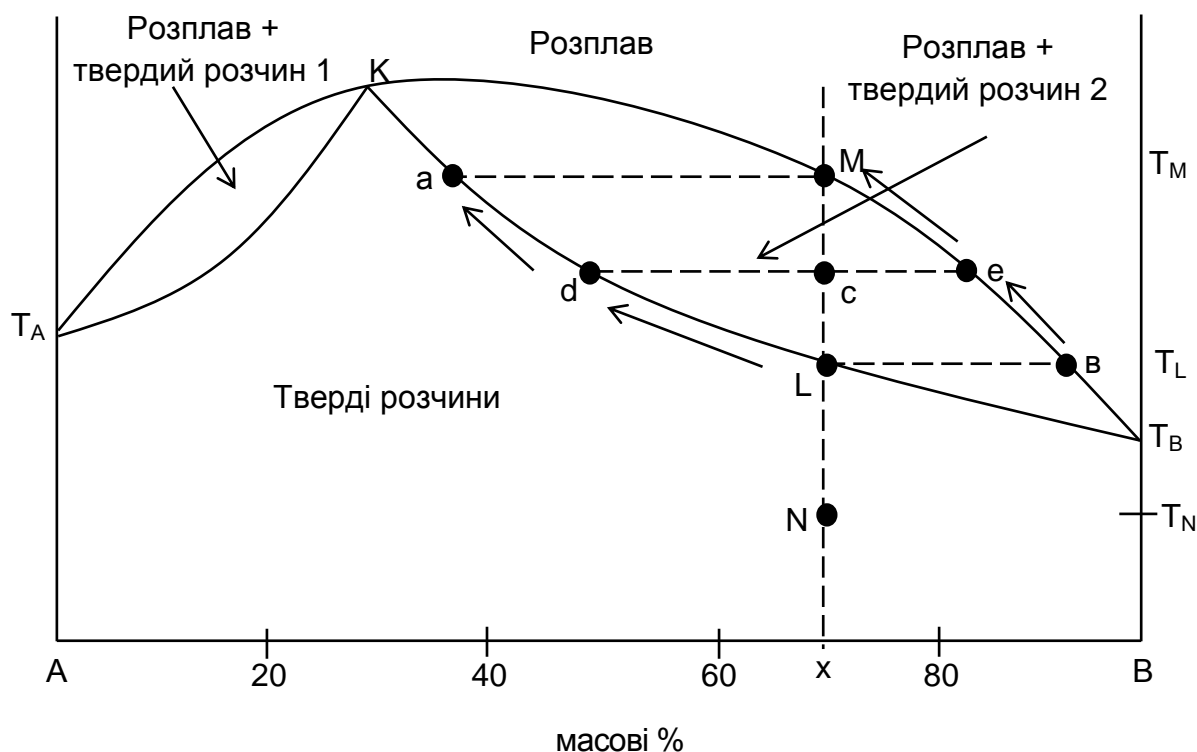


Рис. 3.9. Діаграма стану системи А – В

Процес утворення твердого розчину (твердий розчин 2 на рис. 3.9) супроводжується паралельним утворенням розплаву, склад якого відповідає точці в. Під час підвищення температури змінюється склад твердого розчину та наростає кількість розплаву, склад якого також змінюється. Наприклад, під час досягнення точки с складу твердого розчину відповідає точка d, склад розплаву – точці e, а їх співвідношення визначається за правилом важеля: довжина відрізка се / довжина відрізка cd. У разі подальшого підвищення температури склад розплаву буде визначатися точками на ліквідусі, зміщуючись від e до M, а склад твердого розчину – точками на сольвусі, зміщуючись від d до a. Відповідно, буде спостерігатися і зростання кількості розплаву в суміші фаз, що призведе до повного

плавлення твердого розчину за температурою T_M з утворенням гомогенного розплаву складу M , який буде зберігатися і за більш високих температур. У табл. 3.4 зазначена раніше інформація більш лаконічна.

Таблиця 3.4

Схема шляху кристалізації (N)

Фігуративні точки	Температура	Склад рідкої фази	Склад твердої фази
N	T_N	–	x (70 % B + 30 % A)
N → L	$T_N \rightarrow T_L$	–	$L = x$ (70 % B + 30 % A)
L	T_L	з'являється в	$L = x$ (70 % B + 30 % A)
L → M	$T_L \rightarrow T_M$	$B \rightarrow M$	$L \rightarrow a$
M	T_M	M	a зникає
вище M	$> T_M$	M	–

Приклад 10

Побудувати діаграму плавлення суміші, що з 60 % фази A та 40 % фази B для системи на рис. 3.10.

Побудову зручніше виконувати за результатами аналізу не шляху плавлення, а шляху кристалізації розплаву K (60 % A + 40 % B). До температури T_K весь склад представлений на 100 % розплавом. На діаграмі плавлення на температурній осі відзначаємо температуру початку кристалізації хімічної сполуки $A_nB_m - T_K$ (рис. 3.11).

На шляху кристалізації візьмемо проміжну точку K_2 та визначимо фазовий склад суміші за відповідної температури (T_{K1}), провівши сполучну пряму $K_1 - K_3$ через точку K_2 . За правилом важеля: кількість твердої фази A_nB_m дорівнює довжині відрізка K_1K_2 , діленого на довжину всієї коноди K_1K_3 , а кількість рідкої фази дорівнює довжині відрізка K_2K_3 , поділеній на довжину тієї ж коноди і виражене у %. Виконуємо вимірювання і розраховуємо відповідні кількості (%): A_nB_m (X) та розплаву (Y) в суміші. Отримані значення відкладаємо на ізотермі за T_{K1} (точка R). Аналогічні дії виконуємо для точки K_4 за евтектичної температури T_{E1} :

$$\text{кількість } A_nB_m (\%) = E_1K_4 / E_1K_5 \cdot 100 \% = Z \%;$$

$$\text{кількість розплаву } (\%) = K_4K_5 / E_1K_5 \cdot 100 \% = Q \%.$$

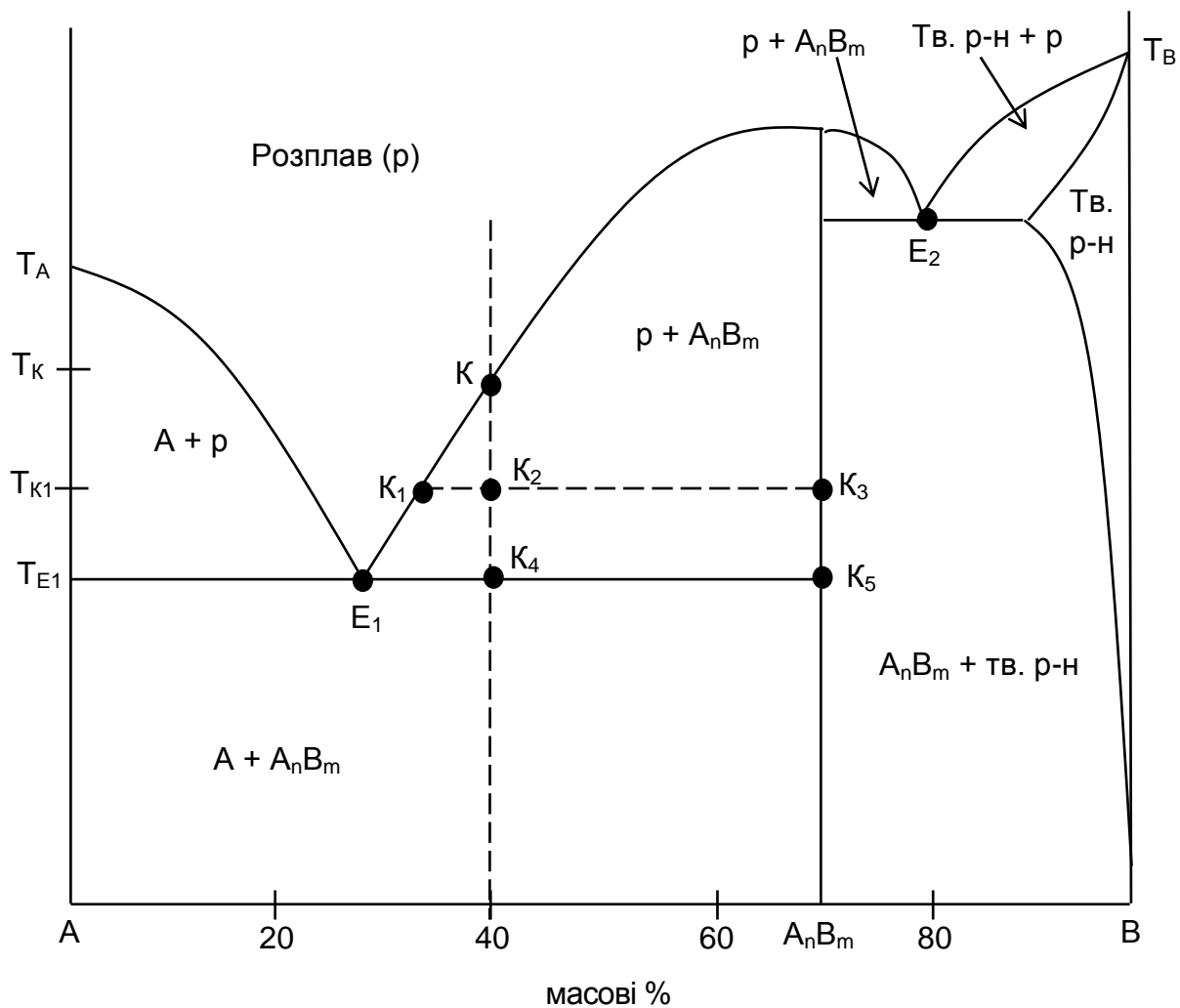


Рис. 3.10. Діаграма стану системи А – В

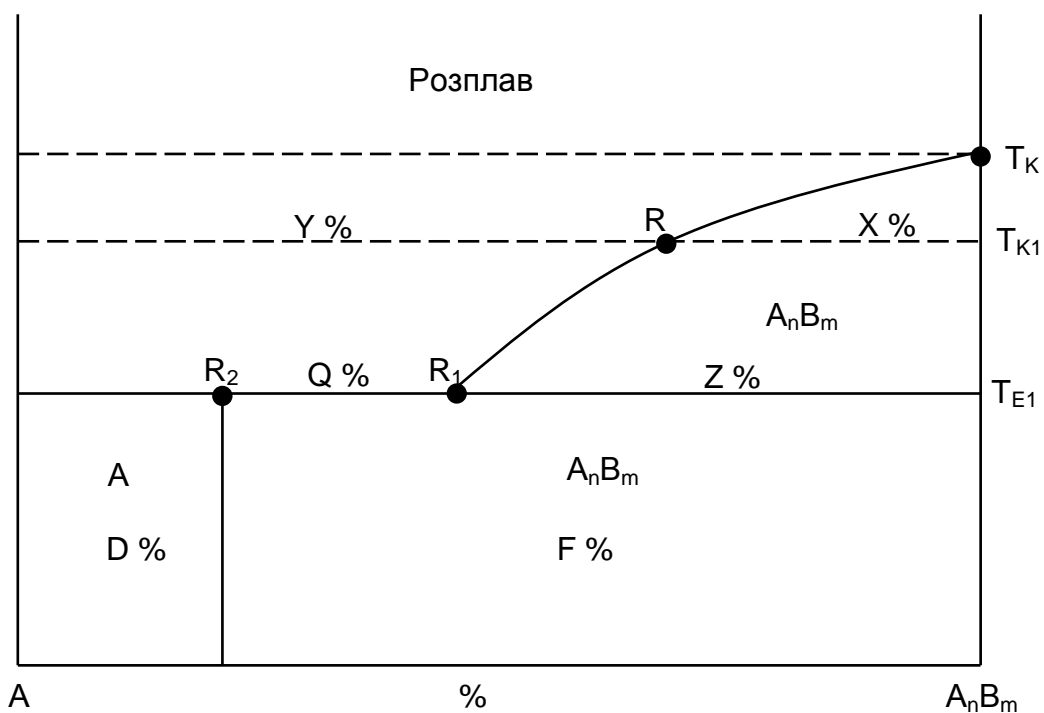


Рис. 3.11. Діаграма плавлення суміші К

Отримуємо на рис. 3.11 відповідну точку R_1 . За температури евтектики весь склад розплаву кристалізується за схемою: розплав $\rightarrow A + A_nB_m$. Відповідно, збільшується кількість A_nB_m і утворюється певна кількість A . Остаточне співвідношення між A і A_nB_m також визначаємо за правилом важеля:

$$\begin{aligned} \text{кількість } A (\%) &= K_4K_5 / T_{E1}K_5 \cdot 100 \% = D \%; \\ \text{кількість } A_nB_m (\%) &= T_{E1}K_4 / T_{E1}K_5 \cdot 100 \% = F \%. \end{aligned}$$

Отримані значення D і F відкладаємо на ізотермі T_{E1} і з отриманої точки R_2 опускаємо перпендикуляр, оскільки під час подальшого зниження температури співвідношення A і A_nB_m залишається незмінним.

Приклад 11

Для складу суміші, що відповідає фігуративній точці K (рис. 3.12), побудувати діаграму плавлення.

Побудови будемо виконувати на рис. 3.13.

За температури вище T_K відзначатиметься тільки одна фаза – розплав. Нижче T_K починається кристалізація – утворюються кристали B , кількість яких збільшується за подальшого охолодження і процес супроводжується зміною складу розплаву (на відрізку кривої ліквідусу від K до P). Кількість твердої фази B і розплаву під час досягнення температури солідусу (T_P):

$$\begin{aligned} B &= (PL / PT_P) \cdot 100 \% = X (\%); \\ \text{розплав} &= (LT_P / PT_P) \cdot 100 \% = Y (\%). \end{aligned}$$

Відкладаємо значення X і Y і отримуємо точку D_1 .

За T_P протікає перитектична реакція, в якій є надлишок рідкої фази (аналізований склад перебуває лівіше вертикалі складу A_nB_m , тобто з боку ліквідусу, а не з боку твердої фази): розплав + $B \rightarrow A_nB_m$. У ході реакції повністю витрачається B , а частина розплаву залишається разом з утворенням хімічної сполуки A_nB_m .

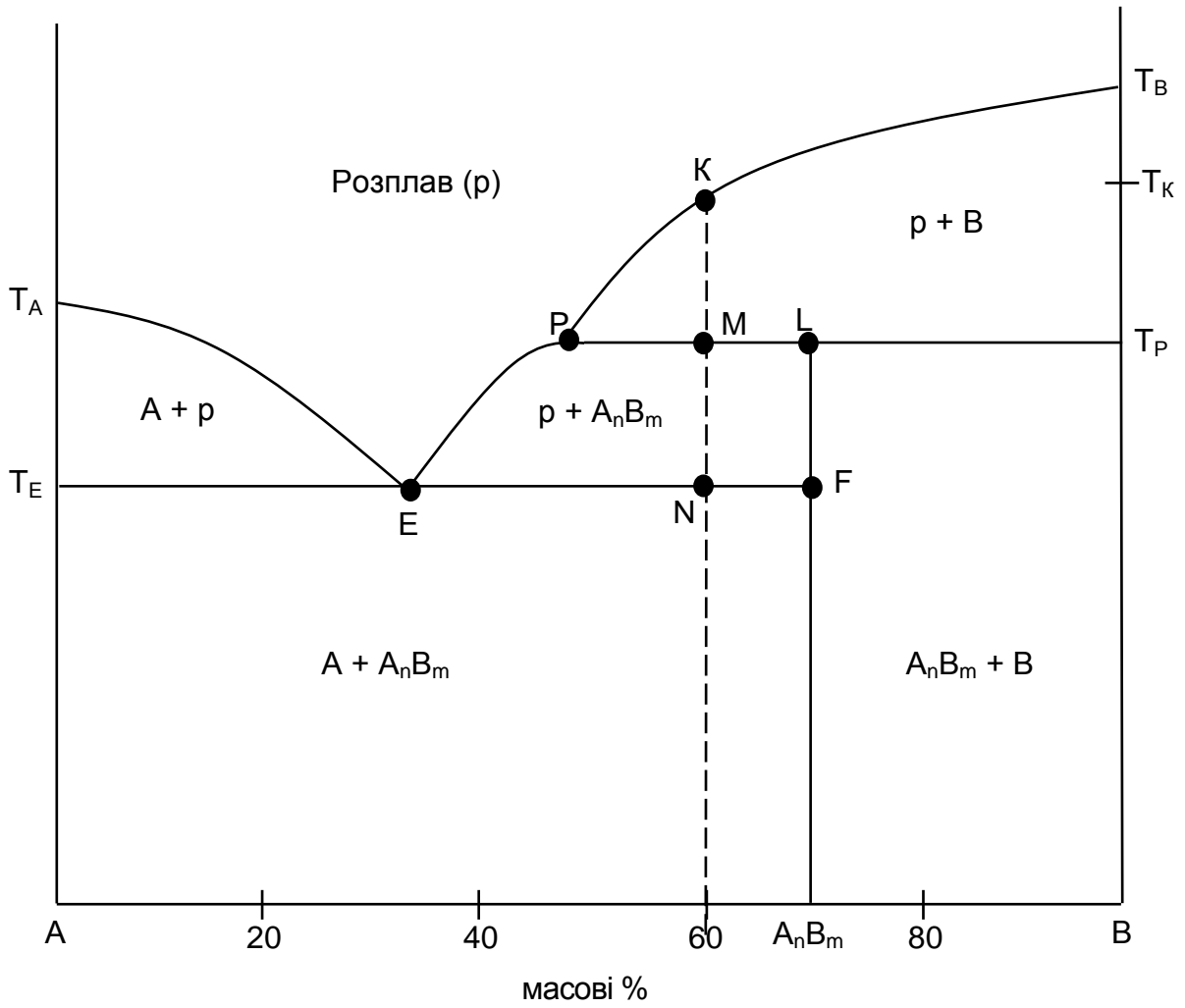


Рис. 3.12. **Діаграма стану системи А – В**

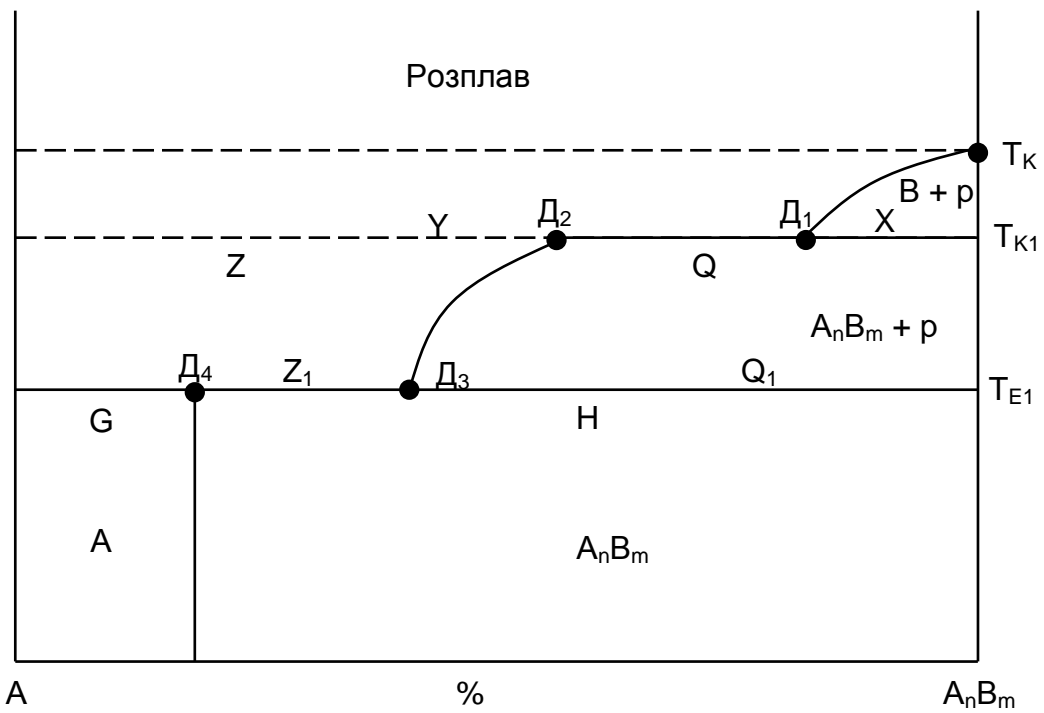


Рис. 3.13. **Діаграма плавлення суміші складу К**

Відповідно, співвідношення між розплавом і A_nB_m за T_P :

кількість розплаву (%) = $(ML / PL) \cdot 100 \% = Z (\%)$;

кількість A_nB_m (%) = $(PM / PL) \cdot 100 \% = Q (\%)$.

Відкладаємо значення Z та Q на ізотермі T_P і отримуємо точку D_2 .

Подальше зниження температури до T_E супроводжується збільшенням вмісту A_nB_m в суміші з розплавом і зміною складу розплаву на кривій ліквідусу (від P до E). Під час досягнення T_E співвідношення фаз:

кількість A_nB_m (%) = $(EN / EF) \cdot 100 \% = Q_1 (\%)$;

кількість розплаву (%) = $(NF / EF) \cdot 100 \% = Z_1 (\%)$.

Відкладаємо значення Q_1 и Z_1 на ізотермі T_E та отримуємо точку D_3 .

Під час досягнення температури евтектики (T_E) починається евтектична реакція і розплав, що залишився, кристалізується за схемою: розплав $\rightarrow A + A_nB_m$. Відповідно, додатково утворюється A_nB_m , розплав зникає і виникає тверда фаза A . Співвідношення між твердими фазами A та A_nB_m :

$$A (\%) = (NF / T_E F) \cdot 100 \% = G (\%);$$
$$A_nB_m (\%) = (T_E N / T_E F) \cdot 100 \% = H (\%).$$

Відкладаючи на ізотермі T_E значення G і H , визначаємо точку D_4 та опускаємо з неї перпендикуляр, тому під час подальшого зниження температури співвідношення A і A_nB_m не змінюється. Діаграма плавлення побудована (рис. 3.13).

4. Двокомпонентні діаграми стану для виконання самостійної роботи

Самостійна робота студента полягає в індивідуальному виконанні таких завдань:

Завдання 1

1. Описати елементи будови діаграми стану (додаток А):

- бінарні сполуки;
- криві ліквідусу, солідусу та сольвусу;

- точки евтектик, перитектик, евтектоїдні та перитектоїдні точки;
- бінодальні, спінодальні та лінії ліквідації.

2. Вказати характер плавлення двокомпонентних сполук та відзначити відповідні температури.

3. Визначити співвідношення фаз за заданою температурою для фігуративної точки відповідно до варіанта завдання, який видає викладач (табл. 4.1).

Завдання 2

1. Описати елементи будови діаграми стану (додаток Б):

- бінарні сполуки;
- криві ліквідусу, солідусу та сольвусу;
- точки евтектик, перитектик, евтектоїдні та перитектоїдні точки;
- бінодальні, спінодальні та лінії ліквідації.

2. Вказати характер плавлення двокомпонентних сполук та відзначити відповідні температури.

3. Визначити склад суміші у полі кристалізації фази В, яка утворює за заданою температурою задану кількість розплаву, відповідно до варіанта завдання, який видає викладач (табл. 4.1).

Завдання 3

1. Описати елементи будови діаграми стану (додаток В):

- бінарні сполуки;
- криві ліквідусу, солідусу та сольвусу;
- точки евтектик, перитектик, евтектоїдні та перитектоїдні точки;
- бінодальні, спінодальні та лінії ліквідації.

2. Вказати межі твердих розчинів та відзначити наявність критичної температури.

3. Побудувати діаграму плавлення заданого складу відповідно до варіанта завдання, який видає викладач (табл. 4.1). Для побудови використовувати шкалу, що наведено на рис. 4.1.

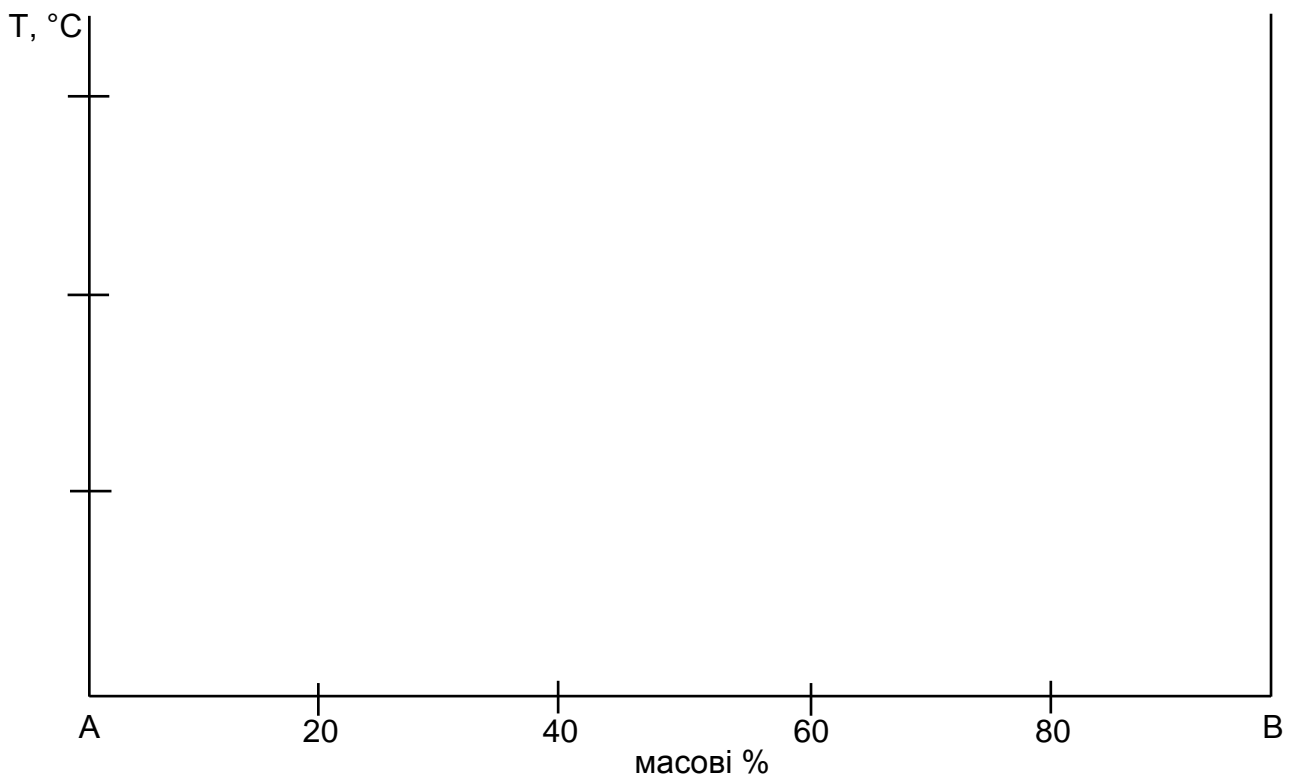


Рис. 4.1. Шкала для графічних побудов

Завдання 4

1. Ознайомитися на діаграмі з процесом кристалізації залізовуглецевих сплавів, з фазовим складом та структурою в кожній області (додаток Г).
2. Виконати графічний аналіз шляху кристалізації фігуративної точки (відповідно до п. 3.3).
3. Провести на діаграмі ординату заданого складу відповідно до варіанта завдання, який видає викладач (табл. 4.1) та визначити всі критичні точки.
4. Для фігуративної точки за заданою температурою визначити кількість та склад фаз.
5. Вказати, якому типу сплавів відповідає завданий склад за кількістю вмісту вуглецю та описати найбільш характерні риси і властивості таких сплавів.

Варіанти завдань

№	а			б		в		г		
	T	A(%)	B(%)	T	% розпла- ву	A(%)	B(%)	T, °C	C(%)	F _e (%)
1	T ₁	15	85	T ₁	5	3	97	1600	0,5	99,5
2	T ₂	10	90	T ₂	5	5	95	1500	0,5	99,5
3	T ₃	10	90	T ₃	5	7	93	1400	0,5	99,5
4	T ₄	5	95	T ₄	5	9	91	1100	0,5	99,5
5	T ₅	5	95	T ₅	5	11	89	900	0,5	99,5
6	T ₃	45	55	T ₁	10	13	87	1500	1,0	99,0
7	T ₄	10	90	T ₂	10	15	85	1500	1,5	98,5
8	T ₄	20	80	T ₃	10	20	80	1500	2,0	98,0
9	T ₄	30	70	T ₄	10	25	75	1500	2,5	97,5
10	T ₄	35	65	T ₅	10	30	70	1500	3,0	97,0
11	T ₄	40	60	T ₁	20	40	60	1500	3,5	96,5
12	T ₄	45	55	T ₂	20	50	50	1500	4,0	96,0
13	T ₄	50	50	T ₃	20	60	40	1500	4,5	95,5
14	T ₄	55	45	T ₄	20	70	30	1500	5,0	95,0
15	T ₄	60	40	T ₅	20	75	25	1500	5,5	94,5
16	T ₄	65	35	T ₁	30	80	20	1500	6,0	94,0
17	T ₄	70	30	T ₂	30	85	15	1500	6,5	93,5
18	T ₄	75	25	T ₃	30	87	13	1300	2,5	97,5
19	T ₄	80	20	T ₄	30	88	12	1300	3,0	97,0
20	T ₄	90	10	T ₅	30	89	11	1200	5,0	95,0
21	T ₄	95	5	T ₁	90	90	10	1200	6,0	94,0
22	T ₅	50	50	T ₂	90	92	8	1000	0,8	99,2
23	T ₅	10	90	T ₃	90	94	6	1000	2,5	97,5
24	T ₅	90	10	T ₄	90	96	4	1000	4,5	95,5
25	T ₅	20	80	T ₅	90	98	2	900	0,5	99,5

5. Контрольні запитання для самодіагностики

1. Охарактеризуйте поняття "фізико-хімічна система".
2. Дайте визначення терміна "фаза".
3. Які параметри стану використовують у С – Р – Т – Х діаграмах?
4. Дайте визначення терміна "компонент".
5. Охарактеризуйте поняття "незалежні компоненти системи".

6. Наведіть відмінність гетерогенної системи від гомогенної.
7. Дайте визначення терміна "фазова рівновага".
8. Дайте визначення поняття "фігуративна точка".
9. Дайте визначення математичному рівнянню, яке відповідає правилу фаз Гіббса.
10. У чому полягає обмеження рівноважних діаграм стану для адекватного відображення реальних фізико-хімічних процесів?
11. Яким чином побудовано вісь концентрацій двокомпонентних діаграм стану?
12. Сформулюйте правило з'єднувальної прямої.
13. Сформулюйте правило важеля.
14. Наведіть основні елементи будови двокомпонентної системи.
15. Як визначити на двокомпонентних діаграмах вертикалі складів, ізотерми та точки складів хімічних сполук?
16. Як відображується характер плавлення сполуки на кривій ліквідусу?
17. Чому відповідає солідус системи?
18. Чому відповідає сольвус системи?
19. Визначте сутність поняття "твердий розчин".
20. Визначте сутність евтектичних та перитектичних взаємодій та їх відображення на діаграмі.
21. Охарактеризуйте форму кривих ліквідусу та солідусу в системах, де розчинність компонентів не обмежено у рідкому та твердому стані.
22. Чи можливо здійснити декомпозицію діаграми стану системи, у якій існують сполуки з конгруентним характером плавлення?
23. Яка характерна риса є на кривій ліквідусу, якщо сполука має інконгруентне плавлення?
24. Охарактеризуйте форму кривої солідусу, якщо компоненти мають обмежену розчинність у твердому стані.
25. Яку назву має крива, що відокремлює область існування твердого розчину?
26. Охарактеризуйте сутність графічного способу аналізу двокомпонентних діаграм стану.
27. Охарактеризуйте сутність аналітичного способу розрахунку, який використовується для аналізу двокомпонентних діаграм.
28. Назвіть етапи фізико-хімічного аналізу шляху кристалізації розплаву.

29. Надайте класифікацію сплавів системи "Fe – C" за кількістю концентрації вуглецю у їх складі.

30. З якою метою здійснюють гартування та відпуск сплавів системи "Fe – C"?

Рекомендована література

Основна

1. Бабушкин В. И. Термодинамика силикатов / В. И. Бабушкин, Г. М. Матвеев, О. П. Мчедлов-Петросян. – Москва : Стройиздат, 1986. – 408 с.

2. Бережной А. С. Многокомпонентные системы окислов / А. С. Бережной. – Киев : Наукова думка, 1970. – 544 с.

3. Горшков В. С. Физическая химия силикатов и других тугоплавких соединений / В. С. Горшков, В. Г. Савельев, Н. Ф. Федоров. – Москва : Высшая школа, 1988. – 400 с.

4. Логвинков С. М. Твердофазные реакции обмена в технологии керамики : монография / С. М. Логвинков. – Харьков : Изд. ХНЕУ, 2013. – 248 с.

5. Логвинков С. М. Основы технологических систем : навч. посіб. для студентів напряму підготовки 6.030504 "Економіка підприємства" / С. М. Логвинков, О. М. Борисенко. – Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2015. – 308 с.

6. Пригожин И. Современная термодинамика / И. Пригожин, Д. Кондепуди. – Москва : Мир, 2002. – 461 с.

7. Стрелов К. К. Теоритические основы технологии огнеупорных материалов / К. К. Стрелов, И. Д. Кащеев. – Москва : Metallurgy, 1996. – 608 с.

8. Тютюнников Ю. Б. Системы технологий : учебн. пособ. / Ю. Б. Тютюнников, В. Н. Орехов. – Харьков : Изд. Дом "ИНЖЭК", 2004. – 368 с.

9. Физическая химия. В 2-х кн. / К. С. Краснов, Н. К. Воробьев, И. Н. Годнев и др. ; под ред. К. С. Краснова. – Кн. 1. Строение вещества. Термодинамика. – Москва : Высшая школа, 1995. – 512 с. – Кн. 2. Электрохимия. Химическая кинетика и катализ. – Москва : Высшая школа, 1995. – 319 с.

10. Фистуль В. И. Новые материалы. Состояние, проблемы и перспективы / В. И. Фистуль. – Москва : МИСиС, 1995. – 142 с.

11. Хімічна технологія тугоплавких неметалевих і силікатних матеріалів у прикладах і задачах : навч. посіб. У 2 ч. Ч. 1. Технологічні розрахунки в хімічних технологіях тугоплавких неметалевих і силікатних матеріалів / Л. Л. Брагіна, А. М. Корогодська, О. Я. Пітак та ін. ; за ред. М. І. Рищенко. – Харків : НТМТ, 2012. – 332 с.

Додаткова

12. Кащеев И. Д. Свойства и применение огнеупоров : справочное издание / И. Д. Кащеев. – Москва : Теплотехник, 2004. – 352 с.

13. Кузнецова Т. В. Физическая химия вяжущих материалов / Т. В. Кузнецова, И. В. Кудряшов, В. В. Тимашов. – Москва : Высшая школа, 1989. – 384 с.

14. Логвинков С. М. Самоорганизация фаз и формирование диссипативных структур тугоплавких неметаллических материалов / С. М. Логвинков, Н. К. Вернигора, Д. А. Бражник // Вісник НТУ "ХПІ". – Харків : НТУ "ХПІ", 2010. – Вип. 66. – С. 47–57.

15. Луцык В. И. Анализ поверхности ликвидуса тройных систем / В. И. Луцык. – Москва : Наука, 1987. – 150 с.

16. Люпис К. Химическая термодинамика материалов / К. Люпис. – Москва : Metallurgy, 1989. – 503 с.

17. Морачевский А. Г. Термодинамические расчеты в металлургии / А. Г. Морачевский, И. Б. Сладков. – Москва : Metallurgy, 1985. – 136 с.

18. Палатник Л. С. Научные основы технологии сплавов и пленочных материалов / Л. С. Палатник. – Харьков : ХПИ, 1987. – 52 с.

19. Физико-химические системы тугоплавких неметаллических материалов / А. С. Бережной, Я. Н. Питак, А. Д. Пономаренко и др. – Киев : УМК ВО, 1992. – 172 с.

Додатки

Додаток А

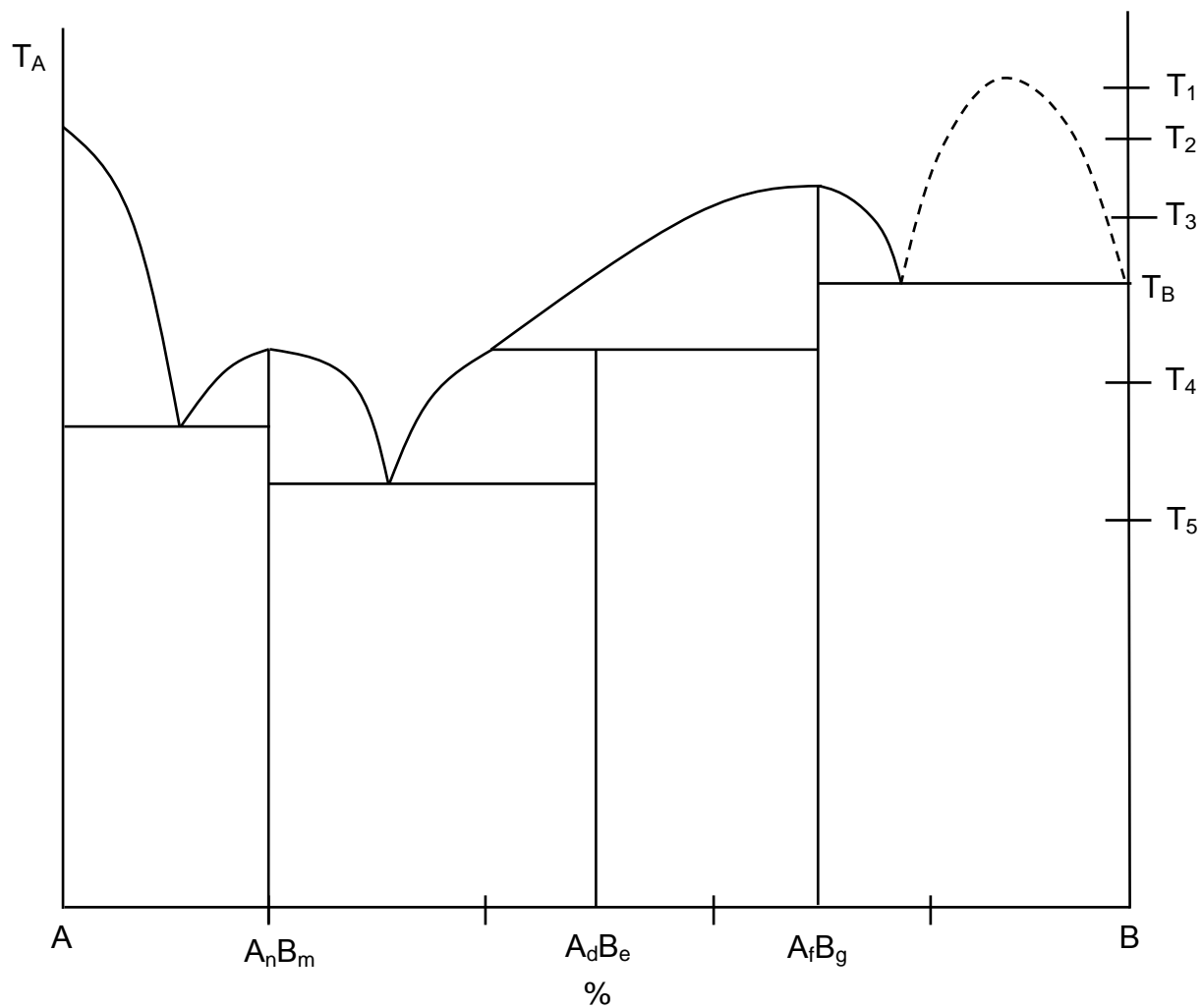


Рис. А.1. Варіант діаграми стану для завдання 1

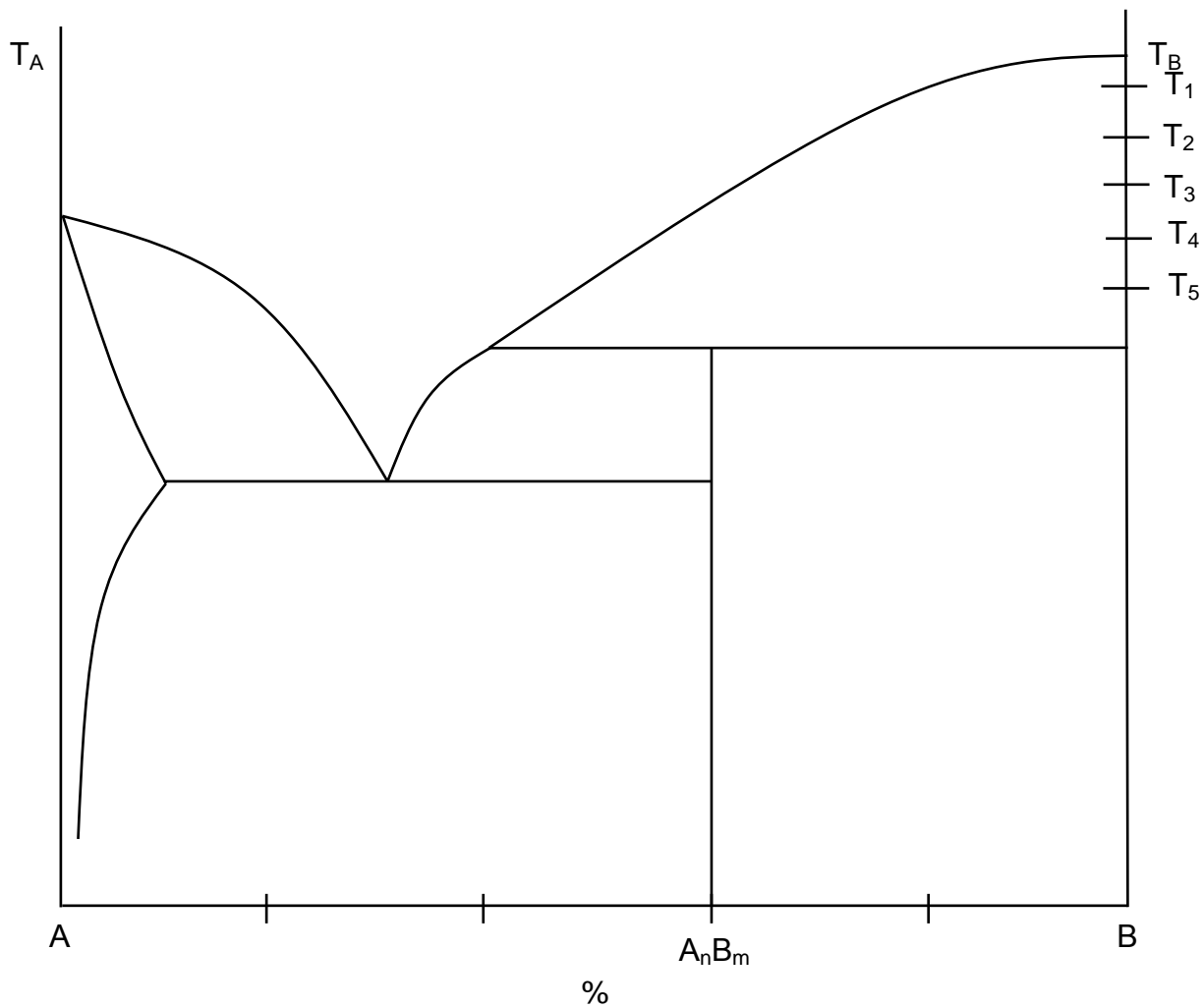


Рис. Б.1. Варіант діаграми стану для завдання 2

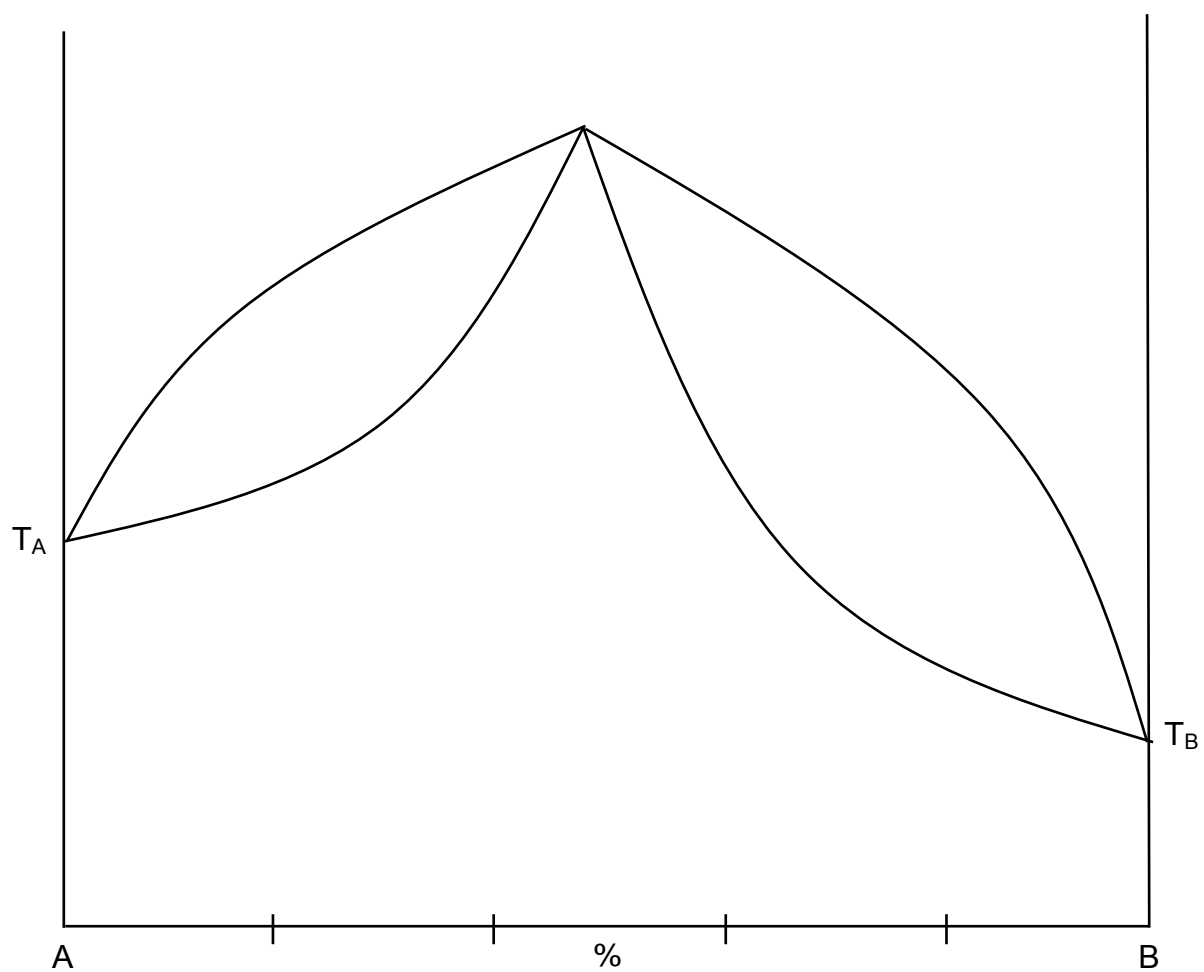


Рис. В.1. Варіант діаграми стану для завдання 3

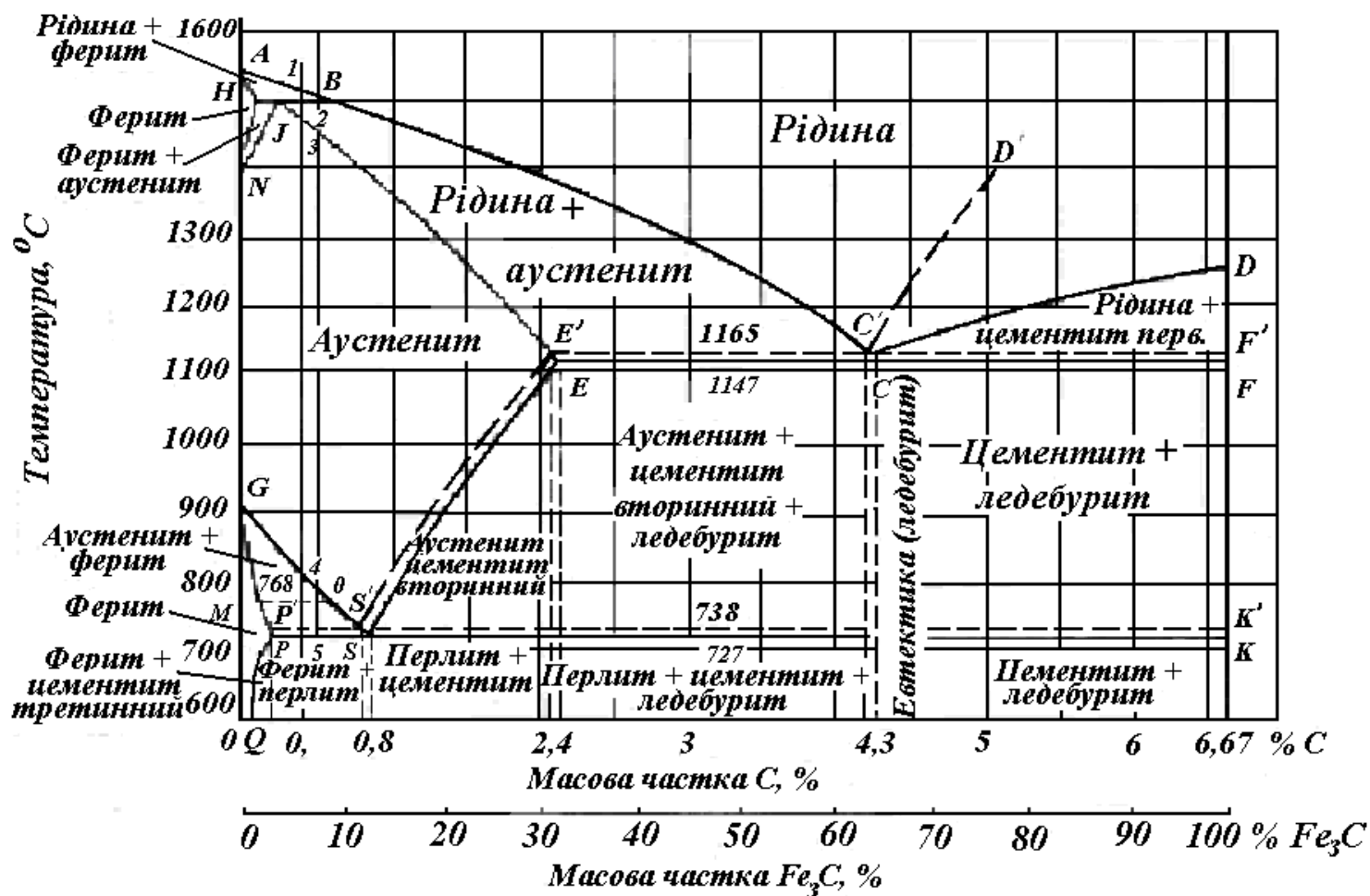


Рис. Г.1. Діаграма стану системи Fe – Fe₃C

Зміст

Вступ.....	3
1. Діаграми стану – основа матеріалознавства. Термодинамічна рівновага, основні правила та визначення	5
2. Елементи будови двокомпонентних діаграм стану.....	7
3. Основні методи аналізу фазових змін та приклади виконання завдань.....	11
3.1. Графічний спосіб аналізу.....	11
3.2. Аналітичний спосіб розрахунку	17
3.3. Визначення шляхів кристалізації.....	21
4. Двокомпонентні діаграми стану для виконання самостійної роботи.....	31
5. Контрольні запитання для самодіагностики	34
Рекомендована література.....	36
Основна	36
Додаткова.....	37
Додатки.....	38

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ

**Методичні рекомендації
до самостійної роботи студентів
усіх спеціальностей
першого (бакалаврського) рівня**

Самостійне електронне текстове мережеве видання

Укладачі: **Логвінков** Сергій Михайлович
Борисенко Оксана Миколаївна

Відповідальний за видання *С. М. Логвінков*

Редактор *В. Ю. Степаненко*

Коректор *В. Ю. Степаненко*

План 2017 р. Поз. № 112 ЕВ. Обсяг 43 с.

Видавець і виготовлювач – ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 61166, м. Харків, просп. Науки, 9-А

*Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру
ДК № 4853 від 20.02.2015 р.*