

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до виконання індивідуального завдання
(розрахунково-графічного завдання)**

з навчальної дисципліни «Фазові співвідношення в металевих матеріалах»
для студентів денної та заочної форм навчання
за спеціальністю 132 «Матеріалознавство»

Затверджено
редакційно-видавничою
радою університету,
протокол № 3 від 24.10.2024 р.

Харків
НТУ «ХПІ»
2024

Методичні вказівки до виконання індивідуального завдання (розрахунково-графічного завдання) з навчальної дисципліни «Фазові співвідношення в металевих матеріалах» для студентів денної та заочної форм навчання за спеціальністю 132 «Матеріалознавство» / уклад.: В. В. Білозеров, О. О. Волков, Т. О. Протасенко, О. М. Реброва, В. В. Субботіна, О. В. Субботін, С. М. Шевченко, Г. А. Федоренко. – Харків : НТУ «ХП», 2024. – 65 с.

Укладачі: В. В. Білозеров

О. О. Волков

Т. О. Протасенко

О. М. Реброва

В. В. Субботіна

О. В. Субботін

С. М. Шевченко

Г. А. Федоренко

Рецензент: В. В. Дмитрик

Кафедра «Матеріалознавство»

ВСТУП

Навчальна дисципліна «Фазові співвідношення в металевих матеріалах» належить до циклу навчальних дисциплін професійної підготовки бакалаврів освітньої програми «Прикладне матеріалознавство, новітні технології та комп'ютерний дизайн матеріалів» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 132 «Матеріалознавство».

В системі підготовки фахівців у вищих навчальних закладах актуальним є індивідуально-орієнтований підхід в організації навчання студентів, що визначено нормативно-правовими актами Міністерства освіти і науки. За цих умов індивідуальне завдання (розрахунково-графічне завдання), як одна із форм індивідуального завдання, є складовою програми підготовки з навчальної дисципліни «Фазові співвідношення в металевих матеріалах». Метою виконання індивідуального завдання (розрахунково-графічного завдання) є підготовка студентами аналітичних та узагальнюючих матеріалів. При підготовці індивідуального завдання (розрахунково-графічного завдання) студенти повинні отримати навички опрацювання літературних джерел, складання плану індивідуального завдання (розрахунково-графічного завдання) та розкриття теми з використанням нормативного та практичного матеріалу, особистого досвіду тощо. Дана форма письмової роботи базується на реферуванні окремих питань за обраною тематикою з літературних джерел, а також можливому виконанні деяких розрахунків, якщо це необхідно для розв'язання певних завдань. Вона призначена для поточного або підсумкового закріплення навчального матеріалу та контролювання знань і навичок, набутих студентами в процесі навчання. Виклад матеріалу в розрахунковому завданні повинно мати чітку логічну послідовність згідно з обраною темою, власне аналізування та узагальнення інформації, отриманої з досліджених літературних джерел, творчий підхід до теми.

Індивідуальне завдання (розрахунково-графічне завдання) широко використовується в навчальному процесі як спосіб оцінювання не тільки знань студента, а ще і його вміння опрацьовувати та аналізувати джерела інформації.

Методичні вказівки до виконання індивідуального завдання (розрахунково-графічного завдання) з навчальної дисципліни «Фазові співвідношення в металевих матеріалах» призначені для ознайомлення студентів з основними вимогами до робіт такого типу, правилами оформлення та основними критеріями оцінювання.

Виконання студентом індивідуального завдання (розрахунково-графічного завдання) стимулює творчі здібності та дозволяє повністю розкрити його потенціал до самостійної роботи. Під час написання індивідуального завдання (розрахунково-графічного завдання) відбувається узагальнення та структурування знань за його тематикою, тому вибір тематики індивідуального завдання (розрахунково-графічного завдання) слід проводити з урахуванням подальшої роботи студента в даному напрямку.

1. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ

Згідно з освітньою програмою «Прикладне матеріалознавство, новітні технології та комп'ютерний дизайн матеріалів» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 132 «Матеріалознавство» індивідуальне завдання (розрахунково-графічне завдання) з навчальної дисципліни «Фазові співвідношення в металевих матеріалах» є обов'язковою формою самостійної позааудиторної роботи студентів денної та заочної форм навчання.

Метою індивідуального завдання (розрахунково-графічного завдання) є поглиблення, закріплення та розширення теоретичних і практичних знань, щодо будови та властивостей матеріалів, що здобуті студентами при вивченні навчальної дисципліни «Фазові співвідношення в металевих матеріалах», а також придбання практичного досвіду з використання цих знань для комплексного аналізу діаграм стану подвійних сплавів та доцільності призначення тих чи інших видів термічного оброблення.

Вимоги до студентів при виконанні індивідуального завдання (розрахунково-графічного завдання) такі:

- вивчення найбільш розповсюджених видів (типів) подвійних діаграм стану сплавів;
- оволодіння навичками аналізу діаграм стану подвійних сплавів;
- визначення за діаграмами стану процесів утворення структур двокомпонентних сплавів;
- визначення взаємодії компонентів у діаграмі стану системи у рідкому та твердому стані.
- визначення основних ліній діаграм стану сплавів. Аналіз структурних складових у всіх областях сплавів, а також перетворень у результаті яких утворюється кінцева структура сплаву.

Індивідуальне завдання (розрахунково-графічне завдання) є заключним етапом засвоєння навчальної дисципліни «Фазові співвідношення в металевих матеріалах».

Методики аналізу діаграм стану подвійних сплавів базуються на теоретичних відомостях та навичках, набутих студентами під час вивчення навчальної дисципліни «Фазові співвідношення в металевих матеріалах». Цим забезпечується зв'язок індивідуального завдання (розрахунково-графічного завдання) з іншими навчальними дисциплінами за навчальним планом кафедри, що пов'язано з вивченням процесів утворення структур двокомпонентних сплавів.

Виконання індивідуального завдання (розрахунково-графічного завдання), в свою чергу, формує у студентів навички, необхідні для подальшого вирішення широкого кола інженерних питань.

Мета методичних вказівок – навчити самостійно користуватись технічною, у тому числі довідковою, літературою, розвинути навички до самостійної роботи та наукового дослідження. Методичні вказівки призначені для студентів спеціальності 132 «Матеріалознавство» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання закладів вищої освіти.

Розв’язування наведених нижче завдань включає виконання наступних пунктів:

- 1) Накреслити задану діаграму стану (як зазначено на рис. 1.4).
- 2) У кожній області діаграми вказати структури, які утворюються в сплавах даної системи в стані рівноваги.

На діаграмах, даних у завданнях, зазначений фазовий склад, який відповідає рівноважному стану. Але знати тільки один фазовий склад недостатньо для того, щоб судити про перетворення і властивості сплаву.

Як приклад, на рис. 1.1 представлена Діаграма стану системи сплавів, які мають однаковий фазовий склад (рис. 1.1, а) в областях а, б, в і г, який складається із суміші двох твердих розчинів α і β , де α – твердий розчин на основі компонента А і β – твердий розчин на основі компонента В. Структурний же склад (рис. 1.1, б) для кожної області діаграми різний.

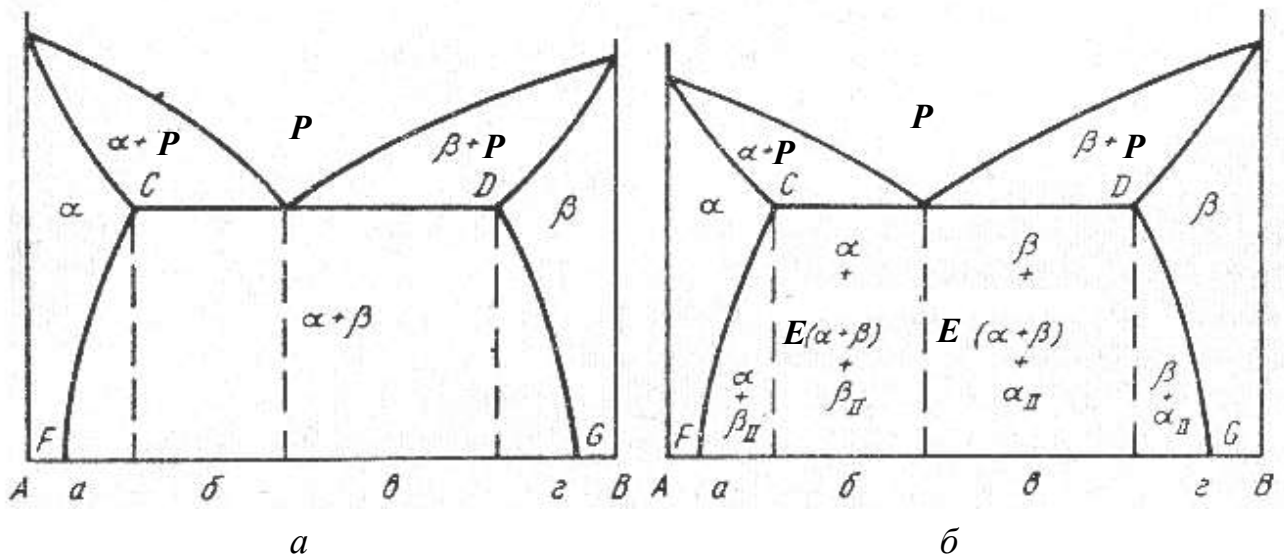


Рисунок 1.1 – Діаграма стану системи сплавів з обмеженою розчинністю компонентів у твердому стані:

а – фазова діаграма; б – структурна діаграма

В області *a* сплави складаються із кристалів α -твердого розчину і деякої кількості дрібних частинок, які виділилися у вигляді β_{II} (вторинних кристалів β) з α -твердого розчину.

Структурний склад в області *b* (доевтектичні сплави): α -твердий розчин + евтектика + β -твердий розчин (вторинні кристали).

Структурний склад в області *v* (заевтектичні сплави): β -твердий розчин + евтектика + α -твердий розчин (вторинні кристали).

Структурний склад в області *z*: β -твердий розчин + α -твердий розчин (вторинні кристали).

При розв'язанні завдань слід відділити вертикальними пунктирними лініями області, які мають різний структурний склад, і в кожній області вказати відповідні структурні складові.

3) Указати на діаграмі стану системи задані в завданні хімічні склади сплавів і провести відповідні їм вертикальні лінії (див. рис. 1.4).

4) Побудувати в координатах температура – час криві охолодження сплавів.

Діаграми станів характеризують перетворення, які протікають при повільному охолодженні (нагріванні). Вони, залежно від складу сплаву, можуть протікати по-різному, а отже, сплави можуть мати різні за характером температурні криві охолодження (нагрівання).

Первинна кристалізація, тобто кристалізація з рідкого стану, протікає для чистих металів при постійній температурі з певним тепловим ефектом, внаслідок чого на кривих охолодження при температурі тверднення (і на кривих нагрівання при температурі плавлення) утворюється зупинка (горизонтальна ділянка).

У сплавах із двох компонентів первинна кристалізація протікає зазначеним чином, тобто при постійній температурі, тільки в сплавах евтектичного складу, а також у сплавах – хімічних сполуках і в тих твердих розчинах, склад яких відповідає на діаграмі положенню мінімуму або максимуму.

Кристалізація інших сплавів відбувається в інтервалі температур. Внаслідок того, що утворення кристалів з рідини йде з виділенням тепла, тому цьому процесу відповідає уповільнення охолодження сплаву, яке змінює нахил кривої охолодження. Тому початок процесу кристалізації цих сплавів характеризується перегином на кривій охолодження.

Залежно від кількості фаз закінчення процесу кристалізація може характеризуватися на кривій охолодження перегином або горизонтальною ділянкою.

Якщо сплав по закінченню тверднення однофазний (твердий розчин), то протягом усього процесу кристалізації в рівновазі перебувають дві фази: рідина і кристали твердого розчину. Закінчення тверднення характеризується перегином (змінюється нахил кривої) на кривій охолодження. На діаграмі стану системи цьому випадку відповідає похилий хід лінії солідуса і зміни температури кристалізації при змінюванні концентрації сплаву (рис. 1.2, *II а* і *II б*).

У сплавах – механічних сумішах (гетерогенні системи), які утворюють евтектику, у момент закінчення тверднення на лінії солідуса перебувають у рівновазі три фази: кристали обох компонентів (або їх розчинів чи сполук) і рідина. Згідно з правилом фаз ($C = K + 1 - \Phi$), ця рівновага нонваріантна: $C = 2 + 1 - 3 = 0$. Тому закінчення первинної кристалізації відбувається при постійній температурі та характеризується зупинкою (горизонтальною ділянкою) на кривій охолодження (рис. 1.2, *I*). На діаграмі стану системи цьому випадку відповідає горизонтальний хід лінії солідуса (пряма лінія).

Крива охолодження, яку будують при виконанні завдання, повинна показувати не тільки характер перетворення, але, крім того, і відносну кількість сплаву, що перетворюється при постійній температурі. Це впливає з того, що температурна зупинка залежить від теплового ефекту перетворення і при однаковій масі та швидкості охолодження сплаву довжина прямої лінії пропорційна кількості евтектики, яка утворюється.

Щоб указати довжину горизонтальної ділянки на кривій охолодження, слід вибрати масштаб для зображення кристалізації сплаву, який містить 100 % евтектики. При побудуванні необхідних у завданні кривих охолодження зручно, наприклад, прийняти горизонтальну ділянку кривої для евтектичного сплаву довжиною 10 мм, а потім за правилом відрізків визначити відносну кількість евтектики, яка утворюється при кристалізації даного сплаву, і показати кристалізацію евтектики на кривій охолодження у вигляді горизонтальної ділянки, яка відповідає по довжині її відносній кількості. Наприклад, при наявності в сплаві 50 % евтектики кристалізацію слід відобразити (у прийнятому масштабі) горизонтальною ділянкою довжиною 5 мм.

Часто в сплавах однієї системи залежно від концентрації та кількості фаз, які утворюються, відбуваються обидва види перетворень. Наприклад, у сплавах системи, наведеної на рис. 1.2, *III а*, кристалізація α -фази (а також β -фази) протікає при змінній температурі, а тверднення евтектики – при постійній.

У сплавах з перитектичним перетворенням (рис. 1.2, *III б* крива охолодження *I* виявляє: а) перегин, що вказує початок кристалізації (у рівновазі пере-

бувають дві фази: рідина і первинні кристали фази, що виділяються, збагачені більш тугоплавким компонентом); б) горизонтальна ділянка (зупинка), яка відповідає перитектичній реакції, при якій в умовах рівноваги перебувають три фази: первинні кристали фази, багаті тугоплавким компонентом, рідина та кристали фази, яка утворюється, багаті більш легкоплавким компонентом. Крива охолодження сплавів, які зберігають після цих перетворень рідку фазу (крива II, рис. 1.2, III б), має, крім того, перегин, який вказує закінчення процесу тверднення сплаву. Зупинка на кривій охолодження відповідає горизонтальній лінії на діаграмі стану системи.

Трохи відрізняється процес кристалізації в сплавах, які утворюють хімічні сполуки, нестійкі при високих температурах (при відсутності розчинності між хімічною сполукою і компонентами).

На кривій охолодження ряду сплавів спостерігається спочатку перегин (початок кристалізації), потім горизонтальна ділянка, яка відповідає реакції утворення хімічної сполуки, і, нарешті, друга горизонтальна ділянка, відповідно до утворення евтектики. Цим двом зупинкою на кривій охолодження відповідають дві горизонтальні лінії на діаграмі стану системи (рис. 1.2, V а, крива II).

Якщо нестійка хімічна сполука при високих температурах має розчинність із компонентами, які її утворюють, то діаграма і крива охолодження мають вигляд, поданий на рис. 1.2, V б.

Вторинна кристалізація, тобто перетворення у твердому стані (поліморфне перетворення, повне або частковий розпад твердого розчину, упорядкування твердих розчинів, утворення або розпад нестійких хімічних сполук), також протікає з певним тепловим ефектом. У чистих металах перетворення у твердому стані (поліморфне) протікає при постійній температурі, тому на кривих охолодження (нагрівання) при температурі перетворення спостерігається горизонтальна ділянка.

У подвійних сплавах перетворення у твердому стані протікають при постійних температурах у наступних випадках.

I. У сплавах – твердих розчинах:

- а) при евтектоїдному перетворенні в результаті повного розпаду твердого розчину;
- б) при перитектоїдному перетворенні;
- в) при утворенні інтерметалідних або впорядкованих фаз.

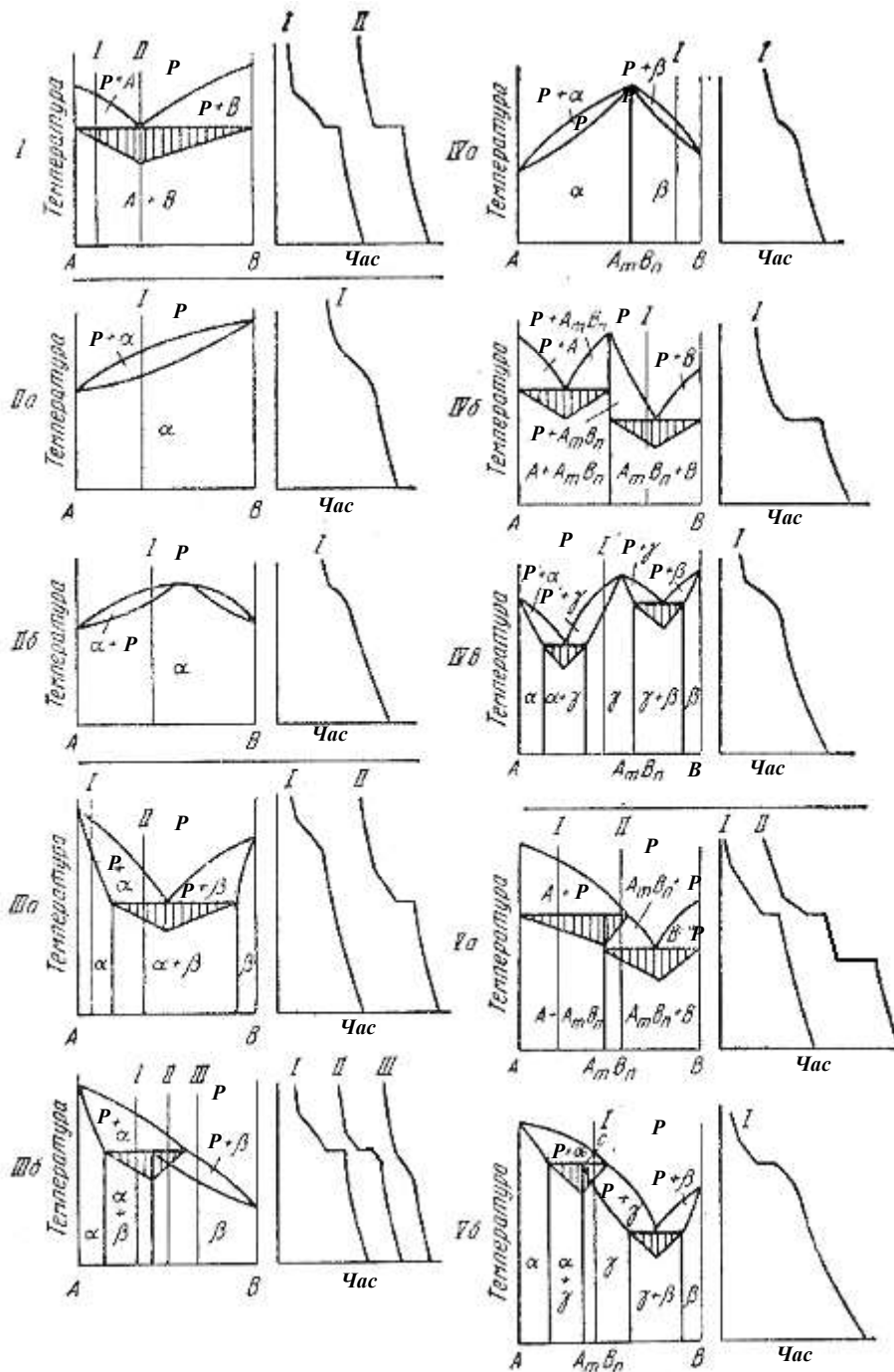


Рисунок 1.2 – Основні типи діаграм стану і криві охолодження подвійних сплавів (які не мають перетворювань у твердому стані):

I – відсутність розчинності; *II* – повна розчинність; *III* – обмежена розчинність (*a* – з утворенням евтектики; *b* – з утворенням перитектики);

IV – утворення хімічної сполуки (*a* – при повній розчинності з компонентами; *b* – при відсутності розчинності; *в* – при обмеженій розчинності); *V* – утворення хімічної сполуки, нестійкої при високих температурах (*a* – при відсутності розчинності з компонентами; *b* – при обмеженій розчинності)

Розпад твердого розчину, який спочатку утворився (стійкого при високій температурі), при подальшому евтектоїдному або перитектоїдному перетворенні протікає при постійній температурі. Якщо склад сплаву відрізняється від евтектоїдного (або перитектоїдного), то спочатку йде частковий розпад з виділенням з вихідного твердого розчину нової фази, а лише потім, по досягненню евтектоїдної температури, перетворення відбувається при постійній температурі. Початок розпаду характеризується на кривій охолодження перегином, а закінчення розпадом при евтектоїдному перетворенні (і перитектоїдному) – горизонтальною ділянкою (рис. 1.3, *III а* і *III б*). Криві деяких сплавів з перитектоїдним перетворенням мають, крім того, при більш низькій температурі ще один перегин, який відповідає закінченню процесу перетворення. У сплавах, у яких відбувається утворення інтерметалідних фаз, горизонтальну ділянку має крива охолодження сплаву тільки тієї концентрації, яка точно відповідає стехіометричному складу. Цей вид перетворення в інших сплавах протікає в інтервалі температур, який змінюється залежно від складу сплаву, і характеризується двома перегинами на кривій охолодження (рис. 1.3, *III в*).

II. У сплавах – механічних сумішах при поліморфному перетворенні одного з компонентів або утвореної ними хімічної сполуки (рис. 1.3, *I а*).

На діаграмі стану системи цим перетворенням відповідає горизонтальна лінія, а на кривій охолодження (нагрівання) – горизонтальна ділянка (зупинка).

Внаслідок того, що тепловий ефект перетворення у твердому стані (вторинна кристалізація) менший, чим при первинній кристалізації з рідини, то при виконанні завдання довжину горизонтальної ділянки кривої, яка відповідає відносній кількості фази, яка перетворюється, можна приймати в меншому масштабі.

В інших випадках перетворення у твердому стані протікають в інтервалі температур і починаються в сплавах різної концентрації при різних температурах; відповідні криві на діаграмі стану системи мають нахил і показують перетворення (рис. 1.3, *I б*, *I в*) або часткове розпад твердого розчину (рис. 1.3, *II а*, *II б*, *III в*). У цьому випадку початок і кінець перетворення на кривій характеризуються перегином, після якого кут нахилу трохи змінюється.

5) Побудувати схему кристалізації заданих сплавів, показати графічно структури, які утворюються в процесі кристалізація, а також перетворення, які протікають у цих сплавах при охолодженні.

Схема кристалізації повинна бути побудована в тому ж масштабі (для температур), який був прийнятий раніше.

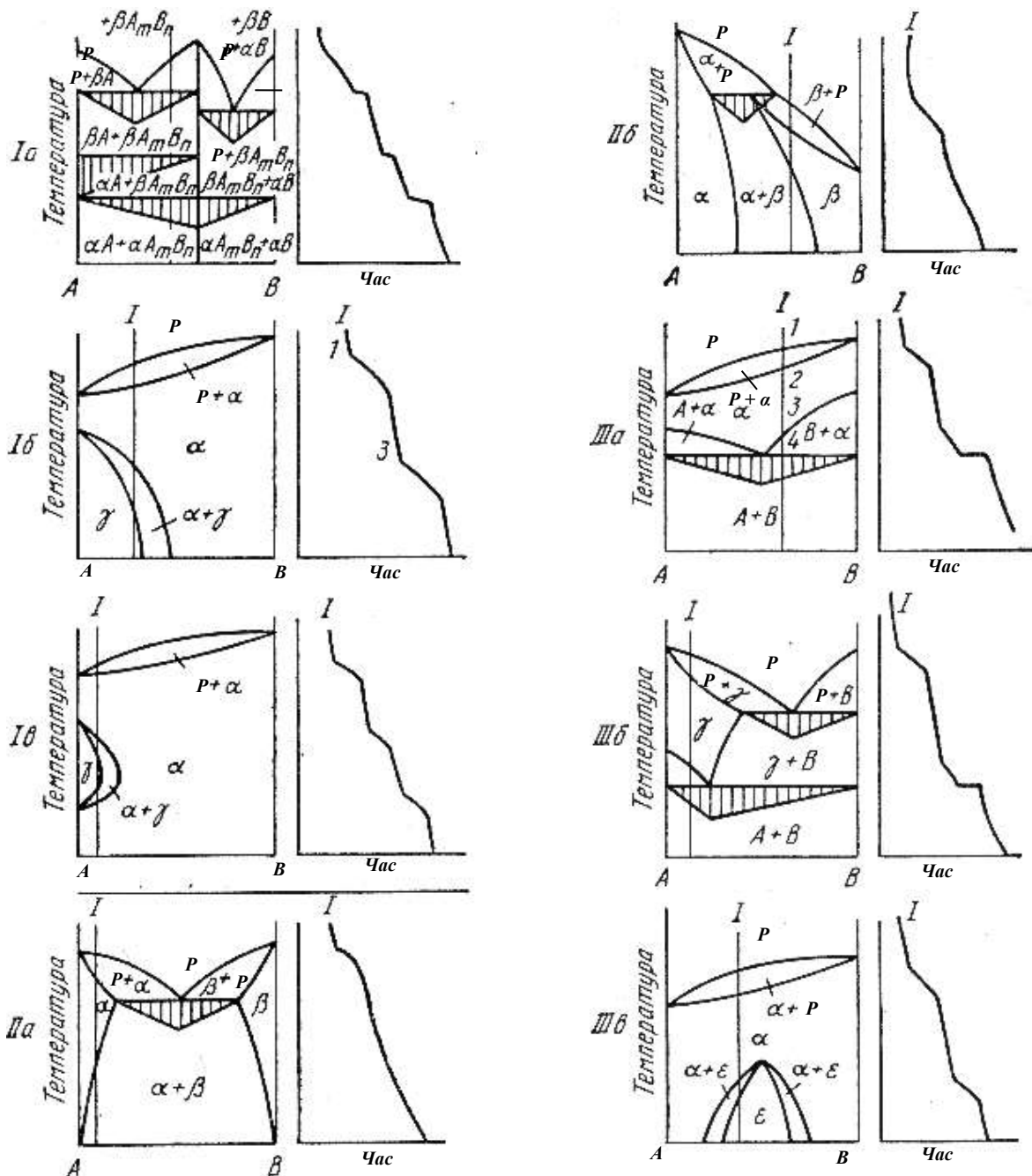


Рисунок 1.3 – Основні типи діаграм стану і криві охолодження подвійних сплавів, які мають перетворення у твердому стані:

I – поліморфні перетворення: *а* – при відсутності розчинності та при наявності хімічної сполуки; *б, в* – у сплавах – твердих розчинах; *II* – зміни розчинності в сплавах з евтектикою: *а* – зменшення розчинності при знижуванні температури; *б* – зменшення та збільшення розчинності в сплавах з перитектичним перетворенням; *III* – розпад твердого розчину в сплавах: *а* – з повною розчинністю; *б* – з обмеженою розчинністю; *в* – при утворенні хімічних сполук або впорядкованих фаз

Для зображення кожної окремої структури необхідно попередньо встано-

вити умовні позначки, указавши, що являє собою дана структурна складова (твердий розчин, механічна суміш, хімічна сполука).

Необхідно прагнути до того, щоб зображення, які приводяться, максимально близько відтворювали реальні структури, які спостерігаються в заданому або аналогічному сплаві при металографічному аналізі. Чисті метали та тверді розчини в стані рівноваги (після відпалювання) мають у мікроскопі зернисту (поліедричну) будову.

Якщо в сплавах даної системи утворюються тверді розчини декількох типів, то кожному з них необхідно давати інше умовне зображення або забарвлення, як це показано, наприклад, у діаграмі, що подається нижче при розв'язанні завдання № 1 (рис. 1.4).

Хімічні сполуки можуть бути у вигляді кристалів різної форми: при розпаді твердих розчинів вони часто виділяються у вигляді сітки по границях зерен або утворюють включення пластинчастої або голчастої форми.

Евтектики та евтектоїди кристалізуються у вигляді ділянок гетерогенної суміші різного виду: сферичного, стрижневого, пластинчастого або голчастого.

При побудованні схеми кристалізації слід ураховувати приблизну кількість кожної складової. Так, наприклад, при виділенні із твердого розчину невеликої кількості вторинних кристалів іншої фази внаслідок зменшення розчинності зі зниженням температури слід зображувати цю фазу у вигляді дрібних кристаликів (наприклад, на границях зерен) на тлі поліедричної структури основного твердого розчину.

б) Дати характеристику стану заданих сплавів при температурах, зазначених у завданні.

Якщо сплав при температурі, зазначеної в завданні, виявиться гетерогенним, то треба визначити фази або структури, що присутні в сплаві, указати склад кожної складової та кількість окремих складових у відсотках. Для цього необхідно провести через фігуративну точку, яка визначає даний сплав при заданій температурі, горизонталь до перетинання з лініями діаграми (коноду, тобто лінію, яка показує склади фаз, які перебувають у рівновазі); потім, опустивши перпендикуляри з кінців коноди на абсцису, визначити концентрацію кожної складової.

Далі за правилом відрізків треба визначити відносну кількість окремих фаз або структур, які присутні у сплаві в стані рівноваги. Кількість присутніх у сплаві евтектики або евтектоїда слід розраховувати для температур їх утворення. Результати розраховувань необхідно навести у вигляді таблиці нижче ді-

аграми, як це показане, наприклад, при розв'язанні завдання № 1 (див. табл. 1.1).

Дано: проаналізувати діаграму стану Fe-P у частині, яка обмежена областю Fe-Fe₂P, і процеси перетворення в сплавах I, II і III, які містять: I – 0,05, II – 2, III – 17 % P.

Визначити фазовий склад і кількісне співвідношення фаз: сплаву I при 20 °С, сплаву II при 100 і 1350 °С, сплаву III при 20 і 1200 °С.

Розв'язування завдання: розв'язування по перших питаннях завдання дано в діаграмах на рис. 1.4. і в табл. 1.1.

Фазами в даній частині діаграми стану Fe-P є:

P – однорідний рідкий розчин атомів заліза і фосфору;

α – твердий розчин на основі α-Fe;

γ – твердий розчин на основі γ-Fe;

α-Fe₃P – високотемпературна немагнітна фаза на базі нестійкої хімічної сполуки Fe₃P постійного складу (плавиться інконгруентно);

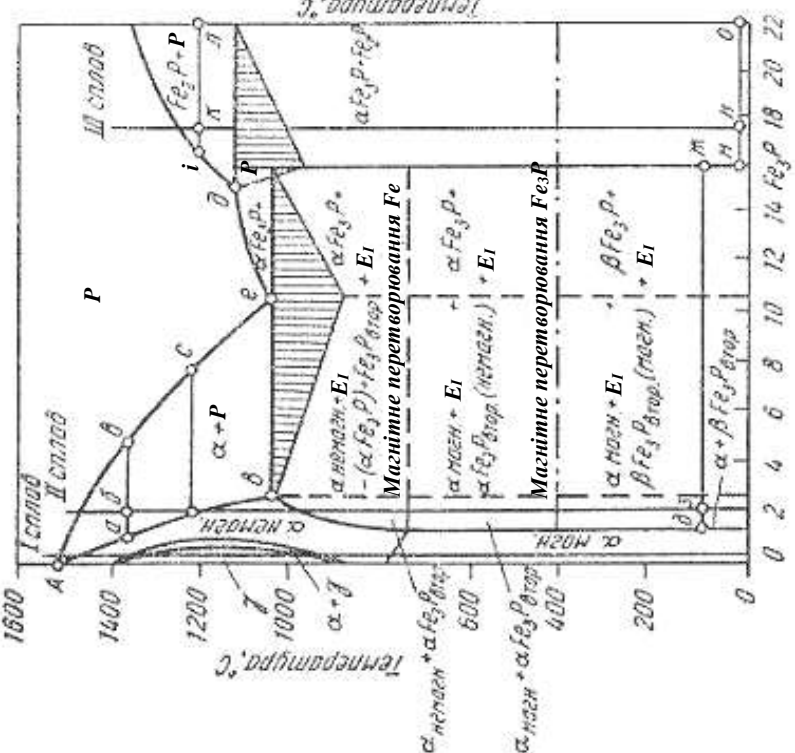
β-Fe₃P – низькотемпературна магнітна фаза на базі нестійкої хімічної сполуки Fe₃P постійного складу (плавиться інконгруентно);

Fe₂P – стійка хімічна сполука постійного складу (плавиться конгруентно).

Сплав I, згідно з діаграмою, кристалізується з утворенням однорідної структури α-твердого розчину (немагнітного). Тверднення його протікає між 1 520 і 1 500 °С при змінюванні концентрації рідини, яка виділяється з твердої фази між сотими частками відсотка і 1,8 % P. Після утворення α-твердого розчину (немагнітного) в процесі охолодження буде двічі відбуватися поліморфне перетворення: спочатку α → γ, а потім відбудеться γ → α (немагнітний). При подальшому охолодженні в структурі сплаву фазові перетворення відбуватися не будуть (за винятком магнітних, які теж відбуваються при постійній температурі).

Сплав II з 2 % P у рівноважному стані після тверднення повинен, як і сплав I, мати структуру однорідного твердого розчину (немагнітного). Тверднення сплаву II починається при температурі близько 1 500 °С і закінчується при температурі близько 1 200 °С. Останні об'єми рідини, які кристалізуються, будуть мати склад, відповідний до точки c, тобто містити підвищену кількість фосфору – близько 8 %. В інтервалі 1 200–960 °С відбувається остигання однорідного α-твердого розчину (немагнітного).

Діаграма стану Fe-P



Кризі охолодження

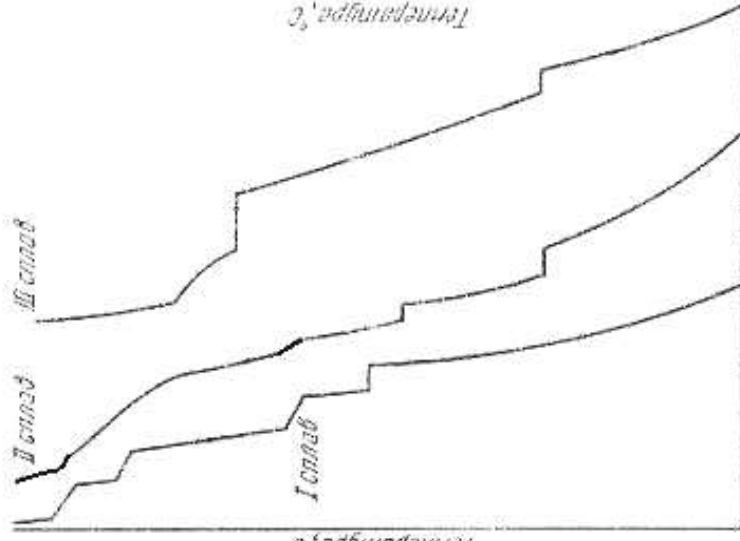
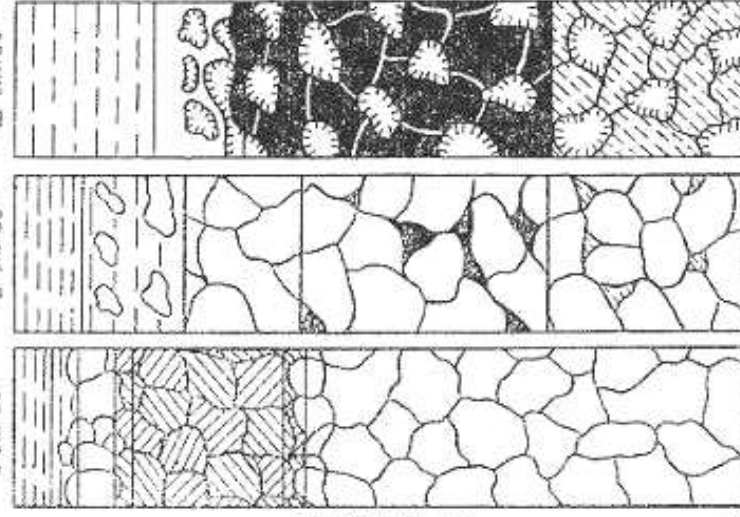


Схема кристалізування



Умовні позначення до схеми кристалізування

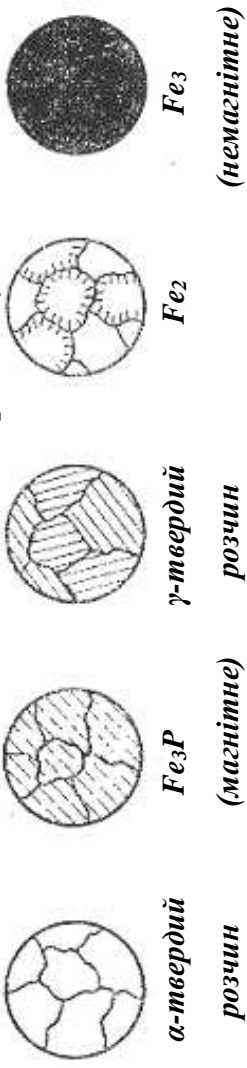


Рисунок 1.4 – Діаграма стану системи Fe-P

Таблиця 1.1 – Характеристика стану заданих сплавів при різних температурах

Сплав	Температура, °С	Фазовий або структурний склад сплаву	Розрахування кількості фазових і структурних складових за правилом Відрізків
I	20	Однорідний твердий розчин на основі α -заліза (магнітний).	$Q_{\alpha} = 100\%$
II	1350	Кристали твердого α -розчину (магнітного) концентрації 0,9 % P (точка a) і рідка фаза, що містить 4,6 % P (точка e).	$Q_P = \frac{a\delta \cdot 100}{a\delta} = \frac{1,1 \cdot 100}{3,7} = 30\%$ $Q_{\alpha} = 100 - 30 = 70\%$
II	100	Основна структура α -твердого розчину (магнітного) концентрації 1,2 % P (точка d) і невелика кількість вторинних кристалів хімічної сполуки Fe ₃ P (магнітної).	$Q_{\alpha} = \frac{3\delta \cdot 100}{\delta\delta} = \frac{13,5 \cdot 100}{14,3} = 94\%$ $Q_{Fe_3P} = 100 - 94 = 6\%$
III	1200	Кристали хімічної сполуки Fe ₂ P і рідка фаза, по концентрації відповідна до точки i – 16 % P.	$Q_P = \frac{\kappa\lambda \cdot 100}{i\lambda} = \frac{4 \cdot 100}{5} = 80\%$ $Q_{Fe_2P} = 100 - 80 = 20\%$
III	20	Суміш двох хімічних сполук Fe ₃ P (магнітна) і Fe ₂ P.	$Q_{Fe_3P} = \frac{mO \cdot 100}{MO} = \frac{4 \cdot 100}{5,5} = 73\%$ $Q_{Fe_2P} = 100 - 73 = 27\%$

Подальше охолодження кристалів α -твердого розчину нижче $960\text{ }^\circ\text{C}$ приводить до протікання процесів вторинної кристалізації внаслідок зменшення розчинності карбону (вуглецю) в α -твердому розчині (немагнітному). Це приводить до виділення в невеликій кількості кристалів хімічної сполуки Fe_3P , які будуть розташовуватися по границях зерен. При подальшому охолодженні спочатку відбувається магнітне перетворення у ферумі (залізі), а при $400\text{ }^\circ\text{C}$ відбується перетворення $\alpha\text{-Fe}_3\text{P} \rightarrow \beta\text{-Fe}_3\text{P}$, що супроводжується появою магнітних властивостей у цій хімічній сполуці (обидва перетворення відбуваються в умовах сталої температури).

Сплав *III* в процесі тверднення, крім хімічної сполуки Fe_2P , утворює ще нестійку при високих температурах хімічну сполуку Fe_3P . Тому сплав *III* при нормальній температурі, як випливає з діаграми стану, повинен складатися із суміші двох хімічних сполук: кристалів немагнітної β -модифікації $\text{Fe}_3\text{P} + \text{Fe}_2\text{P}$. Кількість кожної із цих сполук у сплаві *III* визначається за правилом відрізків і дорівнює 73% Fe_3P і 27% Fe_2P (табл. 1.1., рис. 1.4).

Утворення хімічної сполуки Fe_3P відбувається за реакцією між рідкою фазою складу *C* і хімічною сполукою Fe_2P , тобто по типу перитектичної реакції, яка протікає, як відомо, на поверхні розділу фаз.

Магнітні перетворення α -твердого розчину та Fe_3P , що протікають у цих сплавах і показані пунктирними лініями на діаграмі (рис. 1.4), не викликають змін у структурі, але внаслідок того, що вони супроводжуються тепловим ефектом, тому на кривих охолодження утворюються горизонтальні ділянки, відповідні до точок Кюрі для відповідного сплаву. На схемах структур з метою спрощення показане магнітне перетворення тільки фази Fe_3P .

2. ПРИКЛАД ВИКОНАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАВДАННЯ (РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОГО ЗАВДАННЯ)

2.1. Гомогенізація твердих розчинів

Виникаюча при кристалізації твердих розчинів і проміжних фаз внутрішньокристалічна ліквідація може послаблятися після затвердіння в результаті дифузійного вирівнювання складу.

Розглянемо стан хімічно неоднорідної кристалічної фази двокомпонентного сплаву, в якому компонент B є більш тугоплавким ніж компонент A . Усерєдині гілок дендрита більше компонента B , а компонента A більше в міжгіллях, які кристалізуються пізніше.

Атоми компонента B дифундують із гілок у міжгілля, а атоми компонента A дифундують у зворотному напрямку, причому потік їх рівний. Перерозподіл компонентів відбувається доти, поки склад не досягне повсюдно однакового значення і розчин стане однорідним.

Усунення дендритної ліквідації в розчинах проникнення відбувається переважно завдяки дифузії розчиненої речовини. Атоми проникнення легко переміщуються по міжвузлях розчинника і гомогенізація йде швидко.

При гомогенізації розчину заміщення вирівнювання складу відбувається в результаті протилежно спрямованої дифузії компонентів A і B . Швидкість дифузії в розчинах заміщення невелика й гомогенізація йде повільно. При перерозподілі компонентів у таких розчинах можуть виникнути дифузійні пори.

Атоми в розчині заміщення переміщуються переважно вакансійно. Вони пересуваються в напрямку зменшення хімічного потенціалу, якщо перед ними виявляться вакансії. Таким чином, переміщення атомів компонента B з гілок у міжгілля дендритів супроводжуються переміщенням вакансій у зворотному напрямку.

Компонент A дифундує з міжгілля у гілки дендрита; необхідні для цього переміщення вакансії мають зворотний напрямок. Якщо потоки A і B однакові, концентрація вакансій у кожній ділянці розчину залишається незмінною і близькою до рівноважної для даної температури.

Надлишкові вакансії виникають через некомпенсованості потоків. У цьому випадку потік атомів легкорухомого компонента повинен дорівнювати сумі потоків атомів малорухомого компонента і вакансій. Це означає існування спрямованого потоку вакансій і утворення надлишкових вакансій у міс-

цях, звідки йде легкорухомий компонент. Надлишкові вакансії можуть осідати на дислокаціях, міжзерених границях, субграницях, включеннях іншої фази і утворювати дифузійні пори.

Пори дифузійного походження частіше виникають у міжгіллях, збагачених легкоплавким компонентом, атоми якого більш рухливі і ідуть частіше, ніж надходять сюди атоми тугоплавкого компонента. У результаті міжгілля пересичуються вакансіями і тут ростуть пори.

Незважаючи на повільне охолодження, при кристалізуванні усунути дендритну ліквіацію в ряді випадків не вдається. Якщо вона небажана, то сплави, що затверділи, нагрівають до високої температури і довгостроково витримують для вирівнювання складу. Такий вид оброблення називають гомогенізувальним або дифузійним відпаленням. Температура його значно нижче температури солідуса сплаву, тому що надмірно високе нагрівання може викликати оплавлення збагачених легкоплавким компонентом ділянок.

Дендритна ліквіація звичайно небажана, тому що з нею пов'язана неоднорідність властивостей розчину. У деяких випадках, однак, наприклад при виготовленні підшипників, неоднорідність властивостей бажана й тоді використовують сплави із внутрішньокристалічною ліквіацією.

2.2. Структура і властивості деформованих металів

Деформацією називається зміна форми і розмірів тіла під дією зовнішніх навантажень.

Деформація, що виникає при порівняно невеликих навантаженнях і зникає після зняття їх, називається пружною, а така, що зберігається, залишковою або пластичною (рис. 2.1). При збільшенні навантаження деформація може скінчитися руйнуванням.

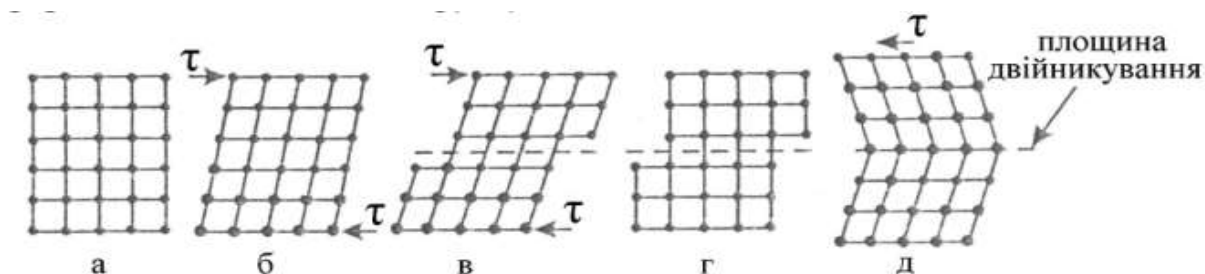


Рисунок 2.1 – Схема пружної (б) та пластичної (в, г, д) деформації:

а – вихідна структура; в, г – деформації ковзанням; д – деформація двійникуванням

При пружній деформації відбувається зворотне зміщення атомів з положень рівноваги у кристалічних ґратках. Після зняття навантаження атоми, що змістилися під дією сил міжатомної взаємодії повертаються у вихідний рівноважний стан і кристали набувають первинної форми і розміру.

Процес пластичної деформації звичайно є процесом ковзання однієї частини кристалу відносно іншої по кристалографічних площинах з найбільшою щільністю пакування атомів (рис. 2.1, в, з). Існують й інші механізми пластичної деформації (наприклад, двійникуванням (рис. 2.1, д)). Проте ковзання, що реалізується за рахунок пересування дислокацій, як правило, є переважним.

У полікристалічних матеріалах, якими є метали і сплави, зерна внаслідок деформації змінюють свою форму та орієнтування, утворюючи волокнисту структуру з переважним орієнтуванням кристалів. Відбувається поворот безладно орієнтованих зерен осями найбільшої міцності вздовж напрямку деформації. Зерна деформуються та сплющуються, подовжуючись у напрямках плину металу.

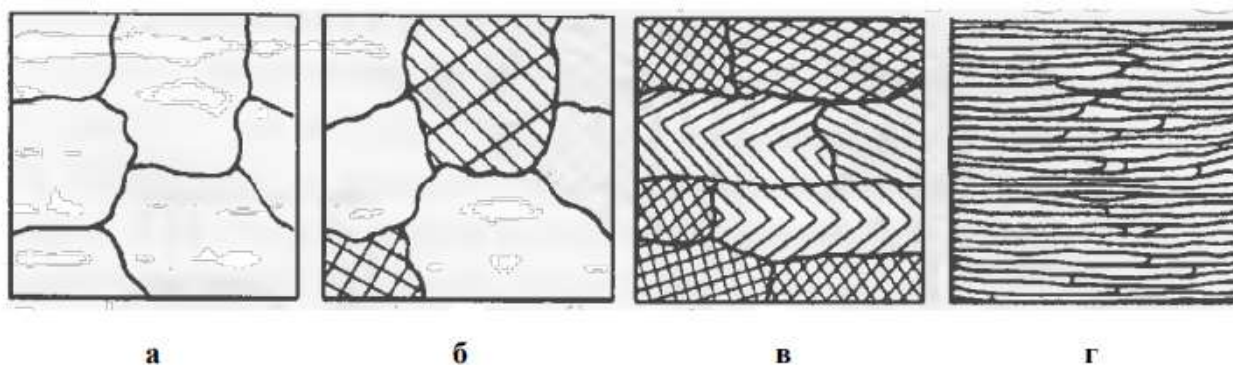


Рисунок 2.2 – Схема зміни мікроструктури полікристалічного металу при деформації:
а – вихідний стан, $\epsilon = 0\%$; б – $\epsilon = 1\%$; в – $\epsilon = 40\%$; г – $\epsilon = 80\text{...}90\%$

Переважає кристалічне орієнтування зерен вздовж напрямку деформації називається текстурою деформації металу. Утворення текстури сприяє виникненню анізотропії властивостей вздовж та поперек волокон.

Більшість властивостей металу – механічних, фізичних, хімічних – є структурно чутливими і суттєво змінюються при пластичній деформації.

Крива *l* – фізична границя плинності, умовна границя плинності, границя міцності, твердості, коерцитивна сила, питомий електроопір, травимість тощо – у процесі деформації збільшуються, поки не відбудеться насичення.

Крива 2 – відносні подовження та звуження, ударна в'язкість, густина, магнітна проникність, теплопровідність тощо, – навпаки, зменшуються внаслідок пластичної деформації.

До структурно нечутливих властивостей металу, які не залежать від ступеня його деформації, належать валентність, періоди ґратки, температура плавлення, модуль пружності, інтенсивність намагнічування, теплоємність та деякі інші.

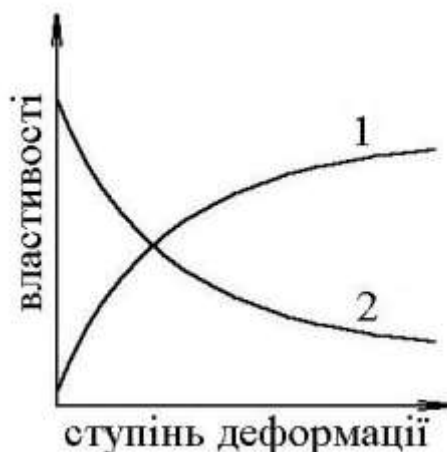


Рисунок 2.3. Схема зміни властивостей металу при пластичній деформації

Пластична деформація металу призводить до суттєвих і глибоких змін в його структурі та властивостях.

2.3. Описати взаємодію компонентів у діаграмі стану системи Au–Nb.

Вказати основні лінії діаграми, структуру у всіх областях діаграми та перетворення, у результаті яких вона утворюється. Побудувати із використанням правила фаз криві охолодження для сплавів заданого складу. Вказати фази, їх хімічний склад і кількісне співвідношення при відповідних температурах. Зарисувати схему структуроутворення на всіх етапах процесу охолодження.

Взаємодія компонентів у діаграмі стану золото – ніобій

Температура плавлення Au – 1 064,43 °C, Nb – 2 469 °C.

Поліморфізм компонентів відсутній.

Максимальна розчинність Nb в (Au) дорівнює ~ 57 % (ат.), а розчинність

Au в (Nb) дорівнює ~ 36 % (ат.) при температурі перитектики.

Система Au–Nb характеризується наявністю широких областей твердих розчинів Au і Nb та трьох сполук Au_2Nb , Au_2Nb_3 , $AuNb_3$, причому ці сполуки утворюються у твердому стані.

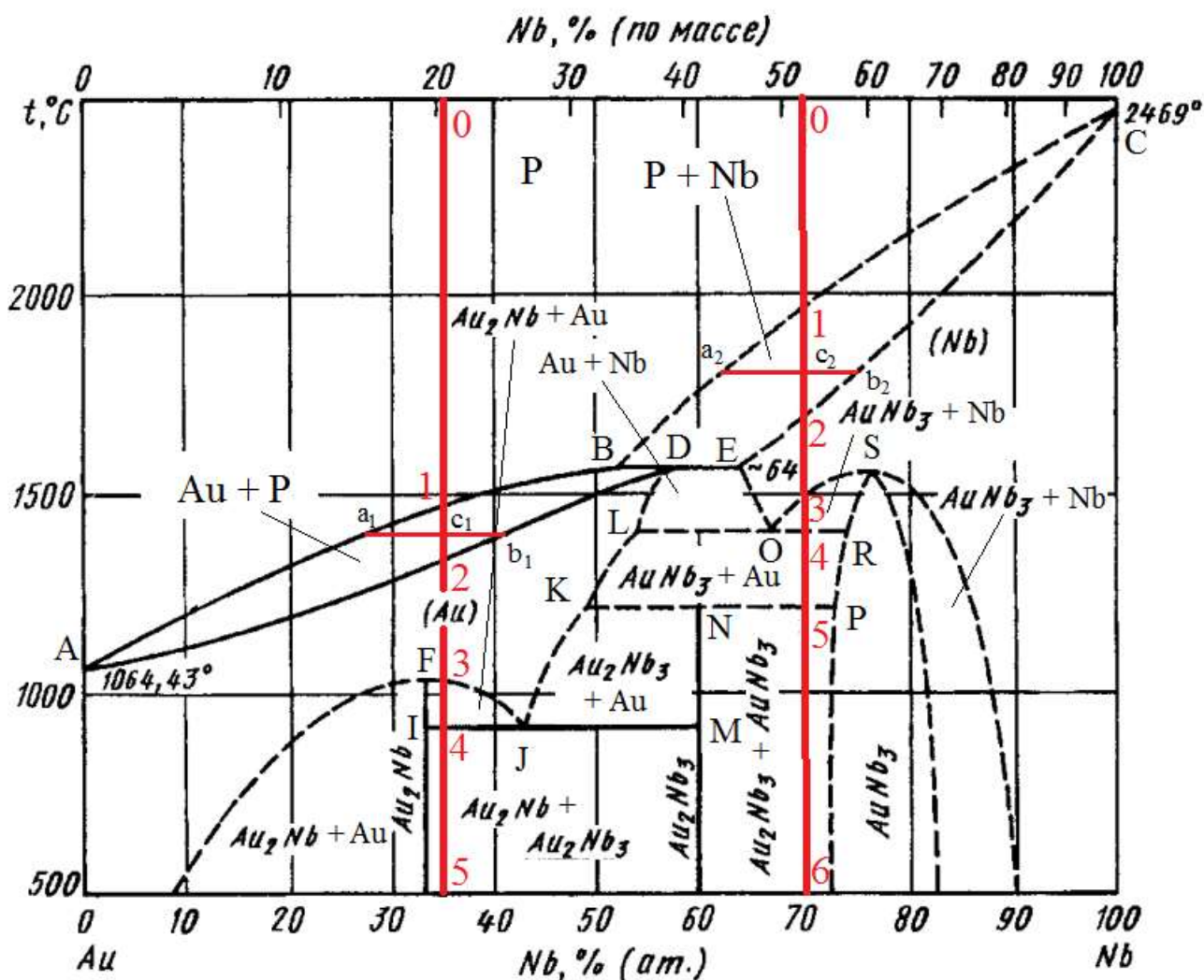


Рисунок 2.3 – Діаграма стану Au – Nb

Основні лінії діаграми

Ліквідус: ABC

Солідус: $ADEC$

Евтектоїди: LOR, IJM

Перитектоїд: KNP

Перитектика: BDE

LOR – евтектоїд, $Nb_0 \rightleftharpoons Au_L + AuNb_{3R}$

IJM – евтектоїд, $Au_J \rightleftharpoons Au_2Nb_I + Au_2Nb_{3M}$

KNP – перитектоїд, $Au_K + AuNb_{3P} \rightleftharpoons Au_2Nb_{3N}$

BDE – перитектика, $L_B + Nb_E \rightleftharpoons Au_D$

Фази:

Au – твердий розчин золота .

Nb – твердий розчин ніобію.

Au_2Nb , Au_2Nb_3 , $AuNb_3$ – інтерметалідні сполуки

P – однорідний рідкий розчин золота та ніобію.

Характеристика проміжних фаз:

Au_2Nb – склад постійний, плавиться інконгруентно

Au_2Nb_3 – склад постійний, плавиться інконгруентно

$AuNb_3$ – склад непостійний, плавиться інконгруентно

Структурування сплаву $X_1 = 35\% Nb$ при охолодженні

0–1 – охолодження однорідного рідкого розчину;

1–2 – початок процесу первинної кристалізації: з рідини вирізняються кристали Au;

2–3 – після закінчення процесу первинної кристалізації залишається тверда фаза Au;

3–4 – початок процесу вторинної кристалізації: з твердої фази виділяються кристали Au_2Nb ;

4–4' – у сплаві відбувається евтектоїдне перетворення $Au_J \rightleftharpoons Au_2Nb_I + Au_2Nb_{3M}$;

4'–5 – після закінчення евтектоїдного перетворення залишаються дві фази: Au_2Nb , та Au_2Nb_3 .

При $T_1 = 1400\text{ }^\circ\text{C}$ хімічний склад фаз:

$$L - 28\% Nb \text{ та } 72\% Au$$

$$Au - 41\% Nb \text{ та } 59\% Au$$

$$Q_L = \frac{c_1 b_1}{a_1 b_1} * 100\%; Q_L = \frac{14}{32} * 100\% = 44\%$$

$$Q_{Au} = \frac{a_1 c_1}{a_1 b_1} * 100\%; Q_{Au} = \frac{18}{32} * 100\% = 56\%$$

$$Q_L = 44\% \quad Q_{Au} = 56\%$$

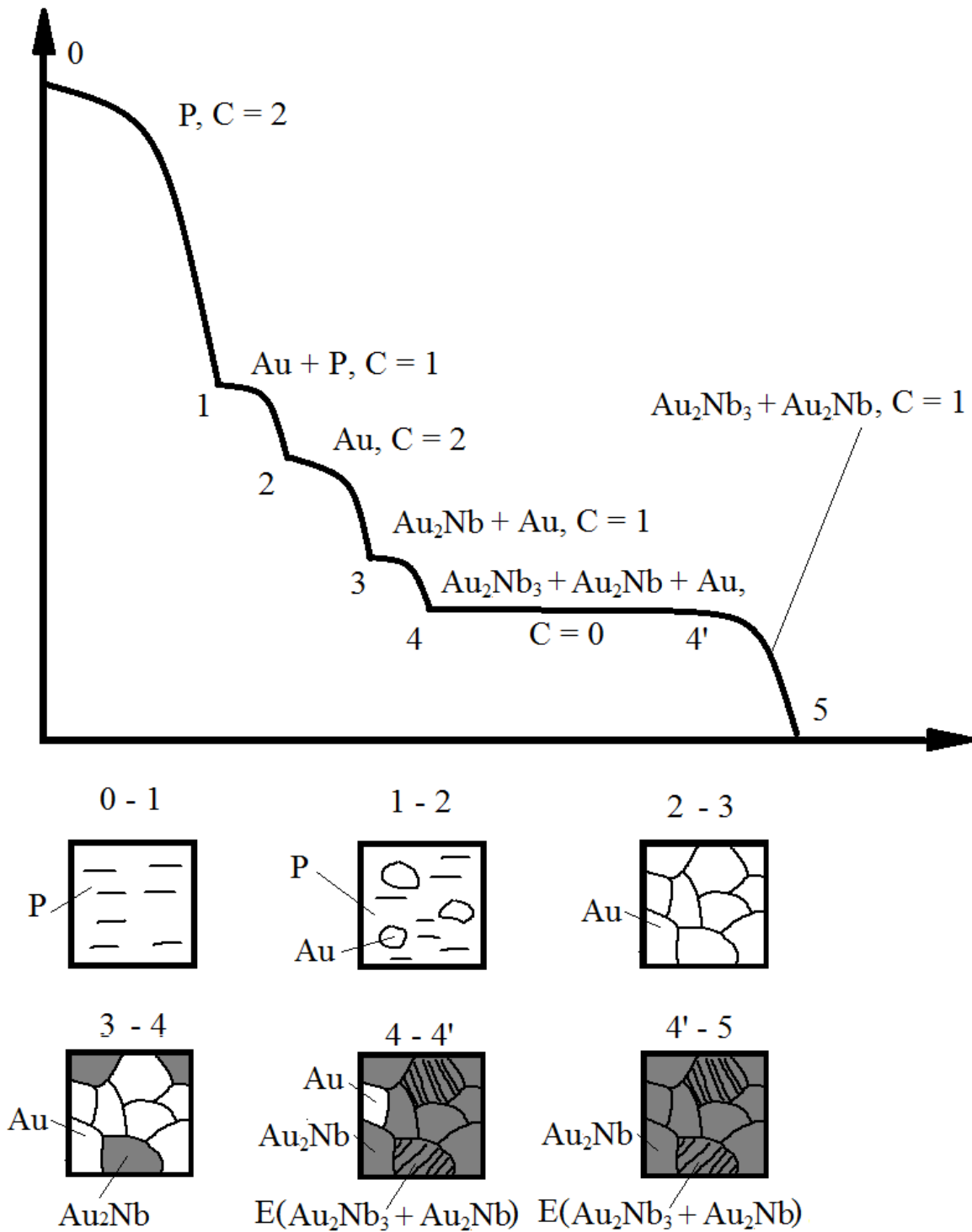


Рисунок 2.4 – Крива охолодження сплаву $X_1 = 35\% \text{ Nb}$

Склад фаз, їх об'ємна частка

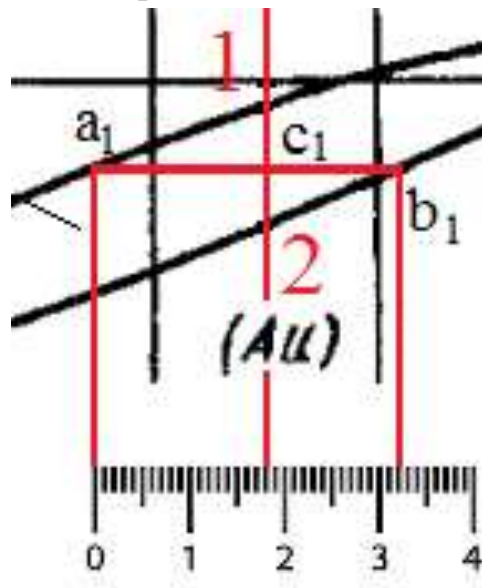


Рисунок 2.5 – Фрагмент схеми для розрахунку хімічного складу фаз сплаву $X_1 = 35\% \text{ Nb}$

Структурування сплаву $X_2 = 70\% \text{ Nb}$ при охолодженні

0–1 – охолодження однорідного рідкого розчину;

1–2 – початок процесу первинної кристалізації: з рідини вирізняються кристали Nb;

2–3 – після закінчення процесу первинної кристалізації залишається тверда фаза Nb;

3–4 – початок процесу вторинної кристалізації: з твердої фази вирізняються кристали AuNb_3 ;

4–4' – у сплаві відбувається евтектоїдне перетворення $\text{Nb}_0 \rightleftharpoons \text{Au}_L + \text{AuNb}_{3R}$;

4'–5 – після закінчення евтектоїдного перетворення залишається дві фази: AuNb_3 та Au;

5–5' – у сплаві відбувається перетектоїдне перетворення $\text{Au}_K + \text{AuNb}_{3P} \rightleftharpoons \text{Au}_2\text{Nb}_3$;

5'–6 – після закінчення перетектоїдного перетворення залишається дві фази: Au_2Nb_3 та AuNb_3 .

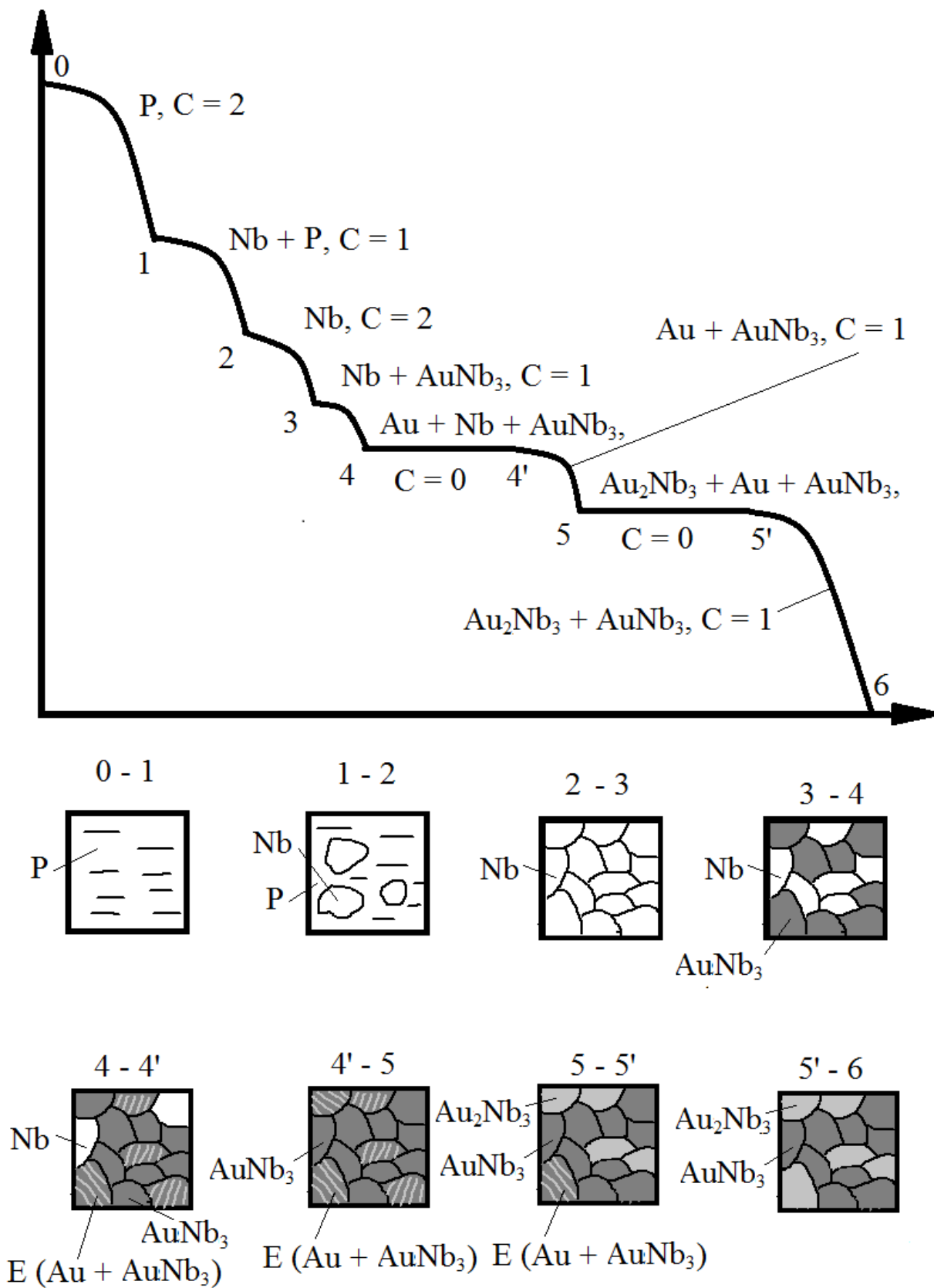


Рисунок 2.6 – Крива охолодження сплаву $X_2 = 70\% \text{ Nb}$

Склад фаз, їх об'ємна доля

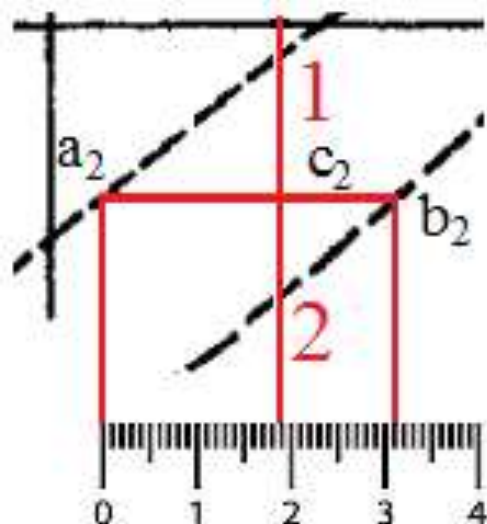


Рисунок 2.7 – Фрагмент схеми для розрахунку хімічного складу фаз сплаву $X_2 = 70\% \text{ Nb}$

При $T_1 = 1800\text{ }^\circ\text{C}$ хімічний склад фаз:

L – 62% Nb та 38% Au

Nb – 74% Nb та 26% Au

$$Q_L = \frac{c_2 b_2}{a_2 b_2} * 100\%; \quad Q_L = \frac{12}{31} * 100\% = 39\%$$

$$Q_{\text{Nb}} = \frac{a_2 c_2}{a_2 b_2} * 100\%; \quad Q_{\text{Nb}} = \frac{19}{31} * 100\% = 61\%$$

$$Q_L = 39\% \quad Q_{\text{Nb}} = 61\%$$

3. ВАРІАНТИ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ЗАВДАНЬ (РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНИХ ЗАВДАНЬ)

Варіант № 1

1. Предмет матеріалознавства. Поняття: сплав, структура, властивості.
2. Ліквіаційні явища в сплавах і методи їх усунення.
3. Описати взаємодію компонентів у діаграмі стану системи Cu–Ag. Вказати основні лінії діаграми, структуру у всіх областях діаграми та перетворення, у результаті яких вона утвориться. Побудувати із використанням правила фаз криву охолодження для сплаву, що містить 80 % купруму (міді). Вказати фази, їх хімічний склад і кількісне співвідношення при температурі 900 °С. Зарисувати схему структуроутворення сплаву.

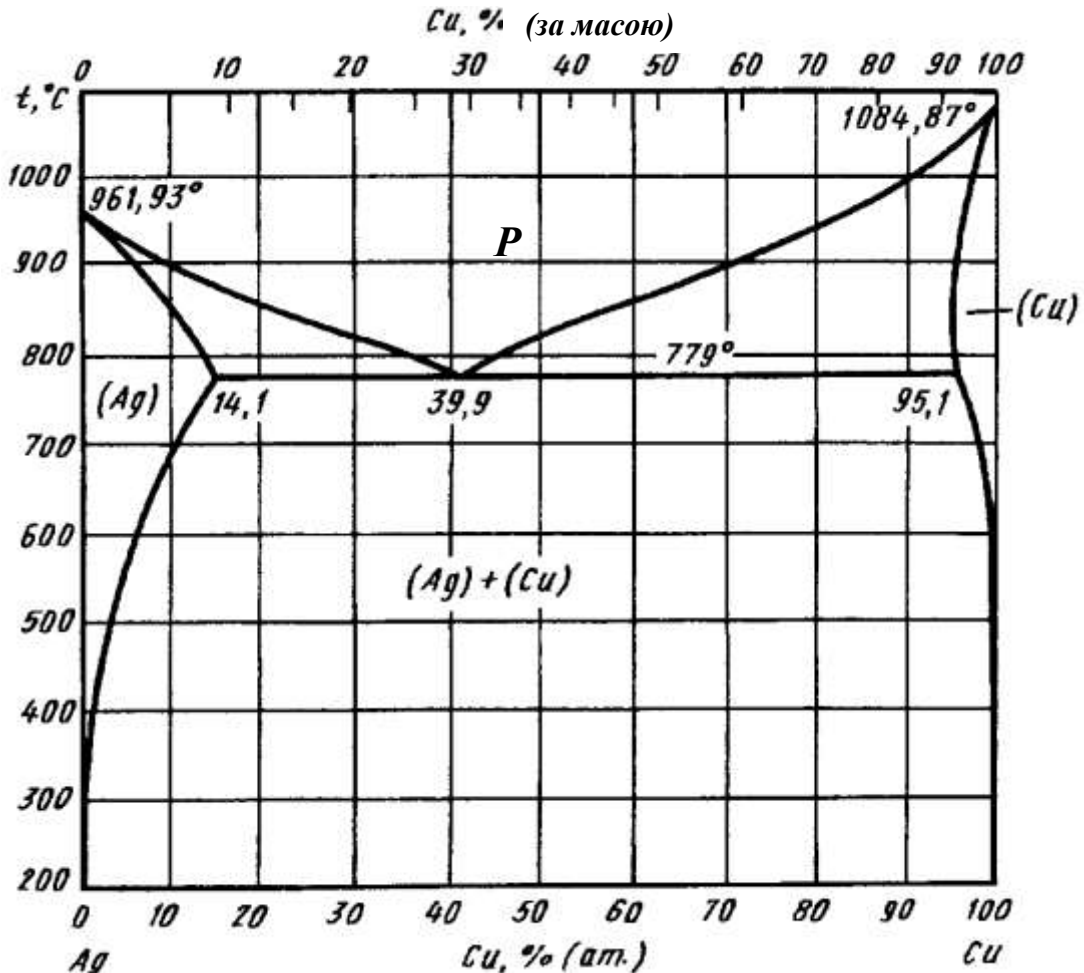


Рисунок 3.1 – Діаграма стану системи Cu–Ag

Варіант № 2

1. Макро- і мікроструктура металів і сплавів. Завдання макро- і мікроаналізу.
2. Основні механічні властивості металів та їх показники.
3. Описати взаємодію компонентів у діаграмі стану системи Ас–Сг. Вказати основні лінії діаграми, структуру у всіх областях діаграми та перетворення, у результаті яких вона утвориться. Побудувати із використанням правила фаз криву охолодження для сплаву, що містить 10 % актинію. Вказати фази, їх хімічний склад і кількісне співвідношення при температурі 1 200 °С. Зарисувати схему структуроутворення сплаву.

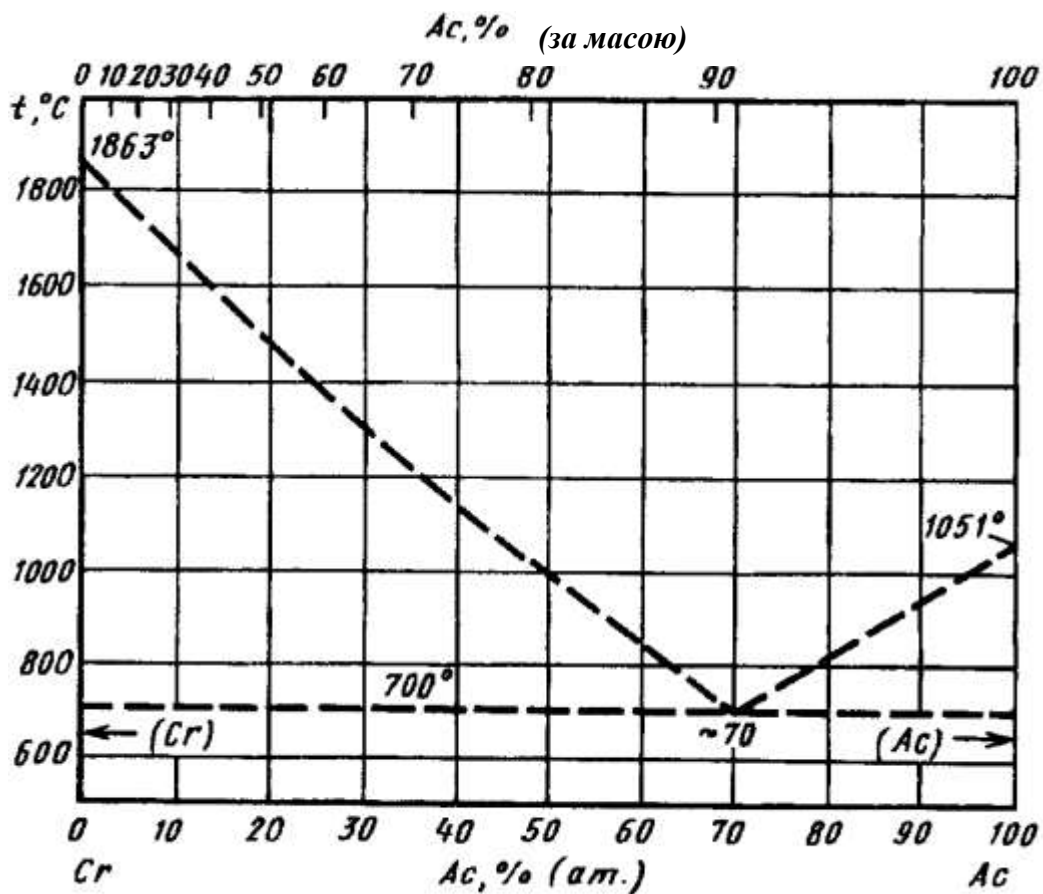


Рисунок 3.2 – Діаграма стану системи Ас–Сг

Варіант № 3

1. Методика виготовлення макро- і мікрошліфів. Різні способи виявлення мікроструктури зразків.
2. Технологічні та експлуатаційні властивості металевих матеріалів.
3. Описати взаємодію компонентів у діаграмі стану системи Ag–Ві. Вказати основні лінії діаграми, структуру у всіх областях діаграми та перетворення, у результаті яких вона утвориться. Побудувати із використанням правила фаз криву охолодження для сплаву, що містить 40 % вісмуту. Вказати фази, їх хімічний склад і кількісне співвідношення при температурі 400 °С. Зарисувати схему структуроутворення сплаву.

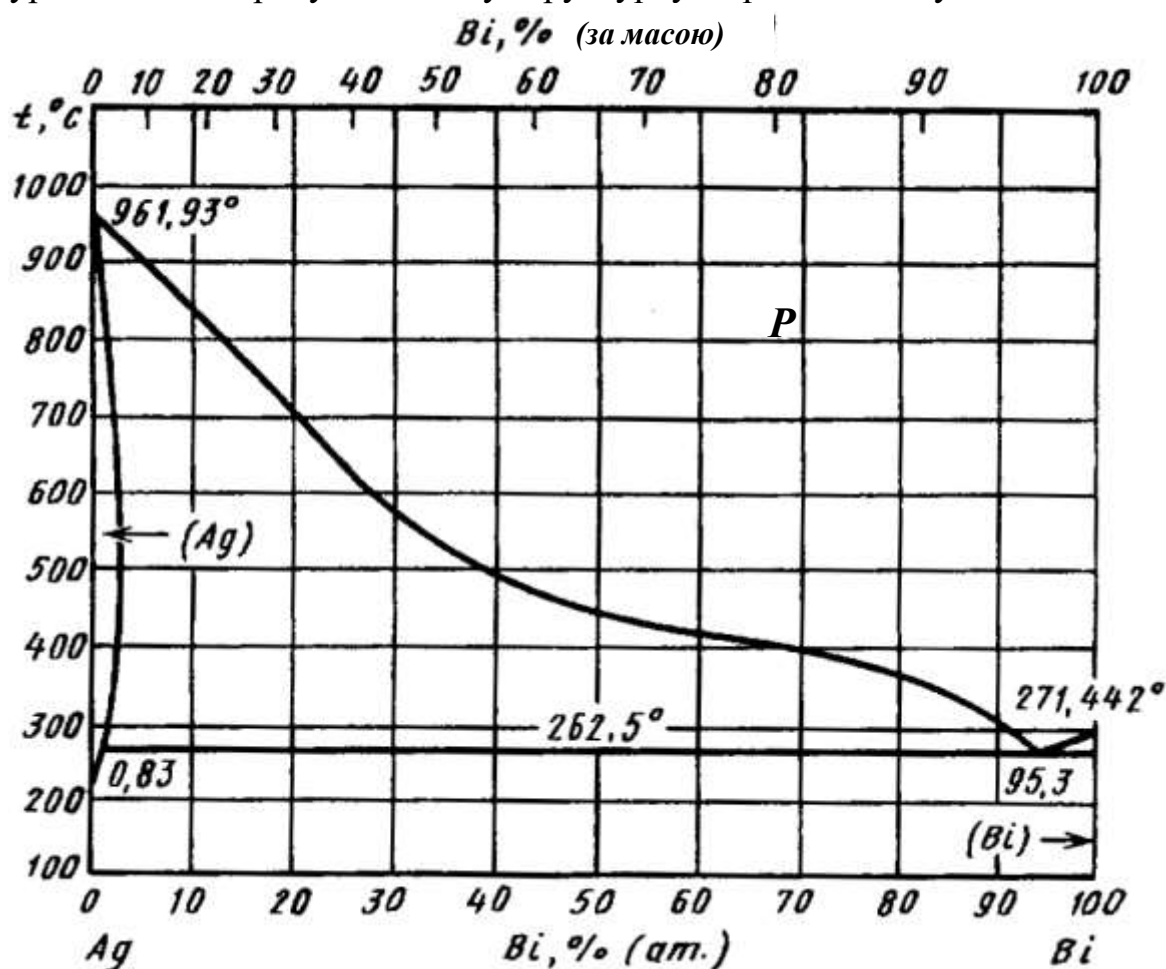


Рисунок 3.3 – Діаграма стану системи Ag–Ві

Варіант № 4

1. Принцип дії оптичного мікроскопа, його основні частини. Корисне збільшення мікроскопа.
2. Вплив дефектів кристалічної будови на фізико-механічні властивості металів.
3. Описати взаємодію компонентів у діаграмі стану системи Ge–Ag. Вказати основні лінії діаграми, структуру у всіх областях діаграми та перетворення, у результаті яких вона утвориться. Побудувати із використанням правила фаз криву охолодження для сплаву, що містить 90 % срібла (Ag). Вказати фази, їх хімічний склад і кількісне співвідношення при температурі 700 °C. Зарисувати схему структуроутворення сплаву.

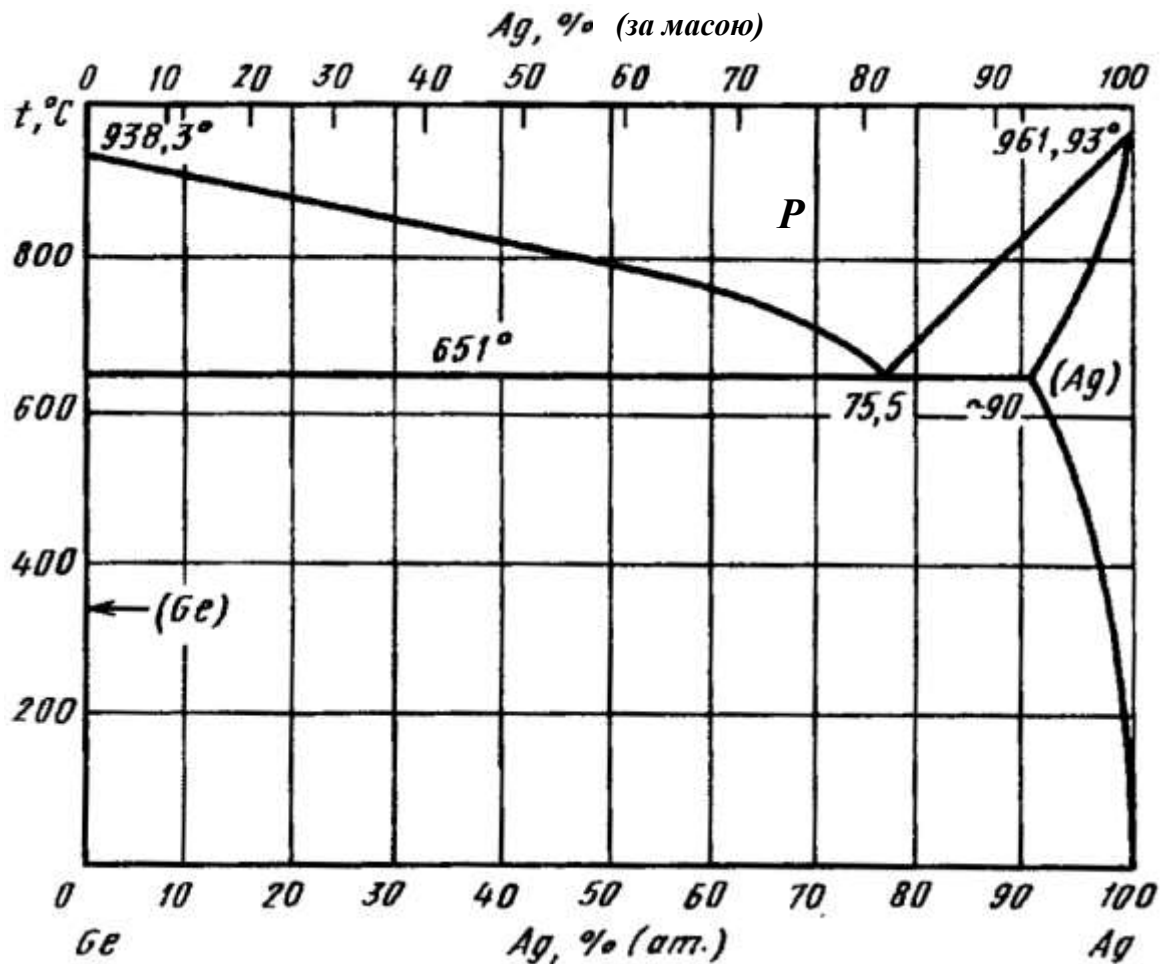


Рисунок 3.4 – Діаграма стану системи Ge–Ag

Варіант № 5

1. Аберации оптичної системи та їх усунення. Способи збільшення оптичного контрасту.
2. Шкідливі домішки в сталі та методи їх виявлення.
3. Описати взаємодію компонентів у діаграмі стану системи Ag–Pd. Вказати основні лінії діаграми, структуру у всіх областях діаграми та перетворення, у результаті яких вона утвориться. Побудувати із використанням правила фаз криву охолодження для сплаву, що містить 70 % палладію. Вказати фази, їх хімічний склад і кількісне співвідношення при температурі 1 400 °С. Зарисувати схему структуроутворення сплаву.

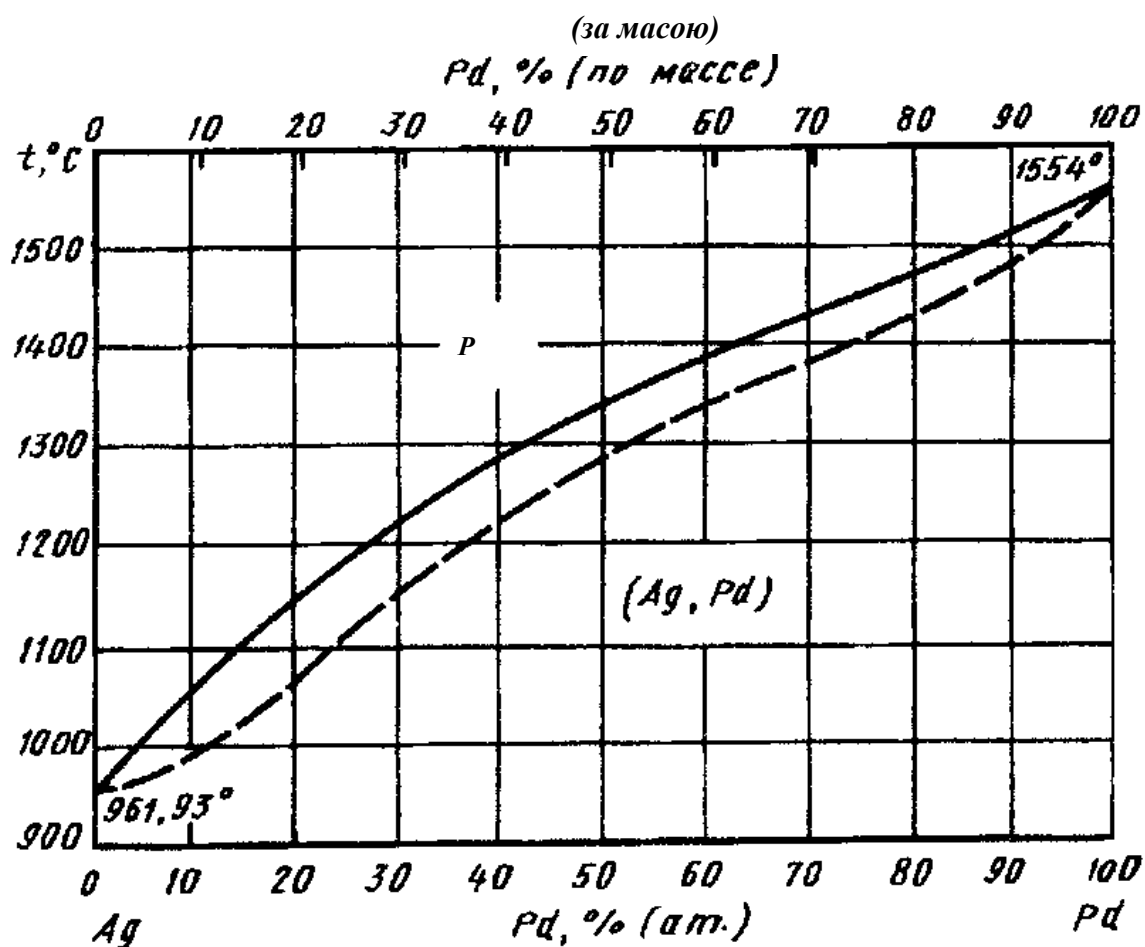


Рисунок 3.5 – Діаграма стану системи Ag–Pd

Варіант № 6

1. Характеристика атомно-кристалічної будови металів. Типи кристалічних ґраток металів, їх характеристики.
2. Обмежена і необмежена розчинність компонентів у твердому стані.
3. Описати взаємодію компонентів у діаграмі стану системи Cu–Ir. Вказати основні лінії діаграми, структуру у всіх областях діаграми та перетворення, у результаті яких вона утвориться. Побудувати із використанням правила фаз криву охолодження для сплаву, що містить 30 % іридію. Вказати фази, їх хімічний склад і кількісне співвідношення при температурі 1 500 °С. Зарисувати схему структуроутворення сплаву.

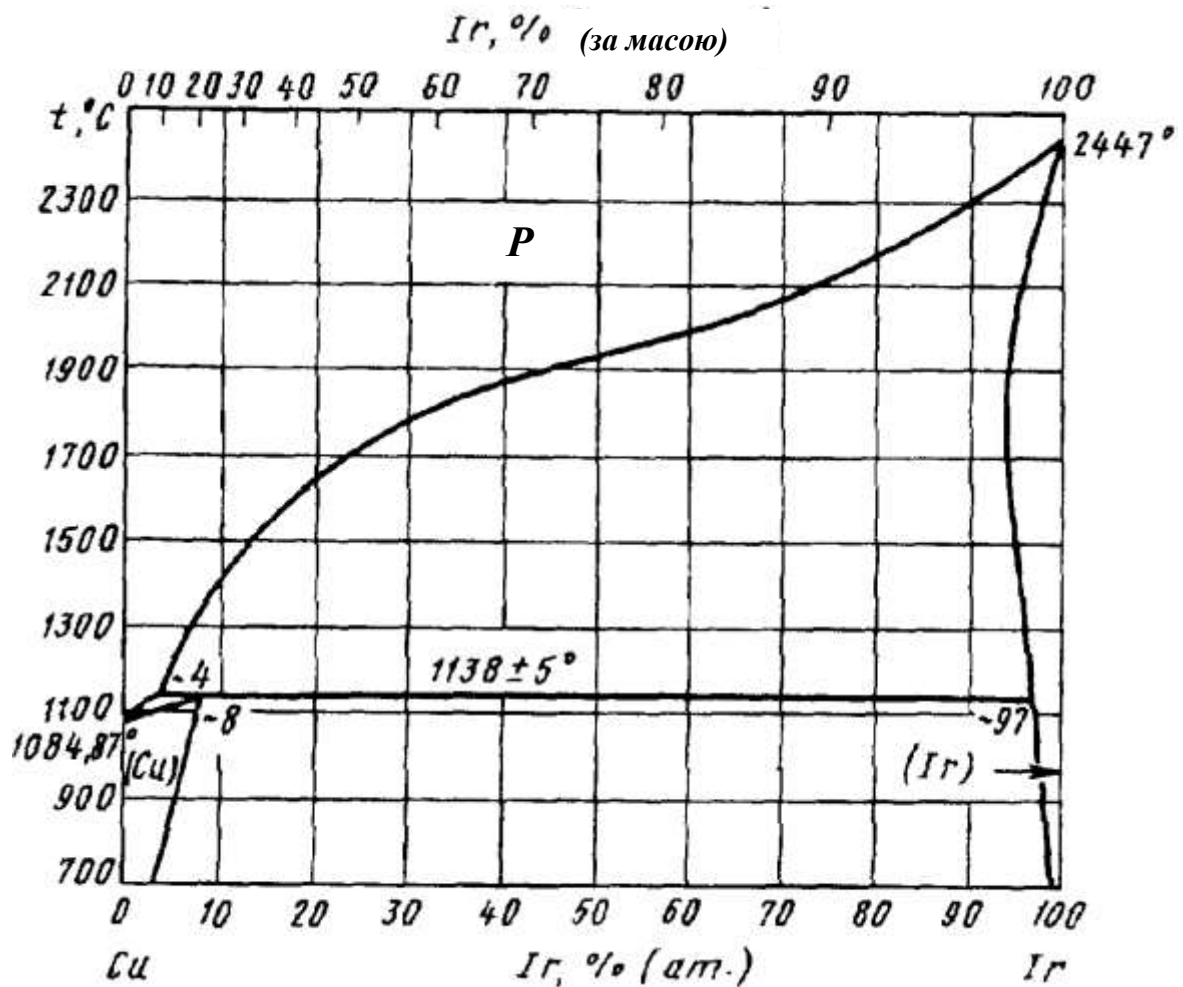


Рисунок 3.6 – Діаграма стану системи Cu–Ir

Варіант № 7

1. Відмінність у будові аморфних і кристалічних тіл. Алотропія (поліморфізм). Анізотропія властивостей та ізотропність.
2. Дефекти будови литого метала.
3. Описати взаємодію компонентів у діаграмі стану системи As–Tm. Вказати основні лінії діаграми, структуру у всіх областях діаграми та перетворення, у результаті яких вона утвориться. Побудувати із використанням правила фаз криву охолодження для сплаву, що містить 70 % тулія. Вказати фази, їх хімічний склад і кількісне співвідношення при температурі 2 000 °С. Зарисувати схему структуроутворення сплаву.

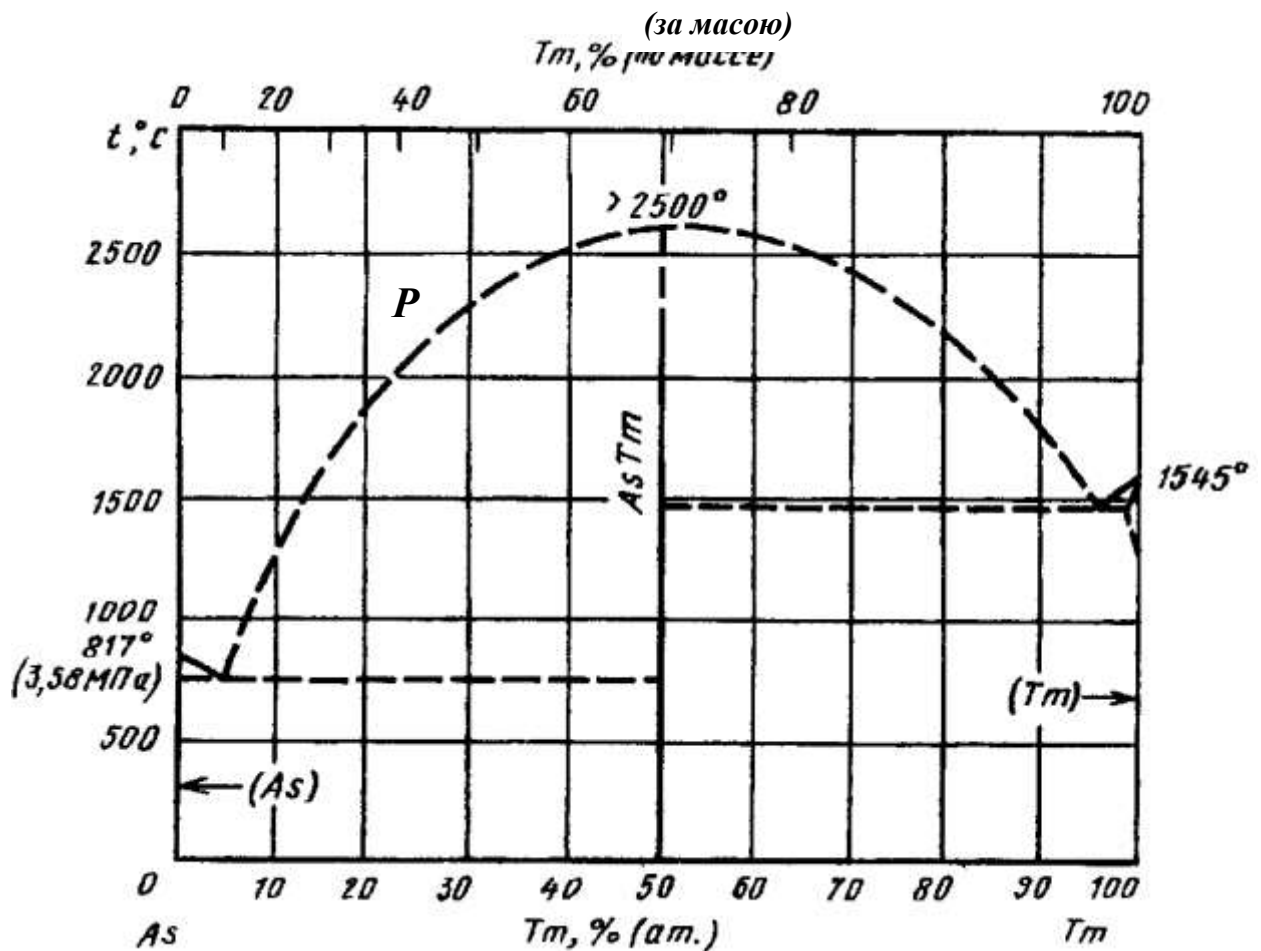


Рисунок 3.7 – Діаграма стану системи As–Tm

Варіант № 8

1. Типи зв'язків атомів у кристалічних ґратках: йонний, ковалентний, металевий, Ван-Дер-Ваальсовий.
2. Зміни структури та властивостей при нагріванні деформованого металу.
3. Описати взаємодію компонентів у діаграмі стану системи Er–Hf. Вказати основні лінії діаграми, структуру у всіх областях діаграми та перетворення, у результаті яких вона утвориться. Побудувати із використанням правила фаз криву охолодження для сплаву, що містить 70 % гафнію. Вказати фази, їх хімічний склад і кількісне співвідношення при температурі 1 800 °С. Зарисувати схему структуроутворення сплаву.

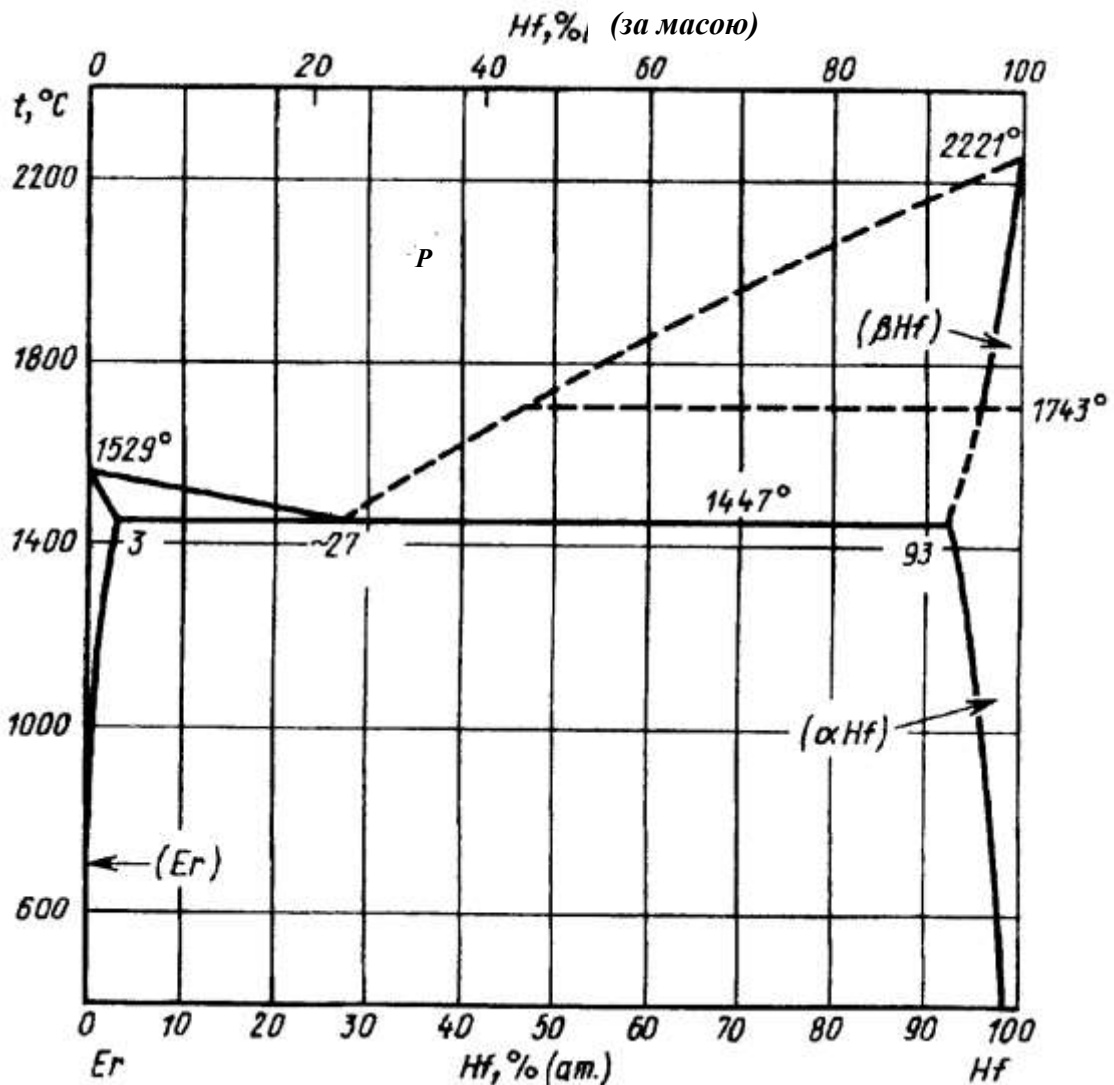


Рисунок 3.8 – Діаграма стану системи Er–Hf

Варіант № 9

1. Властивості металів, які обумовлені їх будовою. Відмінність властивостей реальних та ідеальних кристалів.
2. Причини виникання розшарування в рідкому стані при сплавленні компонентів.
3. Описати взаємодію компонентів у діаграмі стану системи Sn–Zn. Вказати основні лінії діаграми, структуру у всіх областях діаграми та перетворення, у результаті яких вона утвориться. Побудувати із використанням правила фаз криву охолодження для сплаву, що містить 20 % стануму (олова). Вказати фази, їх хімічний склад і кількісне співвідношення при температурі 300 °С. Зарисувати схему структуроутворення сплаву.

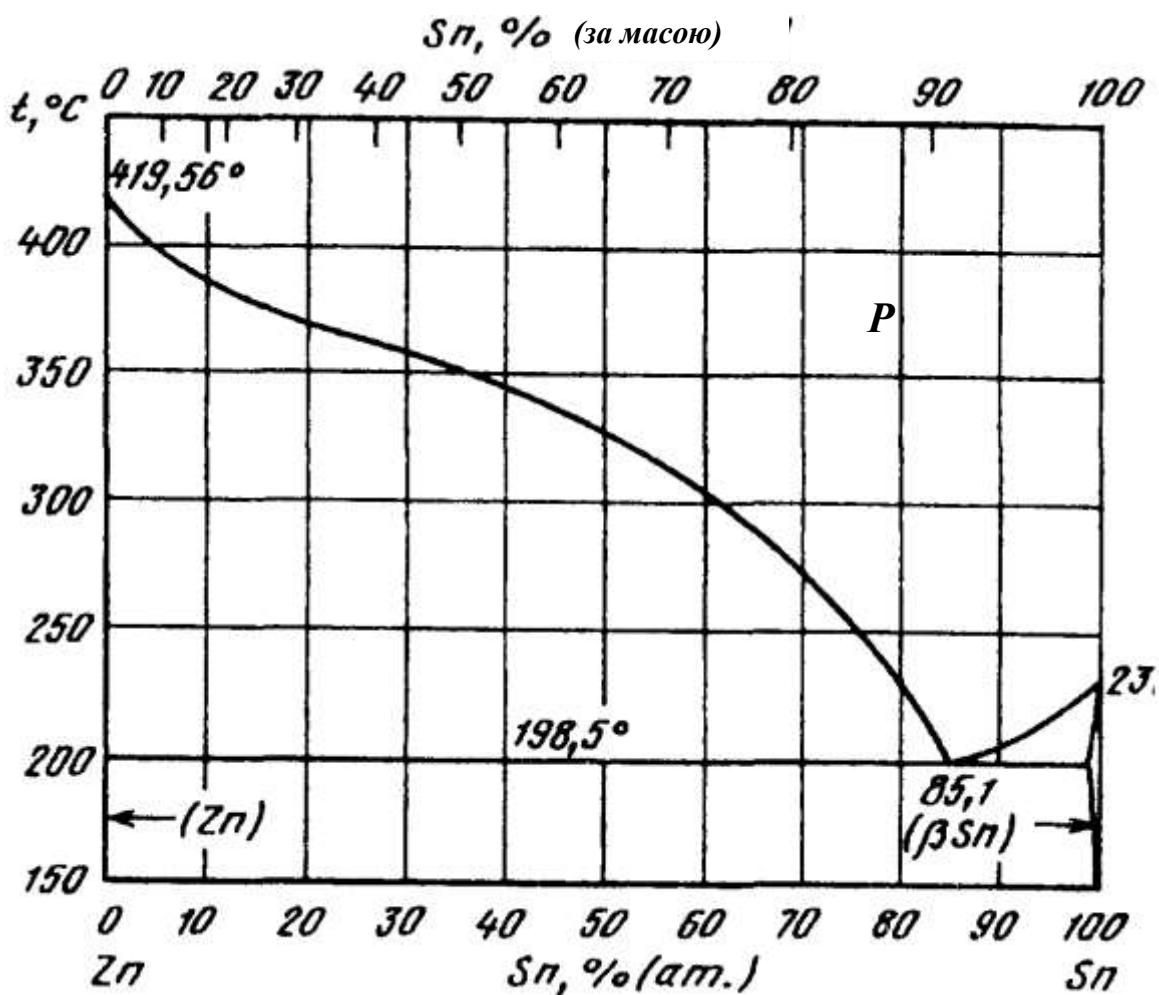


Рисунок 3.9 – Діаграма стану системи Sn–Zn

Варіант № 10

1. Дефекти кристалічної будови металів. Види дефектів залежно від геометричних ознак.
2. Способи отримання аморфного стану в металах.
3. Описати взаємодію компонентів у діаграмі стану системи Sb–Ge. Вказати основні лінії діаграми, структуру у всіх областях діаграми та перетворення, у результаті яких вона утвориться. Побудувати із використанням правила фаз криву охолодження для сплаву, що містить 20 % стибію. Вказати фази, їх хімічний склад і кількісне співвідношення при температурі 800 °С. Зарисувати схему структуроутворення сплаву.

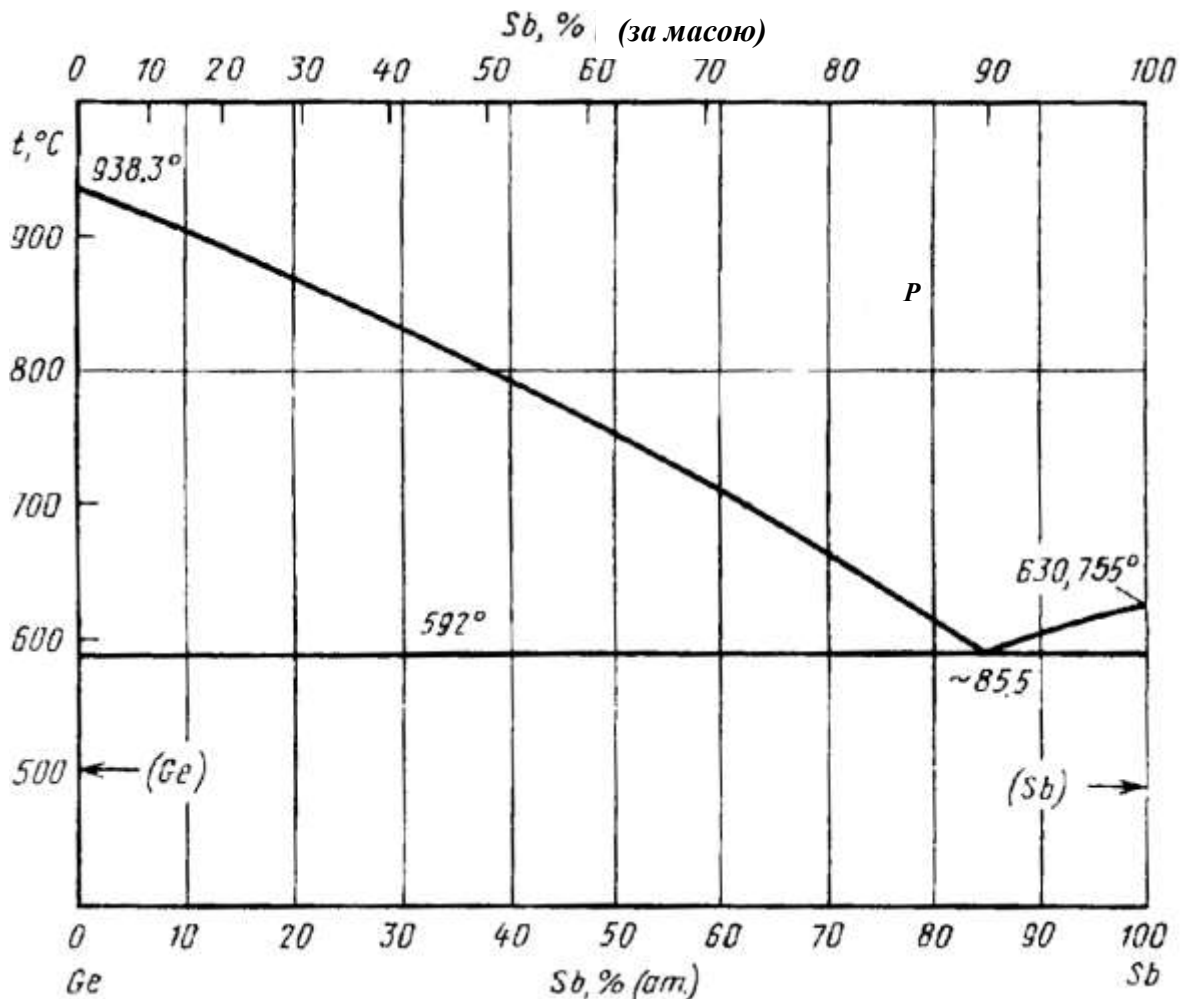


Рисунок 3.10 – Діаграма стану системи Sb–Ge

Варіант № 11

1. Структура та властивості рідких металів. Подібності та відмінності рідких і твердих металевих тіл.
2. Структура та властивості деформованих металів.
3. Описати взаємодію компонентів у діаграмі стану системи Mg–Ca. Вказати основні лінії діаграми, структуру у всіх областях діаграми та перетворення, у результаті яких вона утвориться. Побудувати із використанням правила фаз криву охолодження для сплаву, що містить 20 % кальцію. Вказати фази, їх хімічний склад і кількісне співвідношення при температурі 600 °C. Зарисувати схему структуроутворення сплаву.

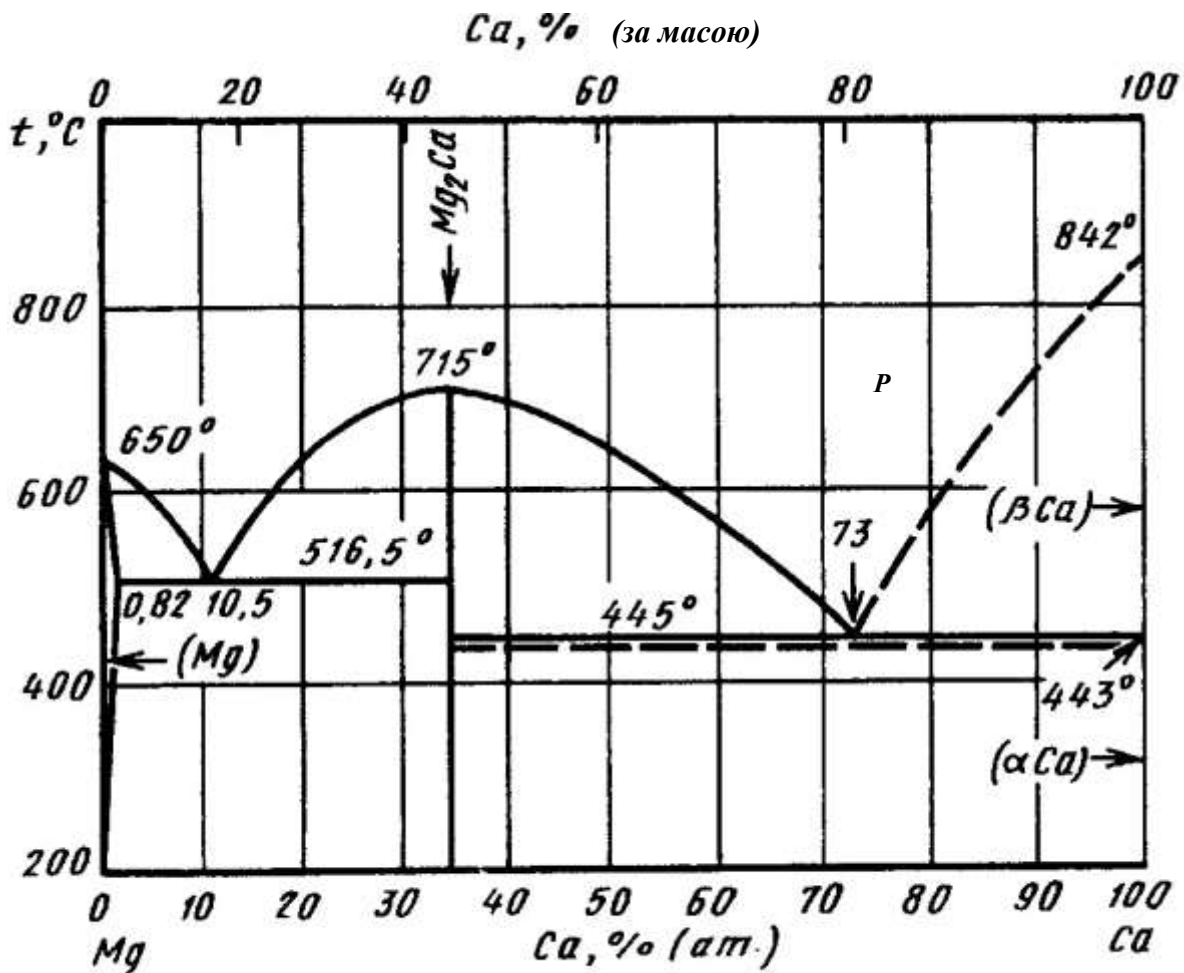


Рисунок 3.11 – Діаграма стану системи Mg–Ca

Варіант № 13

1. Стадії кристалізації. Чинники, які впливають на форму і розміри кристалів. Критичний зародок.
2. Поліморфні перетворення в металах і неметалах.
3. Описати взаємодію компонентів у діаграмі стану системи Mg–Ge. Вказати основні лінії діаграми, структуру у всіх областях діаграми та перетворення, у результаті яких вона утвориться. Побудувати із використанням правила фаз криву охолодження для сплаву, що містить 80 % магнію. Вказати фази, їх хімічний склад і кількісне співвідношення при температурі 800 °C. Зарисувати схему структуроутворення сплаву.

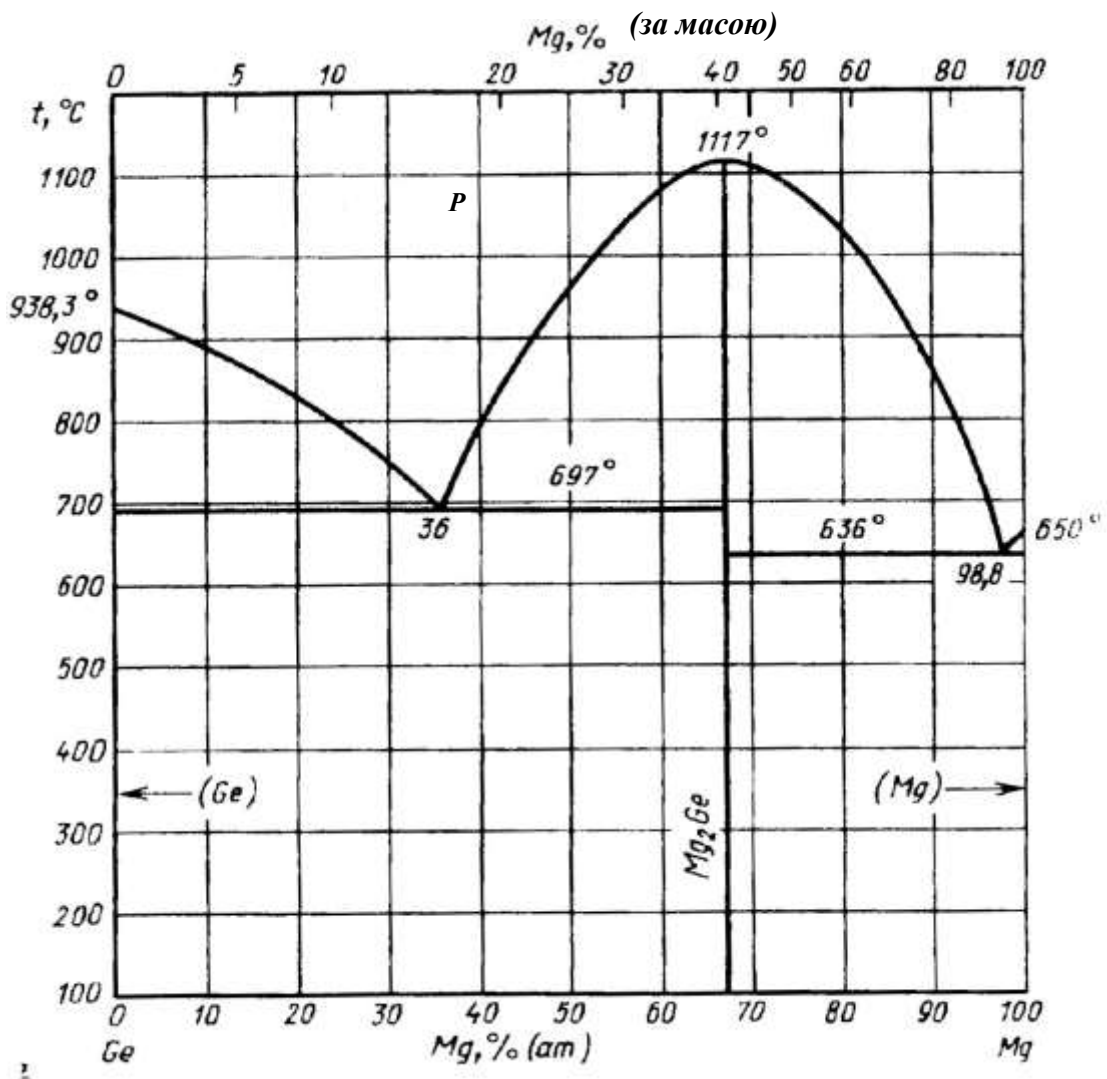


Рисунок 3.13 – Діаграма стану системи Mg–Ge

Варіант № 14

1. Будова реального злитка. Криві Таммана.
2. Способи підвищення міцності металів.
3. Описати взаємодію компонентів у діаграмі стану системи Au–Te. Вказати основні лінії діаграми, структуру у всіх областях діаграми та перетворення, у результаті яких вона утвориться. Побудувати із використанням правила фаз криву охолодження для сплаву, що містить 20 % телуру. Вказати фази, їх хімічний склад і кількісне співвідношення при температурі 600 °С. Зарисувати схему структуроутворення сплаву.

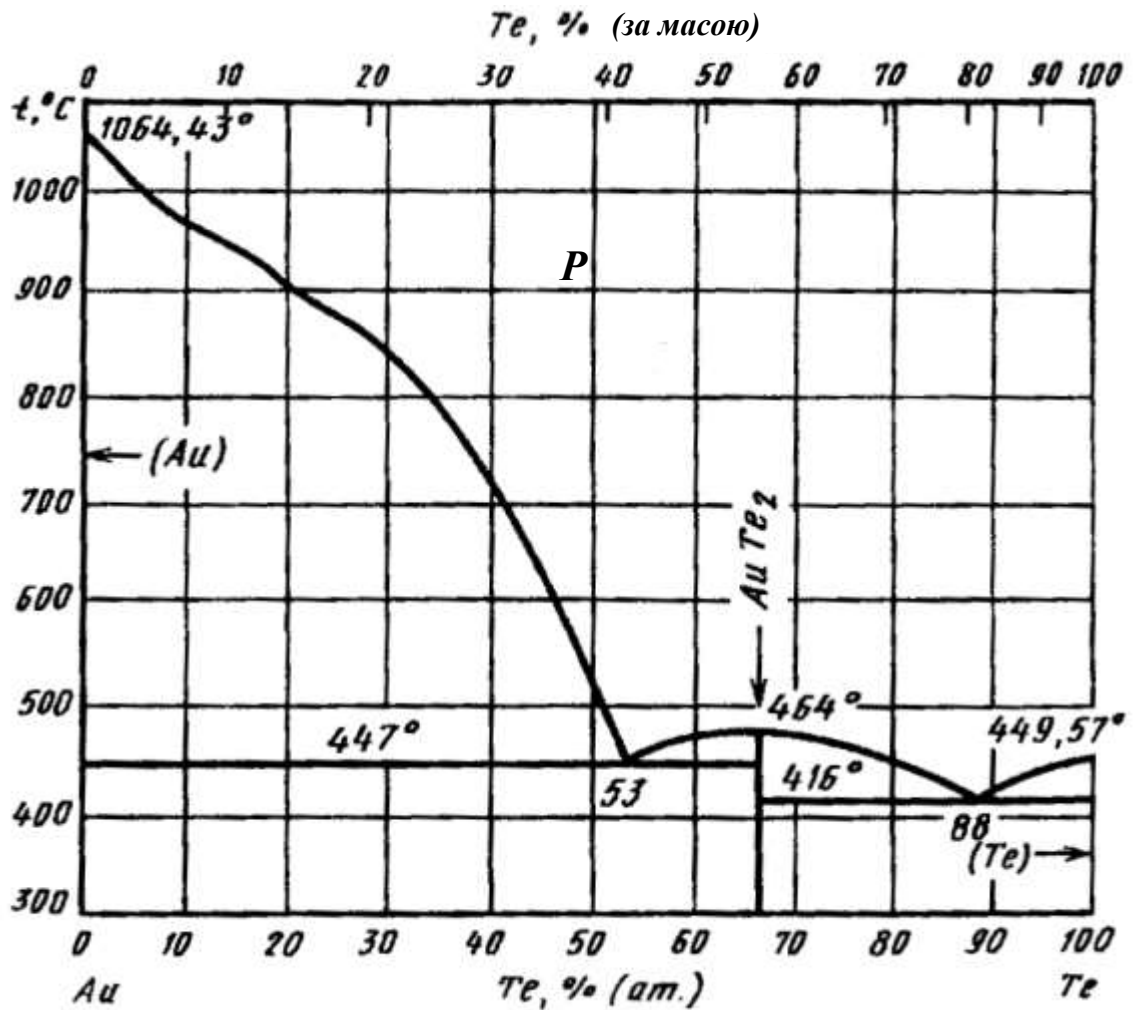


Рисунок 3.14 – Діаграма стану системи Au–Te

Варіант № 15

1. Модифікування. Модифікатори I і II роду.
2. Причини та умови виникання анізотропії властивостей у кристалічних тілах.
3. Описати взаємодію компонентів у діаграмі стану системи Al–Ge. Вказати основні лінії діаграми, структуру у всіх областях діаграми та перетворення, у результаті яких вона утвориться. Побудувати із використанням правила фаз криву охолодження для сплаву, що містить 80 % германію. Вказати фази, їх хімічний склад і кількісне співвідношення при температурі 600 °C. Зарисувати схему структуроутворення сплаву.

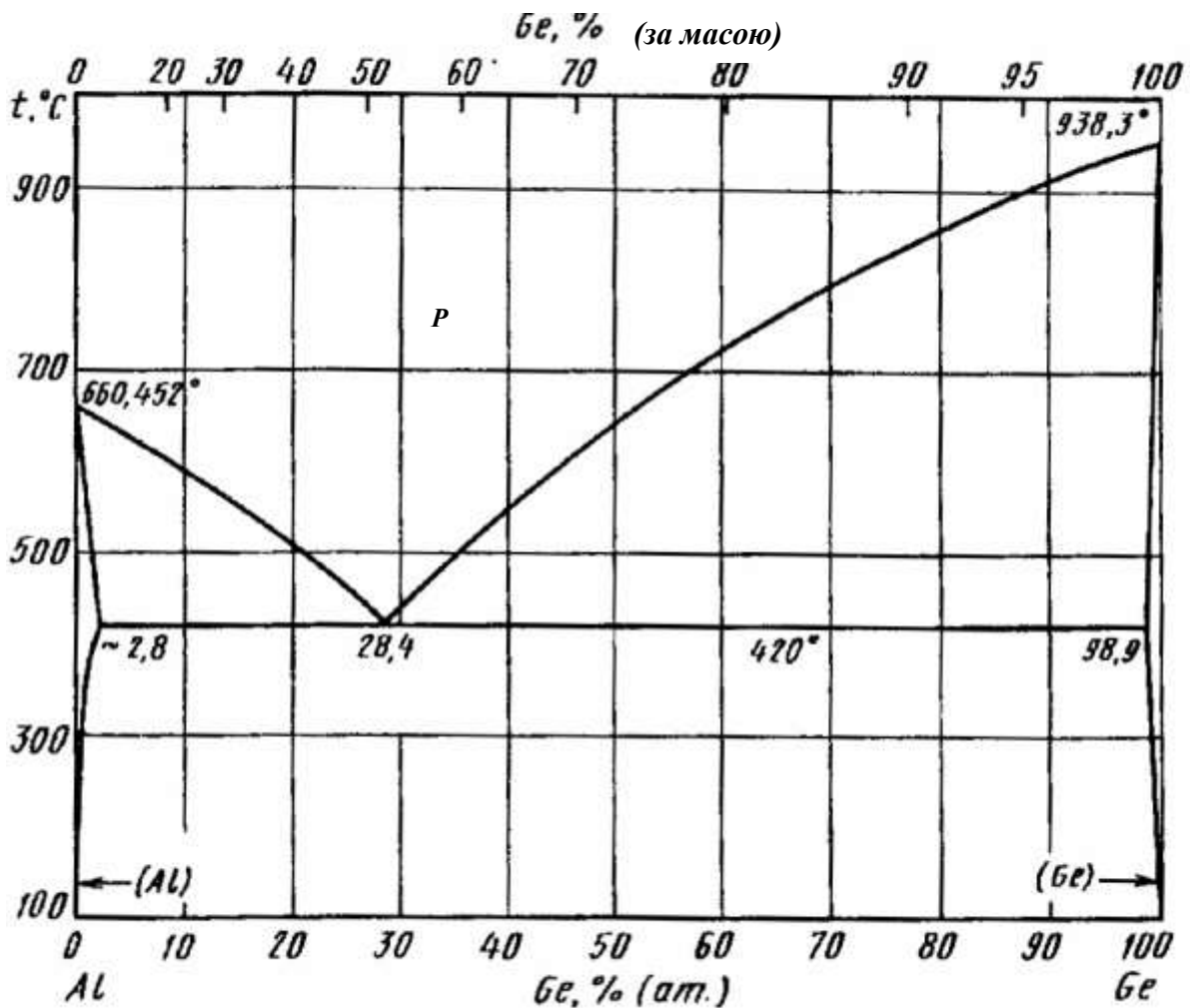


Рисунок 3.15 – Діаграма стану системи Al–Ge

Варіант № 16

1. Зростання кристалів. Різні форми кристалів. Будова реального злитка.
2. Термічний метод побудування діаграм стану двокомпонентних сплавів.
3. Описати взаємодію компонентів у діаграмі стану системи Cu–Ag. Вказати основні лінії діаграми, структуру у всіх областях діаграми та перетворення, у результаті яких вона утвориться. Побудувати із використанням правила фаз криву охолодження для сплаву, що містить 20 % купруму (міді). Вказати фази, їх хімічний склад і кількісне співвідношення при температурі 700 °С. Зарисувати схему структуроутворення сплаву.

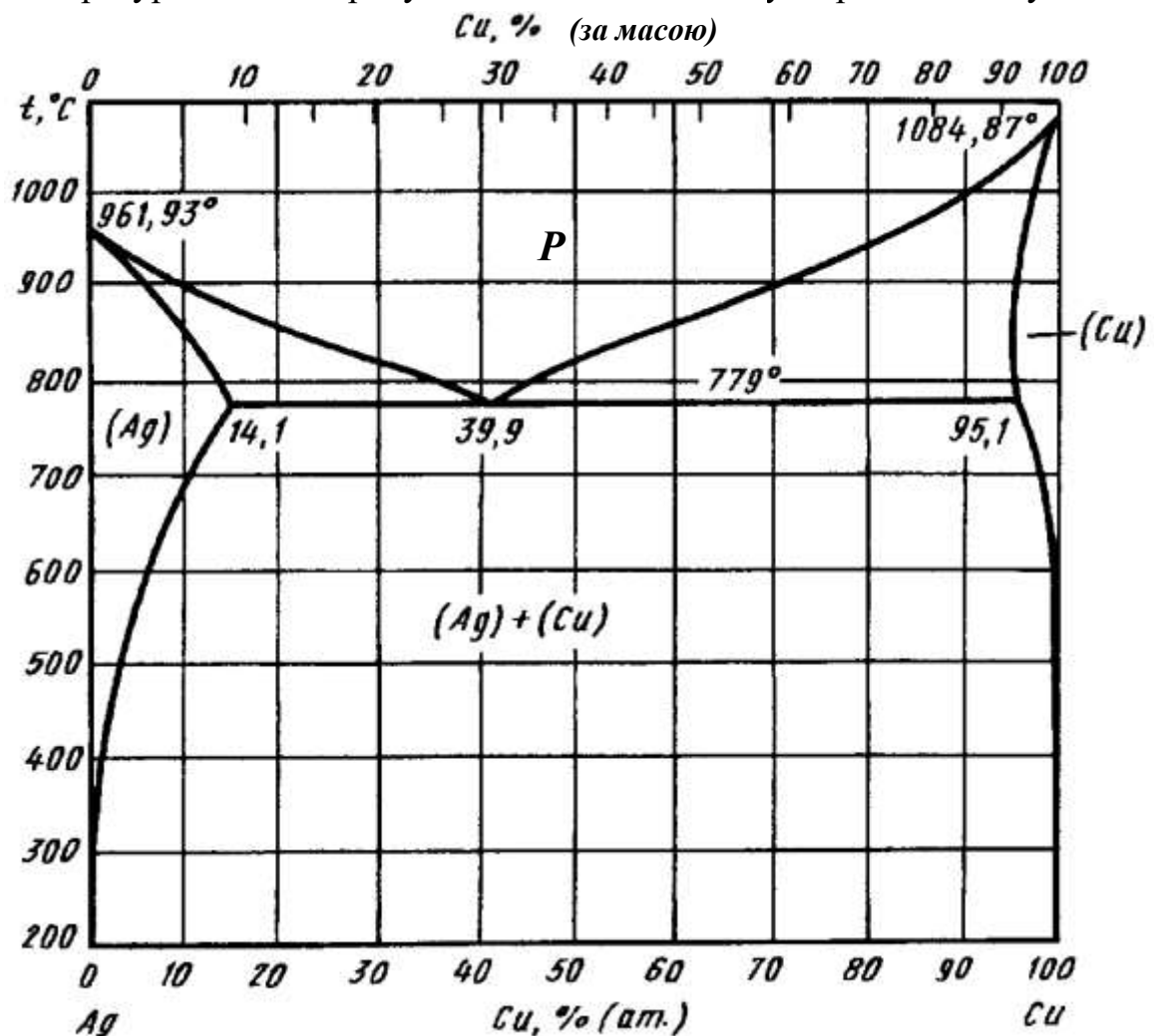


Рисунок 3.16 – Діаграма стану системи Cu–Ag

Варіант № 17

1. Утворення різних структур після тверднення: механічні суміші, тверді розчини, проміжні фази.
2. Умови утворення дендритів при первинній кристалізації литого металу.
3. Описати взаємодію компонентів у діаграмі стану системи Ас–Сr. Вказати основні лінії діаграми, структуру у всіх областях діаграми та перетворення, у результаті яких вона утвориться. Побудувати із використанням правила фаз криву охолодження для сплаву, що містить 90 % актинію. Вказати фази, їх хімічний склад і кількісне співвідношення при температурі 800 °С. Зарисувати схему структуроутворення сплаву.

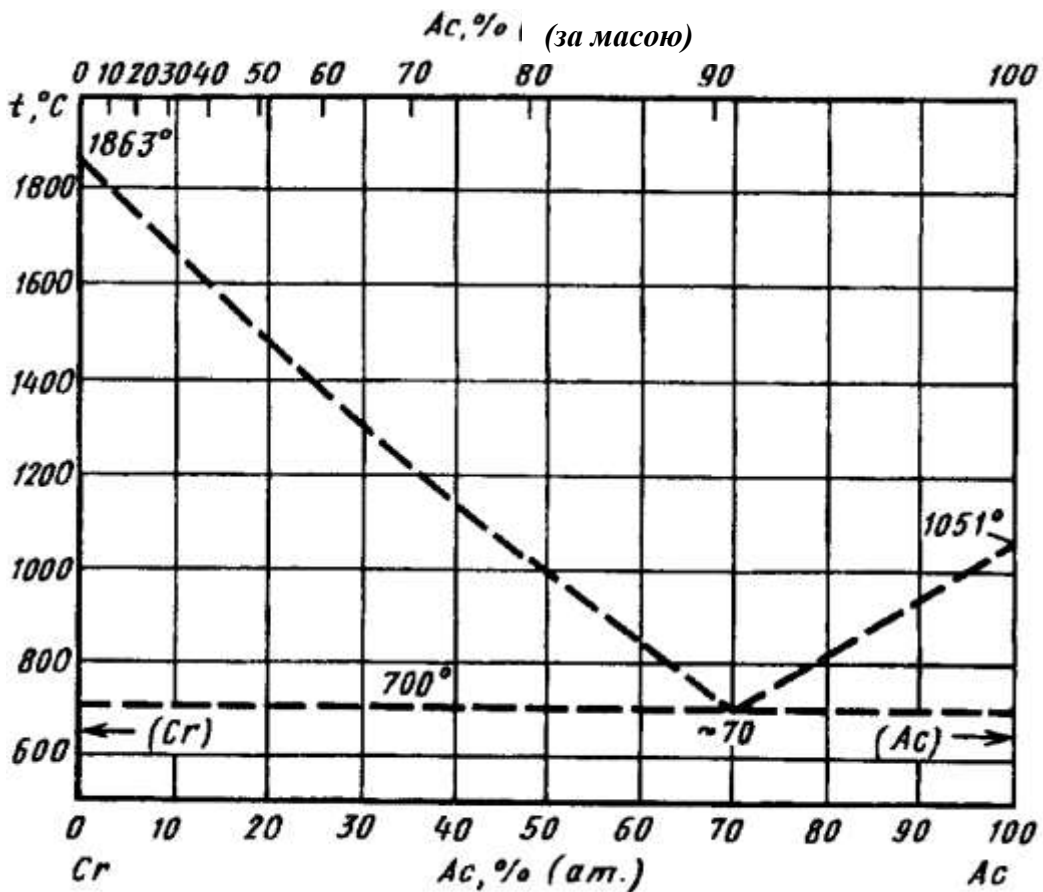


Рисунок 3.17 – Діаграма стану системи Ас–Сr

Варіант № 19

1. Проміжні фази: особливості, різновиди.
2. Упорядкування твердих розчинів.
3. Описати взаємодію компонентів у діаграмі стану системи Ge–Ag. Вказати основні лінії діаграми, структуру у всіх областях діаграми та перетворення, у результаті яких вона утвориться. Побудувати із використанням правила фаз криву охолодження для сплаву, що містить 30 % аргентуму (срібла). Вказати фази, їх хімічний склад і кількісне співвідношення при температурі 400 °С. Зарисувати схему структуроутворення сплаву.

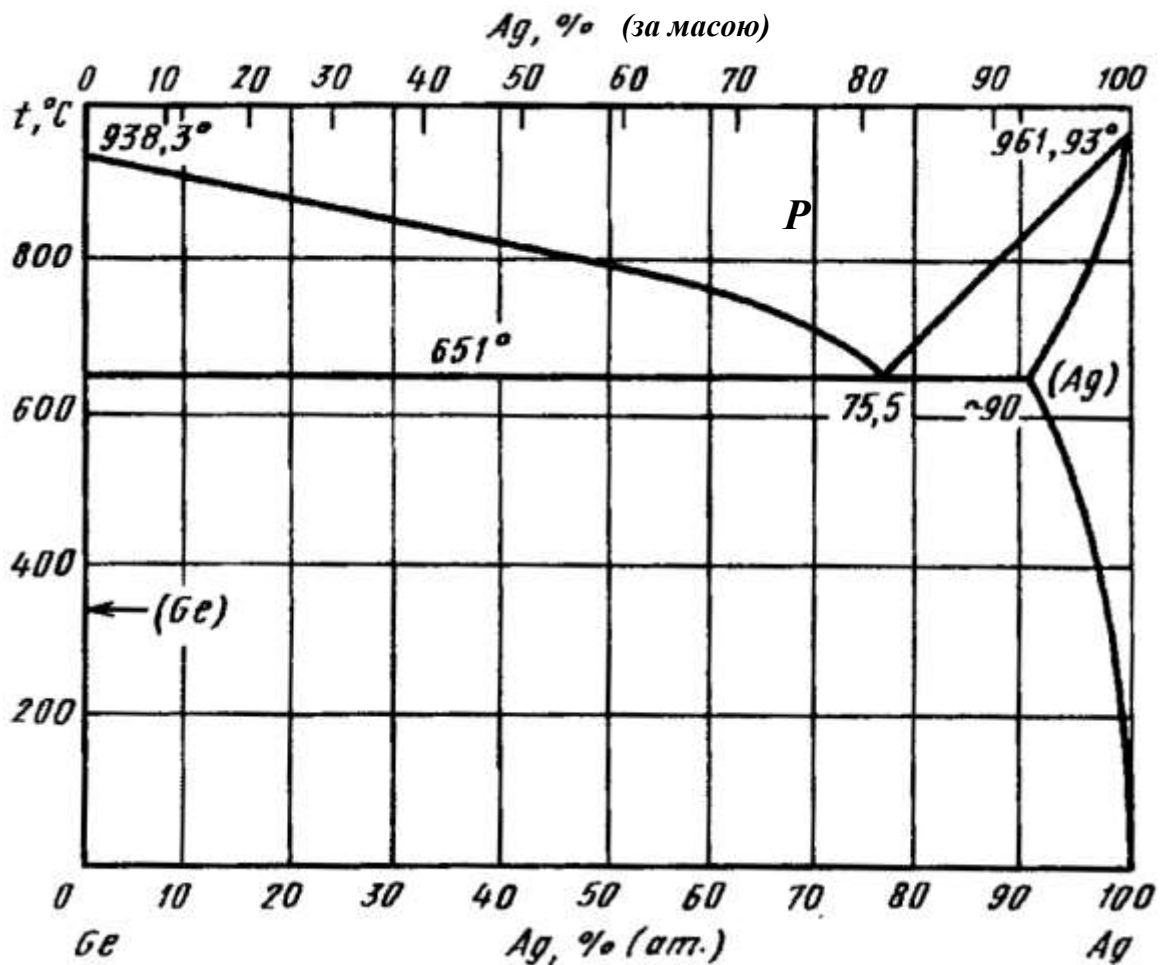


Рисунок 3.19 – Діаграма стану системи Ge–Ag

Варіант № 20

1. Принципи побудування діаграм стану. Види кривих охолодження.
2. Види кристалізація і енергетичні умови його протікання.
3. Описати взаємодію компонентів у діаграмі стану системи Ag–Pd. Вказати основні лінії діаграми, структуру у всіх областях діаграми та перетворення, у результаті яких вона утворюється. Побудувати із використанням правила фаз криву охолодження для сплаву, що містить 20 % палладію. Вказати фази, їх хімічний склад і кількісне співвідношення при температурі 1 100 °С. Зарисувати схему структуроутворення сплаву.

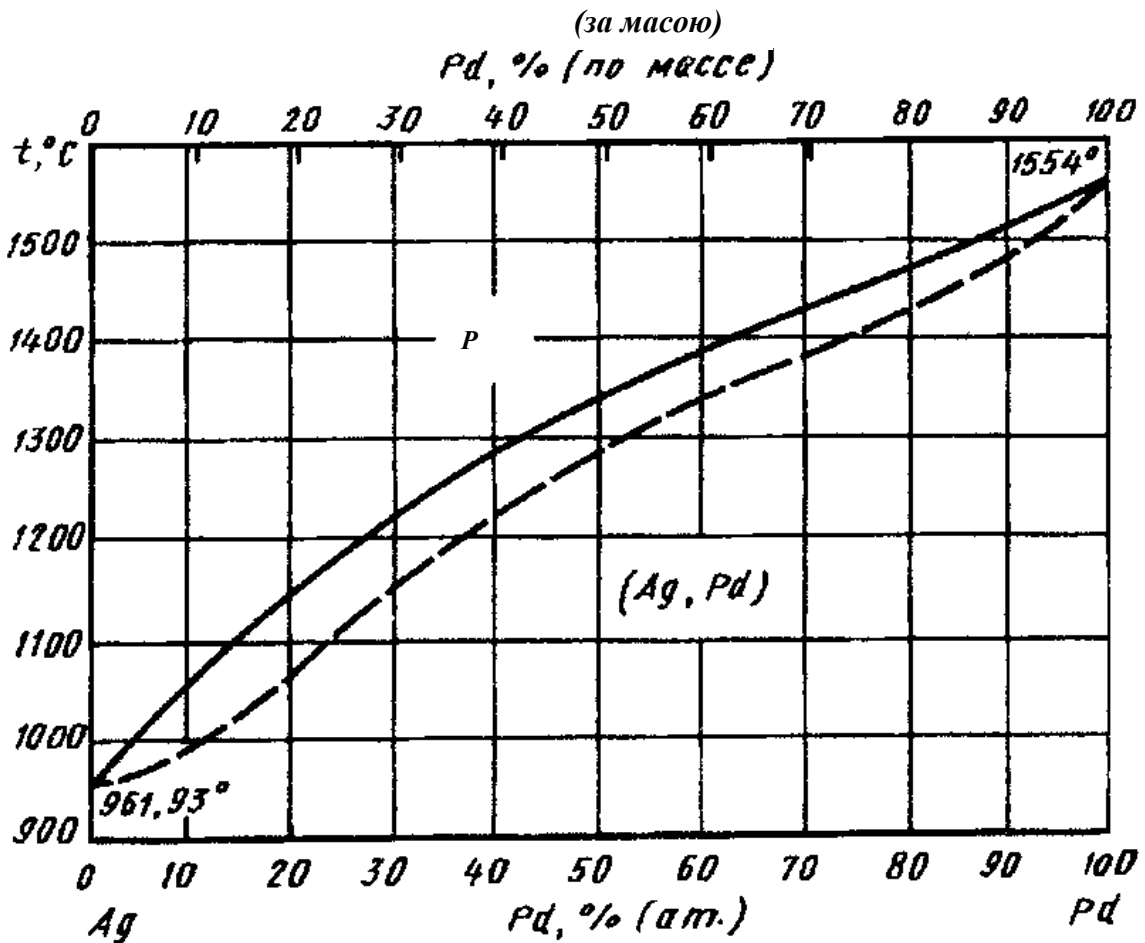


Рисунок 3.20 – Діаграма стану системи Ag–Pd

Варіант № 21

1. Зв'язок діаграми стану із властивостями сплавів.
2. Ступінь переохолодження металу. Чинники, які впливають на її величину.
3. Описати взаємодію компонентів у діаграмі стану системи Cu–Ir. Вказати основні лінії діаграми, структуру у всіх областях діаграми та перетворення, у результаті яких вона утвориться. Побудувати із використанням правила фаз криву охолодження для сплаву, що містить 90 % ірідію. Вказати фази, їх хімічний склад і кількісне співвідношення при температурі 2 100 °С. Зарисувати схему структуроутворення сплаву.

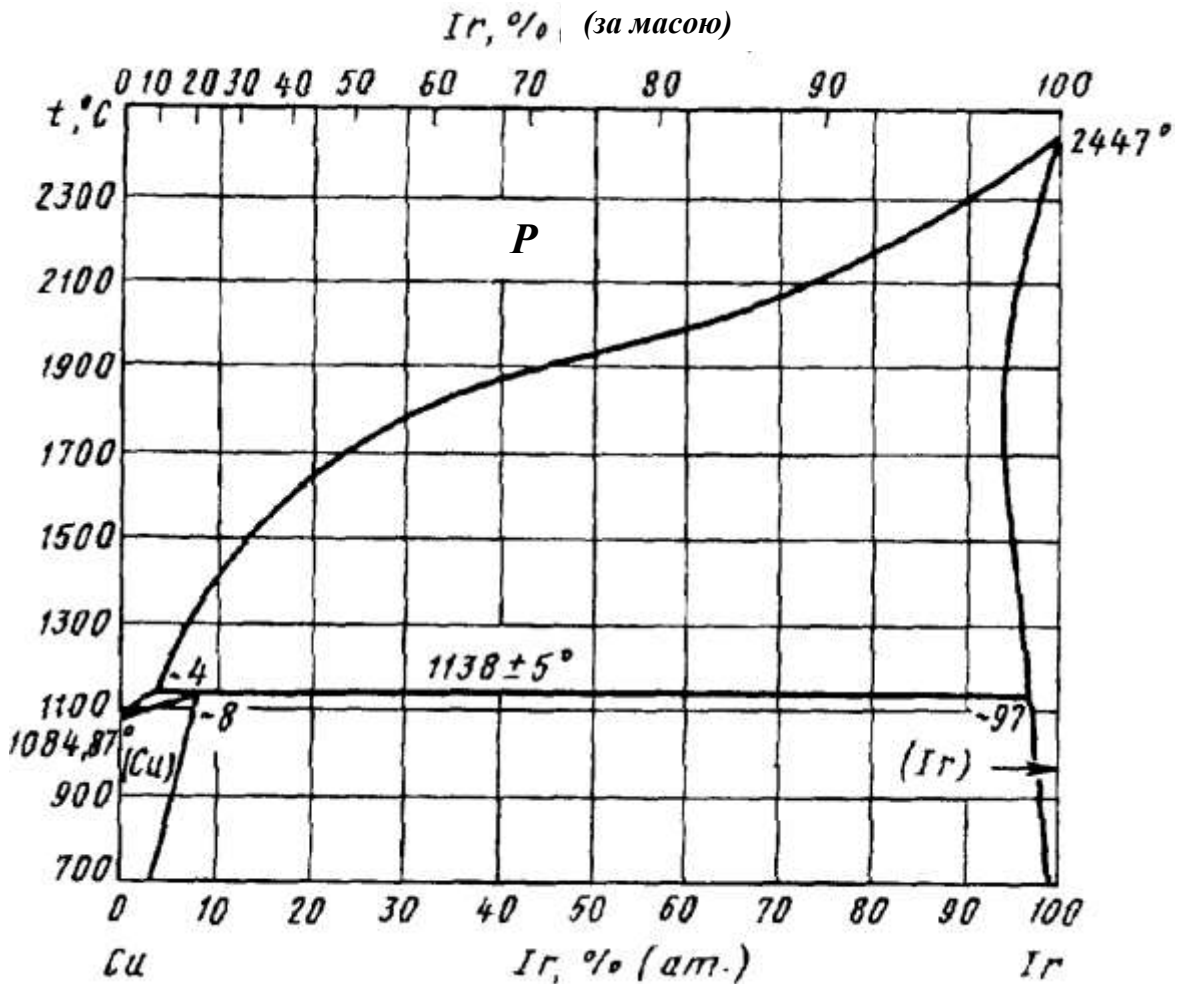


Рисунок 3.21 – Діаграма стану системи Cu–Ir

Варіант № 22

1. Умови отримання обмеженої розчинності компонентів у рідкому і твердому стані.
2. Фізична сутність процесів плавлення і кристалізації.
3. Описати взаємодію компонентів у діаграмі стану системи As–Tm. Вказати основні лінії діаграми, структуру у всіх областях діаграми та перетворення, у результаті яких вона утвориться. Побудувати із використанням правила фаз криву охолодження для сплаву, що містить 40 % тулія. Вказати фази, їх хімічний склад і кількісне співвідношення при температурі 1 000 °С. Зарисувати схему структуроутворення сплаву.

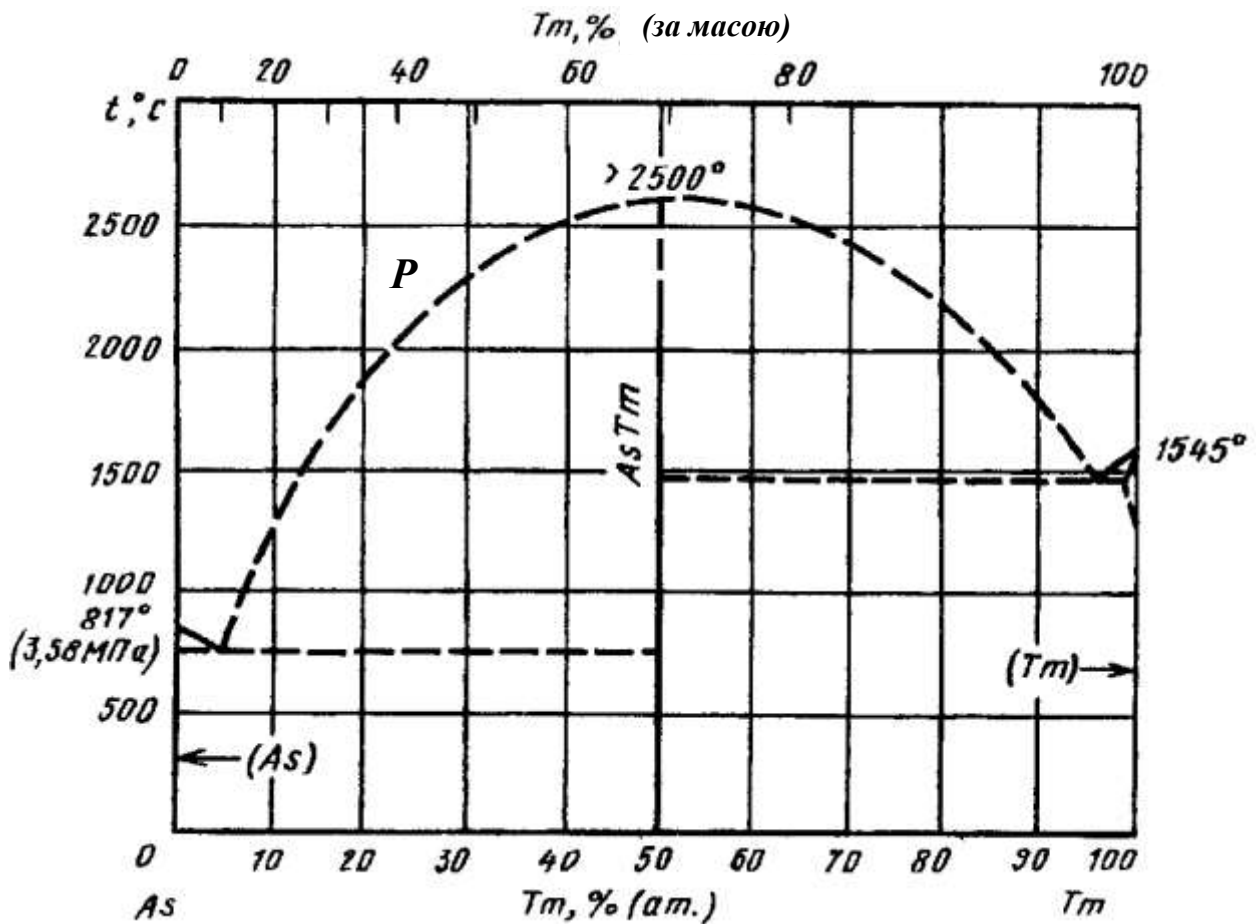


Рисунок 3.22 – Діаграма стану системи As–Tm

Варіант № 23

1. Умови утворення евтектики. Морфологічні типи евтектик.
2. Міцність ідеальних і реальних металів.
3. Описати взаємодію компонентів у діаграмі стану системи Er–Hf. Вказати основні лінії діаграми, структуру у всіх областях діаграми та перетворення, у результаті яких вона утвориться. Побудувати із використанням правила фаз криву охолодження для сплаву, що містить 10 % гафнію. Вказати фази, їх хімічний склад і кількісне співвідношення при температурі 1 200 °С. Зарисувати схему структуроутворення сплаву.

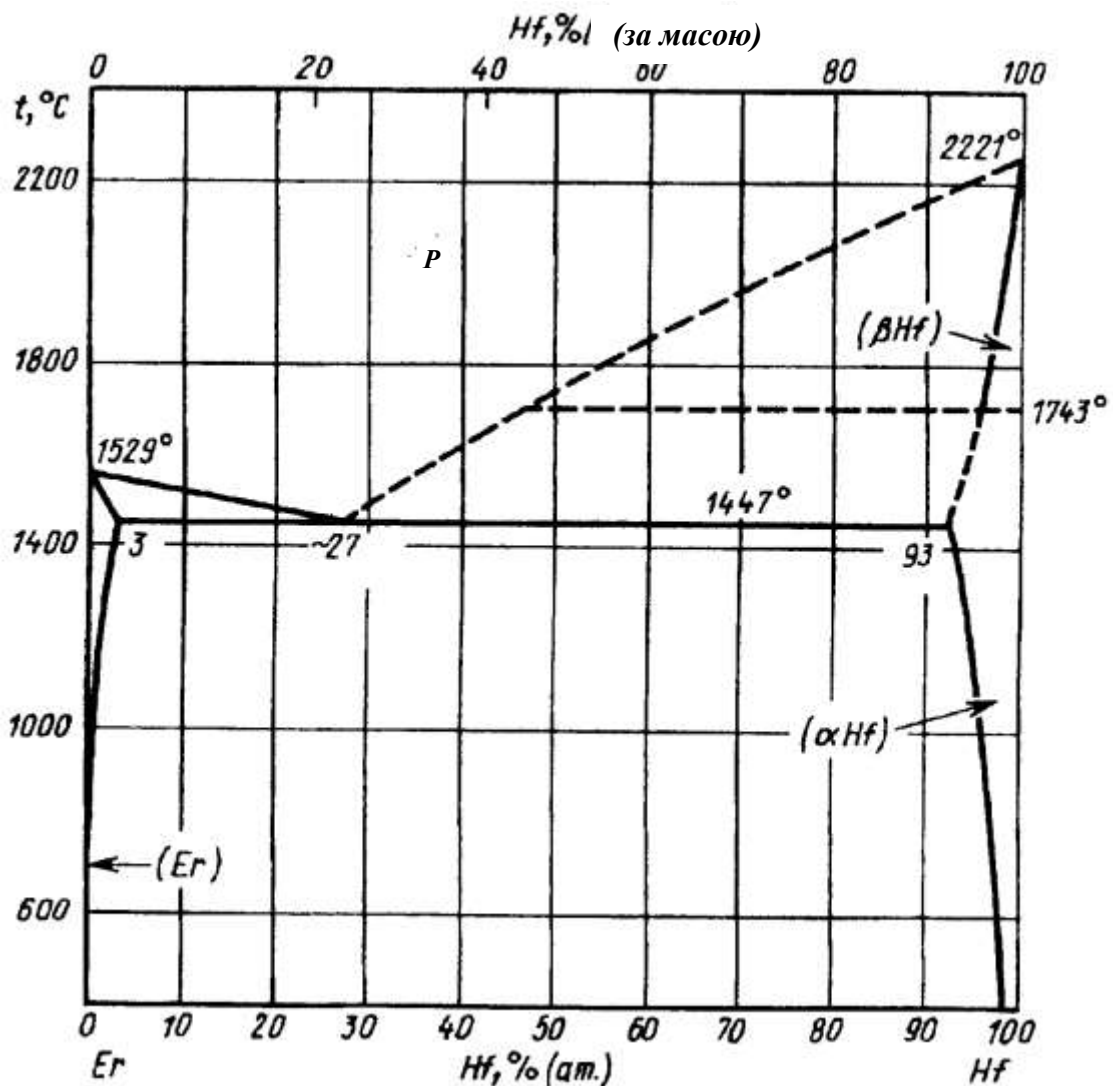


Рисунок 3.23 – Діаграма стану системи Er–Hf

Варіант № 24

1. Граничні випадки нонваріантних рівноваг.
2. Різні форми кристалічних утворювань у металах.
3. Описати взаємодію компонентів у діаграмі стану системи Sn–Zn. Вказати основні лінії діаграми, структуру у всіх областях діаграми та перетворення, у результаті яких вона утвориться. Побудувати із використанням правила фаз криву охолодження для сплаву, що містить 70 % стануму (олова). Вказати фази, їх хімічний склад і кількісне співвідношення при температурі 250 °С. Зарисувати схему структуроутворення сплаву.

(за масою)

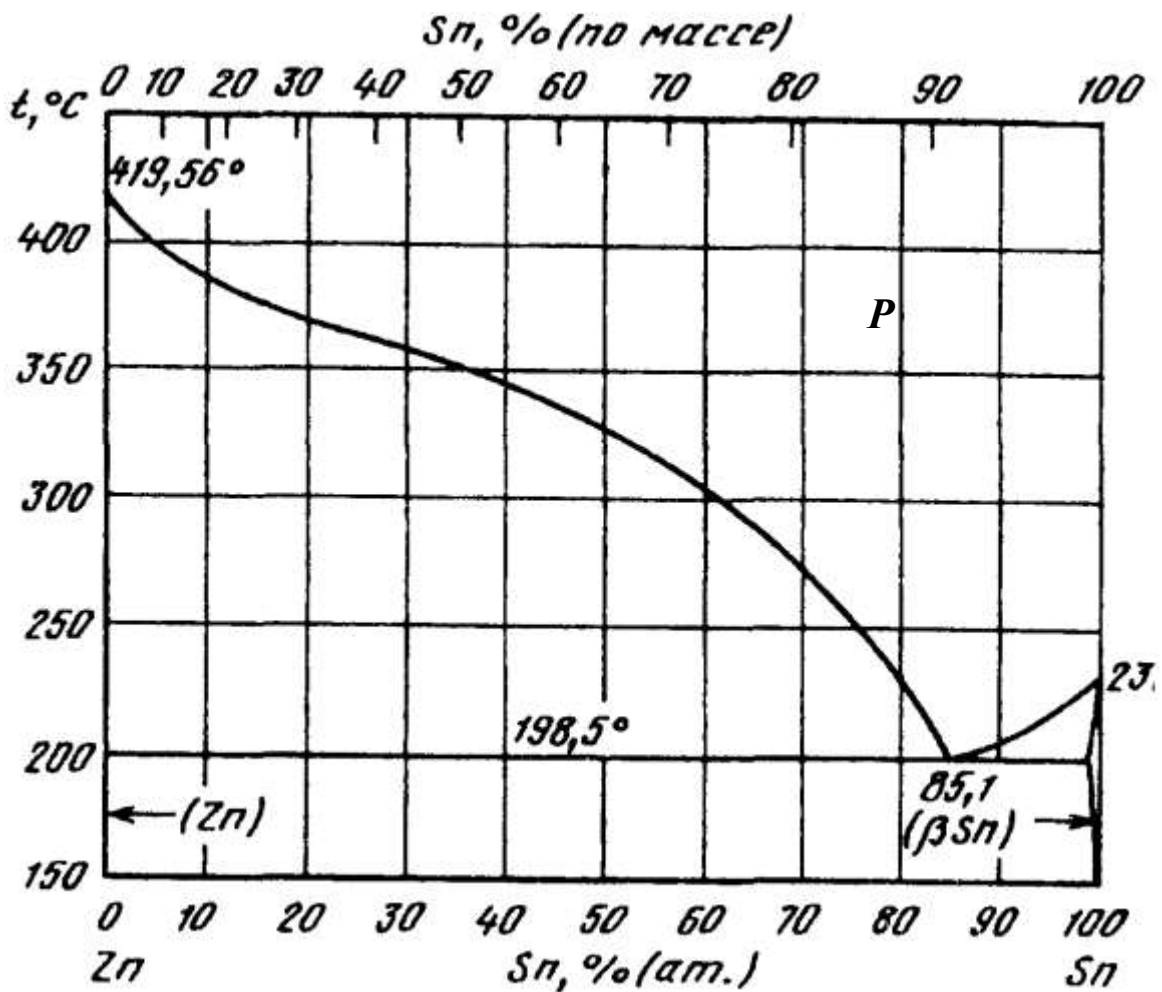


Рисунок 3.24 – Діаграма стану системи Sn–Zn

Варіант № 25

1. Магнітні перетворення в металах.
2. Чинники, які впливають на розмір і форму зерна в литому металі.
3. Описати взаємодію компонентів у діаграмі стану системи Sb–Ge. Вказати основні лінії діаграми, структуру у всіх областях діаграми та перетворення, у результаті яких вона утвориться. Побудувати із використанням правила фаз криву охолодження для сплаву, що містить 60 % стибію. Вказати фази, їх хімічний склад і кількісне співвідношення при температурі 650 °С. Зарисувати схему структуроутворення сплаву.

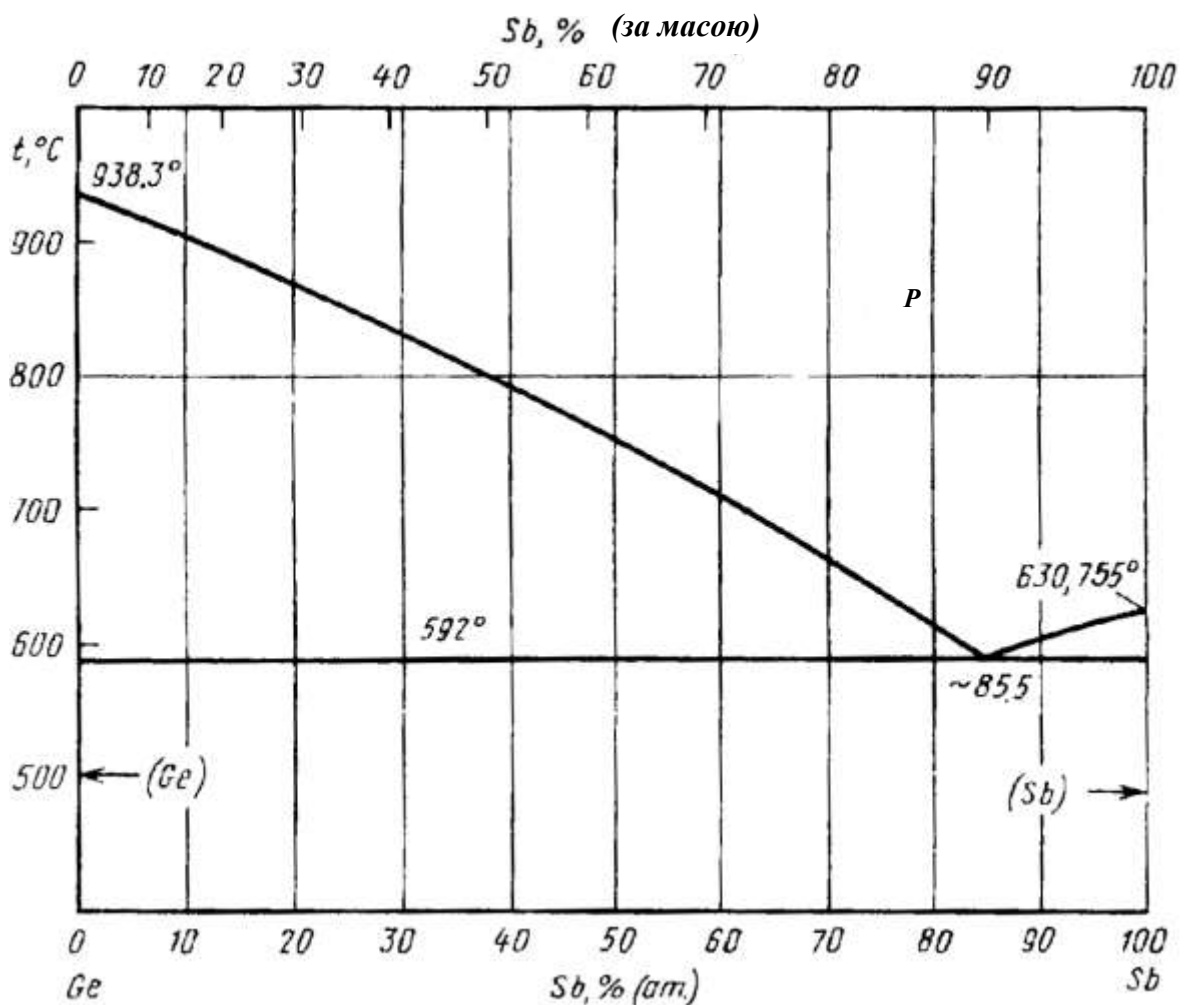


Рисунок 3.25 – Діаграма стану системи Sb–Ge

Варіант № 26

1. Способи отримання дрібного зерна в литому металі.
2. Подібність і відмінності твердих розчинів проникнення і фаз проникнення.
3. Описати взаємодію компонентів у діаграмі стану системи Mg–Ca. Вказати основні лінії діаграми, структуру у всіх областях діаграми та перетворення, у результаті яких вона утвориться. Побудувати із використанням правила фаз криву охолодження для сплаву, що містить 40 % кальцію. Вказати фази, їх хімічний склад і кількісне співвідношення при температурі 600 °C. Зарисувати схему структуроутворення сплаву.

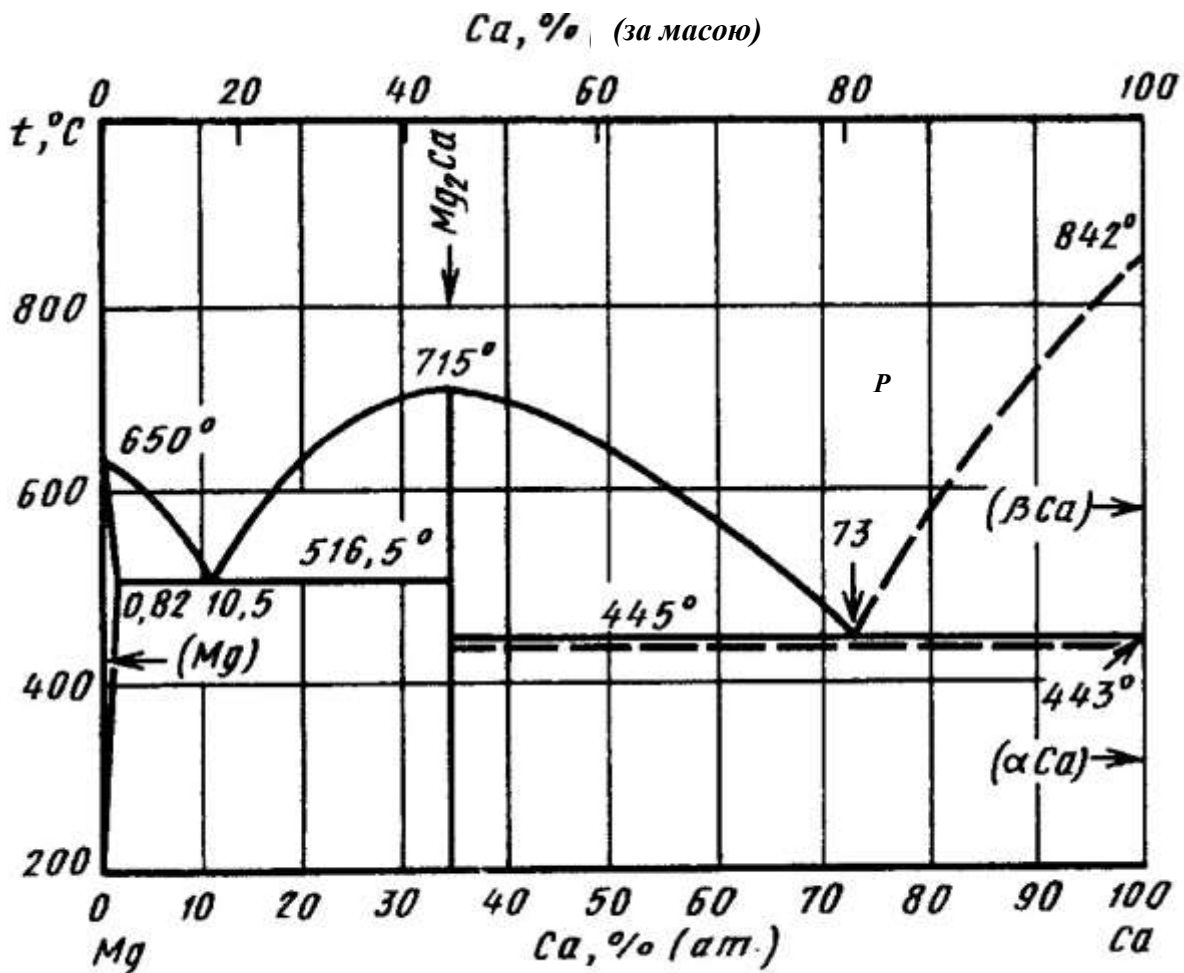


Рисунок 3.26 – Діаграма стану системи Mg–Ca

Варіант № 28

1. Перетворення в металах і сплавах, які протікають як фазовий перехід другого роду.
2. Мета модифікування. Модифікатори I й II роду.
3. Описати взаємодію компонентів у діаграмі стану системи Mg–Ge. Вказати основні лінії діаграми, структуру у всіх областях діаграми та перетворення, у результаті яких вона утвориться. Побудувати із використанням правила фаз криву охолодження для сплаву, що містить 60 % магнію. Вказати фази, їх хімічний склад і кількісне співвідношення при температурі 900 °C. Зарисувати схему структуроутворення сплаву.

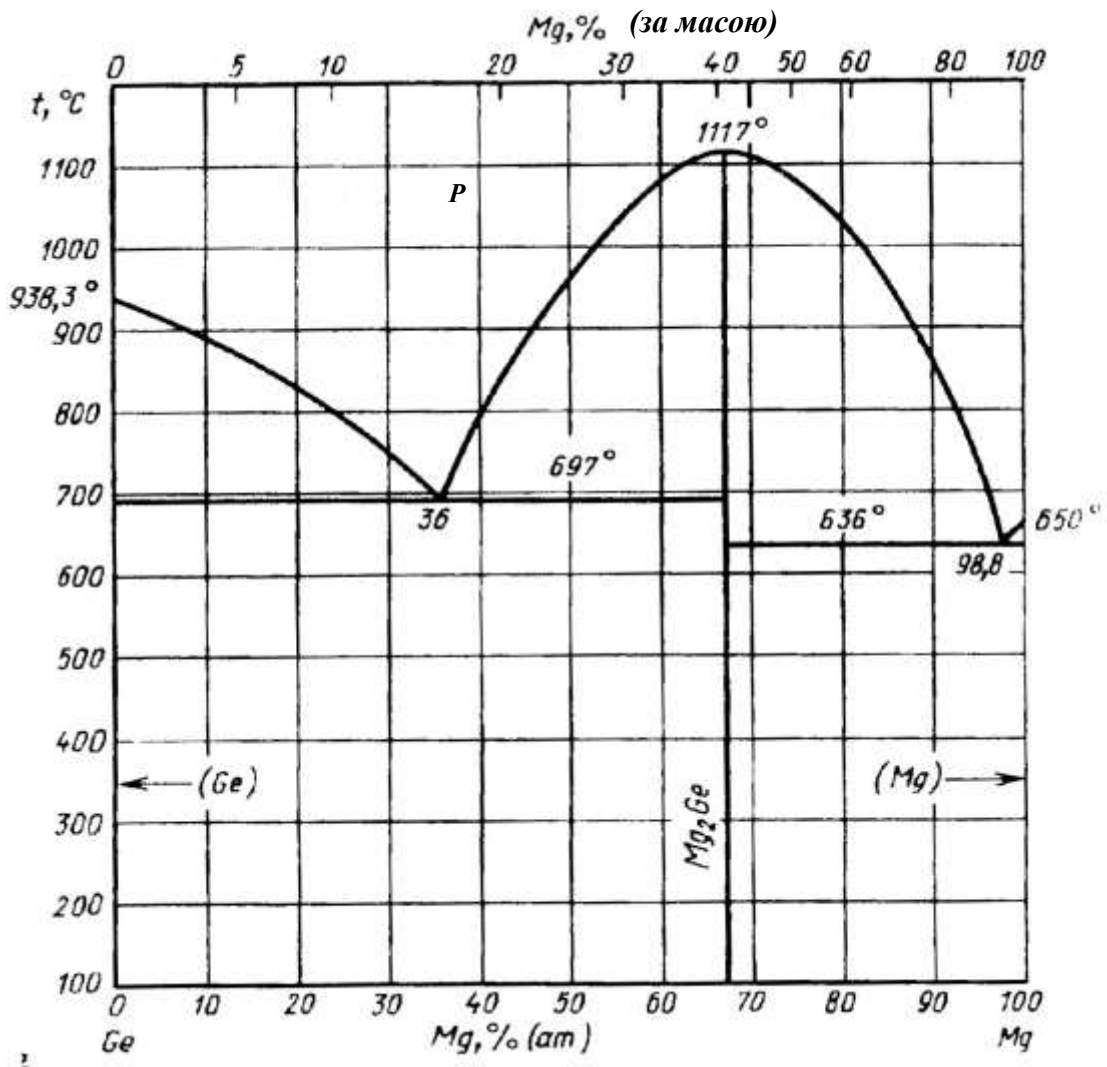


Рисунок 3.28 – Діаграма стану системи Mg–Ge

Варіант № 30

1. Криві нагріву і охолодження чистих металів і сплавів.
2. Дендритна форма кристалів і умови її утворення.
3. Описати взаємодію компонентів у діаграмі стану системи Al–Ge. Вказати основні лінії діаграми, структуру у всіх областях діаграми та перетворення, у результаті яких вона утвориться. Побудувати із використанням правила фаз криву охолодження для сплаву, що містить 10 % германію. Вказати фази, їх хімічний склад і кількісне співвідношення при температурі 500 °С. Зарисувати схему структуроутворення сплаву.

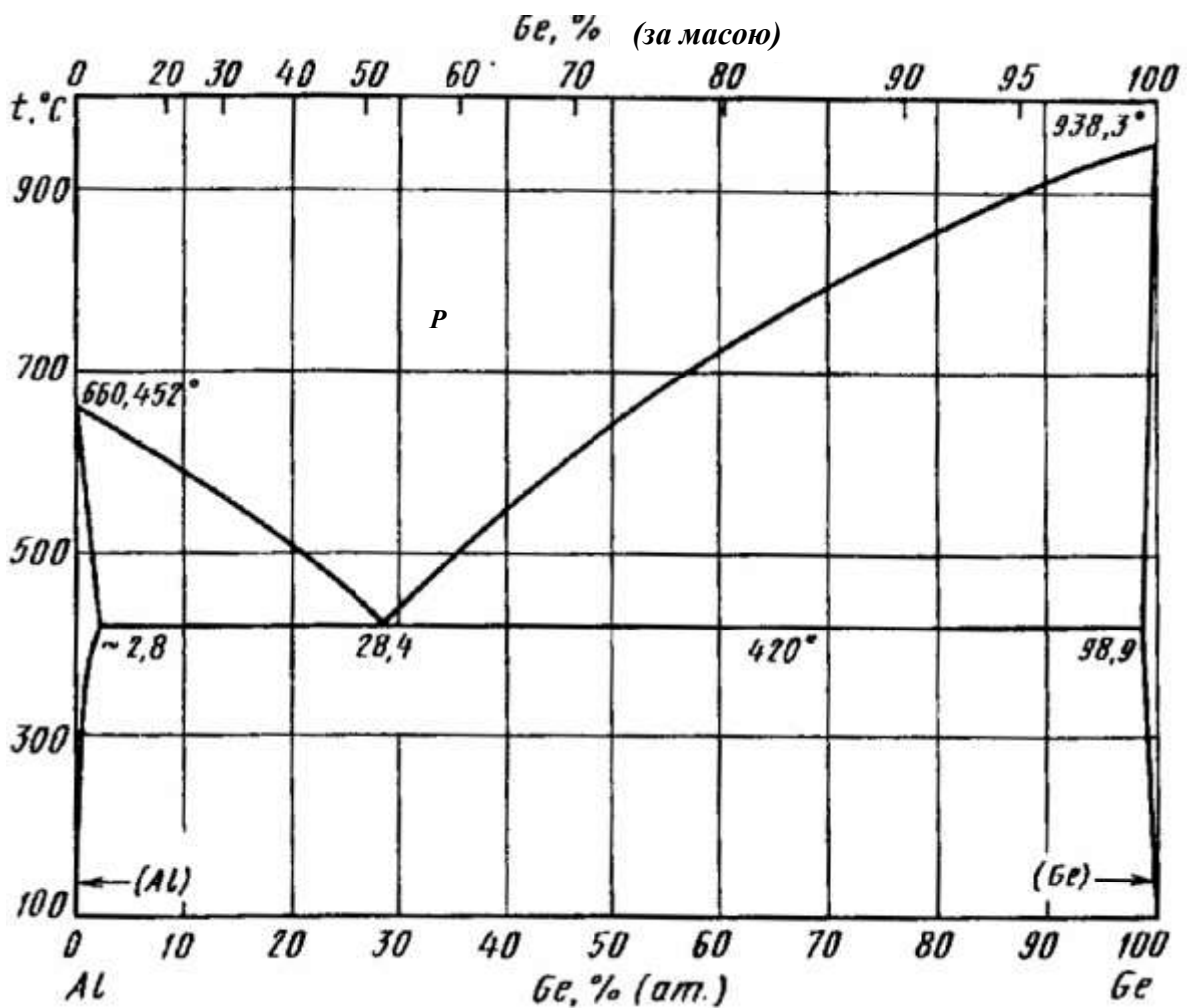


Рисунок 3.30 – Діаграма стану системи Al–Ge

4. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ОФОРМЛЕННЯ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАВДАННЯ (РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОГО ЗАВДАННЯ)

Відповідно до навчального плану спеціальності 132 «Матеріалознавство» індивідуальне завдання (розрахунково-графічне завдання) з навчальної дисципліни «Фазові співвідношення в металевих матеріалах» виконується самостійно.

У процесі виконання індивідуального завдання (розрахунково-графічного завдання) студенти закріплюють здобуті теоретичні знання з матеріалознавства, опановують навички роботи з науково-технічною та довідковою літературою.

Індивідуальне завдання (розрахунково-графічне завдання) вимагає від студентів використання теоретичних положень навчальної дисципліни «Фазові співвідношення в металевих матеріалах» для практичного аналізу конкретних діаграм стану подвійних сплавів.

Структура індивідуального завдання (розрахунково-графічного завдання) спрямована на творчий пошук та індивідуальний підхід у побудові та проведенні аналізу діаграм стану подвійних сплавів, сприяє розширенню ерудиції майбутнього інженера.

Кожен студент виконує свій варіант індивідуального завдання (розрахунково-графічного завдання), який відрізняється від інших. Робота виконується під керівництвом викладача, який у встановленому порядку видає студенту індивідуальне завдання (розрахунково-графічне завдання) для виконання, графік його виконання, надає студенту методичну допомогу, необхідну студенту для розв'язання окремих питань, рекомендує необхідну літературу, проводить систематичні консультації за розкладом і контролює хід виконання роботи.

Індивідуальне завдання (розрахунково-графічне завдання) оформлюється відповідно до вимог, викладених нижче. Його захист відбувається в установленний термін.

Дослівне копіювання матеріалів інших робіт, підручників, конспектів, методичних вказівок, інших джерел не допускається. Однак допускається використання таких матеріалів за умови обов'язкового посилання на них відповідно до встановлених правил. Загальні положення аналізу діаграм стану подвійних сплавів, висновки викладаються в тексті індивідуального завдання (розрахунково-графічного завдання) самостійно.

Побудування індивідуального завдання (розрахунково-графічного завдання) має бути максимально наближеним до класичної наукової роботи. Вимоги до структури і оформлення якої регламентуються СТЗВО-ХПІ-3.01-2021. Система стандартів з організації навчального процесу. Текстові документи у сфері навчального процесу. Загальні вимоги до виконання.

У встановлений термін, до захисту індивідуального завдання (розрахунково-графічного завдання) студент зобов'язаний представити викладачу для перевірки його текстову частину у переплетеному вигляді, яка повинна послідовно містити такі структурні елементи:

- титульний аркуш (див. Додаток 1);
- основну частину;
- список джерел інформації.

Аркуш з переліком питань завдання розташовується після титульного аркушу роботи та не входить в загальну кількість аркушів.

Список джерел інформації являє собою список літератури та електронних ресурсів, звідки був запозичений фактичний матеріал, необхідний для виконання індивідуального завдання (розрахунково-графічного завдання). Цей список складають у порядку появи посилань у тексті роботи. Посилання на літературу в тексті роботи розміщують у квадратних дужках після відповідної цитати, наприклад [7]. В даному випадку «7» – це номер у списку літератури тієї публікації, на яку посилається автор. У списку джерел інформації, посилання на кожне джерело записують з абзацу і нумерують арабськими числами. Оформлення списку джерел інформації виконується згідно з СТЗВО-ХПІ-3.01-2021.

Текстову частину індивідуального завдання (розрахунково-графічного завдання) оформляють відповідно до вимог СТЗВО-ХПІ-3.01-2021, державною мовою, за допомогою засобів комп'ютерної техніки. Текст роботи друкують з одного боку на аркушах білого паперу формату А4 (210×297 мм), розташування сторінок – книжне, залишаючи береги таких розмірів: лівий – 3 см, правий – 1,5 см, верхній і нижній – 2 см. При наборі тексту висота букв повинна бути не меншою 2,5 мм. Рекомендується використовувати шрифт Times New Roman (кегель 14) з міжрядковим інтервалом 1,5 і вирівнювання за шириною сторінки. Перший рядок кожного абзацу необхідно починати з відступом на 1 см. Відстань між абзацами така сама, як і між рядками у абзаці – 1,5 інтервали. Шрифт друку повинен бути чітким, чорного кольору, а щільність тексту роботи однаковою. Заголовок першого розділу завдання необхідно друкувати великими літерами жирним шрифтом з вирівнюванням по центру «ОСНОВНА ЧАСТИНА»

друкується. Кожне нове питання індивідуального завдання (розрахунково-графічного завдання) необхідно починати з нового аркушу. Заголовок – «СПИСОК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ» не нумерується. Нумерацію подають арабськими цифрами без знаку §, № і т. п., з крапкою після цифри. Таблиці і рисунки слід розміщувати в тексті безпосередньо після їх першого згадування. Всі сторінки роботи, включаючи список використаних джерел, підлягають нумерації на загальних засадах. Першою сторінкою роботи є титульний аркуш, який включають до загальної нумерації сторінок роботи. На титульному аркуші (сторінка 1) та на аркуші із завданням до індивідуального завдання (розрахунково-графічного завдання) (не входить в загальну кількість сторінок) номер сторінок не ставлять. Нумерація починається із сторінки основної частини де розкривається перше питання, та здійснюється у правому верхньому куті сторінки без крапки. Рисунки, таблиці та формули нумерують послідовно арабськими цифрами. Порядкові номери позначають арабськими цифрами у круглих дужках на сторінці праворуч на рівні відповідної формули. Наприклад: «(2.1)» – перша формула другого питання. Кожний рисунок (схема, діаграма, графік) повинний мати порядковий номер та назву, які необхідно розміщувати під ним без крапки. Наприклад: «Рисунок 3.1 – Діаграма фазового складу двокомпонентного сплаву». У тексті, де викладено матеріал, який пов'язаний з рисунком на який необхідно вказати, розміщують посилання у круглих дужках «(рис. 3.1)», або «див. рис. 3.1». Кожна таблиця повинна мати порядковий номер та назву, які необхідно розміщувати над таблицею посередині рядка. Наприклад: «Таблиця 1.1 – Критичні точки сплаву». При перенесенні частини таблиці на наступну сторінку, слово «Таблиця» та її назва вказуються один раз над першою частиною таблиці, а над іншими частинами пишуть: «Продовження табл.», «Закінчення табл.» із зазначенням її номера.

ДОДАТКИ

Додаток 1

Зразок оформлення титульного аркуша

Міністерство освіти і науки України

**Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»**

Кафедра «Матеріалознавство»

РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНЕ ЗАВДАННЯ ЗАВДАННЯ
з навчальної дисципліни
«Фазові співвідношення в металевих матеріалах»

Виконав(а)
ст. гр. МІТ-

Перевірив

Дата виконання роботи

Особистий підпис студента

Харків – 202_

НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Афтанділянц Є. Г., Зазимко О. В., Лопатько К. Г. Матеріалознавство : підручник. Київ : Вища освіта, 2012. 548 с. URL: <http://mto.kpi.ua/images/books/Materials%20Aftodilyanec.pdf>
2. Гапонова О. П., Говорун Т. П. Інженерне матеріалознавство : навч. посіб. Суми : Сумський державний університет, 2024. 403 с. URL: https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/98383/3/Haponova_materialoznavstvo.pdf
3. Застосування спеціалізованого програмного забезпечення в матеріалознавстві та термічній обробці металів та сплавів : метод. посіб. / Р. В. Подольський, О. І. Бабаченко, Г. А. Кононенко, Н. С. Романова, А. О. Сафронова, Е. С. Клемешов, Україн. держ. ун-т науки і технол. Дніпро : 2022. 66 с. URL: https://nmetau.edu.ua/file/metodichniy_posibnik_podolskiy_ta_in.pdf
4. Матеріалознавство : навч. посіб. / В. І. Бузило, В. П. Сердюк, А. В. Яворський, О. А. Гайдай / М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». Дніпро : НТУ «ДП», 2021. 243 с. URL: <https://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/160147/CDba.pdf>
5. Матеріалознавство та конструкційні матеріали : навч. посіб. / О. І. Лещенко, С. В. Добровольська, В. О. Кудряшов, А. Я. Любимов, І. К. Радулова, С. В. Культа, О. А. Леник. Одеса : ДУІТЗ, 2024. 333 с. URL: <https://metod.suitt.edu.ua/download/788>
6. Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство, розділ Матеріалознавство : Навч. посіб. / Л. Г. Бодрова, Г. М. Крамар, Я. О. Ковальчук, І. В. Коваль. Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2023. 157 с. URL: <https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/41575/1/ba.pdf>
7. Башев В. Ф. Конспект лекцій з дисципліни «Фізичне матеріалознавство» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти зі спеціальності 104 Фізика та астрономія, за освітньо-професійною програмою «Фізика та астрономія». Кам'янське : ДДТУ, 2024. 102 с. URL: <https://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/5/28/5-28-kl52.pdf>
8. Доній О. М., Христенко В. В., Яворський Ю. В. Комп'ютерне моделювання структури металевих матеріалів. Комп'ютерний практикум : навч. по-

сіб. для здобувачів ступеня магістра за освіт. програмою «Інжиніринг та комп'ютерне моделювання в матеріалознавстві» спец. 132 Матеріалознавство / КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електрон. текст. дані (1 файл: 18,29 Мбайт). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. 153 с. URL: <https://ela.kpi.ua/bitstreams/5555caa8-160f-4ea4-8115-c4c36fc40626/download>

9. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Фізичне матеріалознавство» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти зі спеціальності 104 Фізика та астрономія, за освітньо-професійною програмою «Фізика та астрономія» / Укладач : В. Ф. Башев. Кам'янське : ДДТУ, 2024. 65 с. URL: <https://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/5/28/5-28-mzp82.pdf>

10. Мельник О. В. Конспект лекцій з дисципліни «Технологія металів і матеріалознавство». – Електрон. текст. дані. Київ : НТУ, 383 с. URL: https://drive.google.com/file/d/13Qwo5bQ8eOyKSqbAbMHEh8Y_3qzI54Vk/view?usp=sharing

11. Кодекс етики академічних взаємовідносин та доброчесності Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» СУЯ ХПІ-ВЗЯОД-МР/10.1:2023. URL: <https://blogs.kpi.kharkov.ua/v2/nv/wp-content/uploads/sites/43/2024/04/Kodeks-etyky-akademichnyh-vzayemovidnosyn-ta-dobrochesnosti-Natsionalnogo-tehnichnogo-universytetu-Harkivskyj-politehnicnyj-institut-.pdf>

12. СТЗВО-ХПІ-3.01-2021. Система стандартів з організації навчально-го процесу. Текстові документи у сфері навчального процесу. Загальні вимоги до виконання / Є. Сокол, Р. Мигущенко, С. Радогуз, В. Пильов, С. Хазієва, Г. Крупа. – На заміну СТЗВО-ХПІ-3.01-2018 ; [чинний з 2022-01-01]. Харків : НТУ «ХПІ», 2021. 52 с. URL: <http://blogs.kpi.kharkov.ua/v2/metodotdel/wp-content/uploads/sites/28/2021/12/STZVO-HPI-3.01-2021-SSONP.-Tekstovi-dokumenti-u-sferi-navchalnogo-protsesu.-Zagalni-vimogi-do-vikonannya.pdf>

ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ В ІНТЕРНЕТІ

1. <https://studfiles.net/>

ЗМІСТ

ВСТУП	3
1. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ	5
2. ПРИКЛАД ВИКОНАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАВДАННЯ (РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОГО ЗАВДАННЯ)	18
3. ВАРІАНТИ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ЗАВДАНЬ (РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНИХ ЗАВДАНЬ)	
4. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ОФОРМЛЕННЯ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАВДАННЯ (РОЗРАХУНКОВО- ГРАФІЧНОГО ЗАВДАННЯ)	28
ДОДАТОК 1	61
НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ	62
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	62
ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ В ІНТЕРНЕТІ	63

Навчальне видання

Методичні вказівки

до виконання індивідуального завдання

(розрахунково-графічного завдання)

з навчальної дисципліни «Фазові співвідношення в металевих матеріалах»

для студентів денної та заочної форм навчання

за спеціальністю 132 «Матеріалознавство»

Укладачі:

БІЛОЗЕРОВ Валерій Володимирович

ВОЛКОВ Олег Олексійович

ПРОТАСЕНКО Тетяна Олександрівна

РЕБРОВА Олена Михайлівна

СУББОТІНА Валерія Валеріївна

СУББОТІН Олександр Володимирович

ШЕВЧЕНКО Світлана Михайлівна

ФЕДОРЕНКО Ганна Анатоліївна

Відповідальна за випуск проф. Субботіна В. В.

Роботу до видання рекомендувала проф. Пономаренко О. І.

В авторській редакції

План 2024 р., поз. 979

Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк.

Видавничий центр НТУ «ХП».

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 5478 від 21.08.2017 р.

61002, Харків, вул. Кирпичова, 2.

Електронне видання