

Практична робота №8

АНАЛІЗ ДІАГРАМ СТАНУ ПОДВІЙНИХ СИСТЕМ

Мета роботи: навчитися робити аналіз діаграм стану різних типів, визначати фазовий склад та структурні складові у сплавах різного хімічного складу при різних температурах, вміти проводити розрахунки з використанням правила відрізків та правила концентрацій.

Матеріали та обладнання. Для виконання даної лабораторної роботи студентам видаються рисунки діаграм стану систем різних типів з описанням механізму формування структур типових сплавів в цих системах.

Теоретичні відомості. Більшість металевих матеріалів, які використовуються в машинобудуванні – сплави. Вихідні речовини з яких отримують сплав називаються *компонентами*. Компонентами можуть бути як метали та і неметали. Сплави можуть складатися з двох, трьох або більшої кількості компонентів. У роботі розглядаються лише двокомпонентні сплави. Найпростіший і найпоширеніший спосіб одержання сплаву полягає у спільному плавленні компонентів з подальшою кристалізацією загальної розплаву. Розплав, зазвичай являє собою однорідний рідкий розчин. При кристалізації однорідність сплаву, як правило, порушується – виникають різні фазові складові (або просто – фази).

Фази у сплавах. Фазою сплаву називають частину сплаву, яка має

1. Однаковий агрегатний стан.
2. Однаковий тип кристалічної решітки.
3. Однаковий хімічний склад.
4. Границю поділу з іншими фазами, властивості на котрій змінюються стрибкоподібно.

Існують три основних *типи фаз* у сплавах.

1. Тверді розчини:
 - а) тверді розчини заміщення;
 - б) тверді розчини проникнення.
2. Хімічні сполуки.
3. Зерна вихідних компонентів.

Тверді розчини. *Твердий розчин заміщення* це фаза в якій частина вузлів кристалічної решітки основного металу А (рис.1а). зайнято атомами металу В. *Твердий розчин проникнення* це фаза в якій атоми елементу, що розчинився, знаходяться у міжвузлях кристалічної решітки основного металу.(рис.1б). Тверді розчини позначаються буквами грецького алфавіту – α – фаза, β – фаза та ін.

Хімічні сполуки. У результаті взаємодії компонентів можуть виникати хімічні сполуки. Головними відмінностями хімічних сполук від твердих розчинів є:

1. елементарна комірка хімічної сполуки відмінна від елементарних комірок елементів, що складають сполуку;
2. властивості хімічної сполуки суттєво відмінні від аналогічних властивостей його компонентів;
3. хімічна сполука може бути позначена у формульному вигляді (наприклад, Fe_3C).

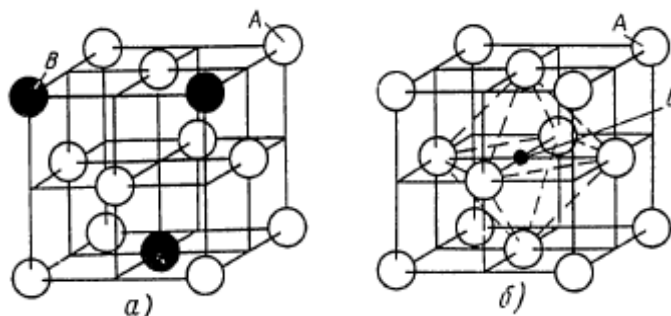


Рис.1. Елементарна комірка твердого розчину заміщення (а) та проникнення (б) компонента В у гранецентрованій решітці компонента А

Зерна вихідних компонентів. Елементарні комірки металів належать до щільно упакованих – атоми вважаються кулями, що торкаються один одного. (на рис.1 колами показані положення центрів атомів). Тобто у комірці є дуже малі вільні об'єми і розчиняться по типу проникнення можуть атоми неметалів, що мають малі розміри (С, N, Н). При співрозмірних розмірах атомів (наприклад, Fe та Si), формування твердого розчину такого типу неможливе. Виникнення твердих розчинів заміщення як на основі решітки металу так і на основі решітки неметалу також неможливе, в наслідок дуже сильної різниці у їх електронній структурі. Тоді, за умови відсутності хімічної взаємодії між компонентами, сплав кристалізується з виникненням зерен вихідних компонентів.

Структурні складові у сплавах.

Поняття структурної складової сплаву пояснимо на прикладі мікроструктури вуглецевої доевтектоїдної сталі (рис.2). Дана сталь складається з двох фаз: твердого розчину заміщення вуглецю у α – Fe, який зветься α – фазою або *феритом* (світлі зерна – Φ) та хімічної сполуки Fe_3C , яка зветься *цементитом* (темні зерна пластинчастої форми). Але ферит існує у формі великих зерен та формі тонких пластин, які перемежуються зернами цементиту. Частина сплаву, що являє собою комплекси зерен фериту та цементиту пластинчастої форми звать структурною складовою, яка має назву *перліт* (П).

Тобто *структурною складовою* називають відокремлену частину сплаву, яка має однакову будову з притаманними їй характерними особливостями. У наведеному прикладі характерна особливість це пластинчата форма зерен фериту та цементиту з періодичним їх розташуванням.

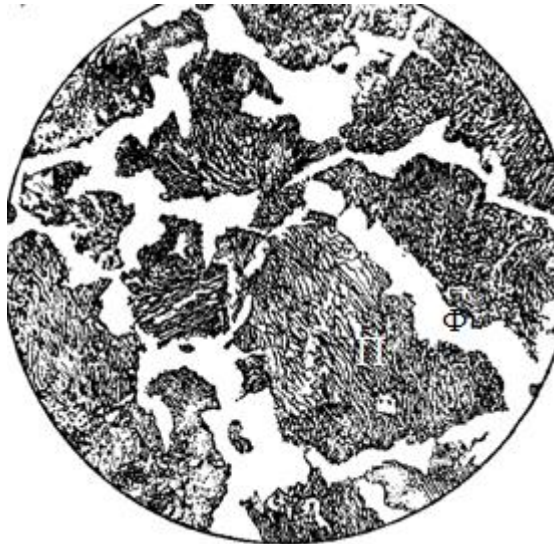


Рис.2. Мікроструктура доєвтетної сталі

Діаграми стану або **діаграми фазової рівноваги** це графічне зображення фазового і структурного складу сплавів даних компонентів (А,В) в залежності від їх концентрації та температури сплаву. Відповідно з визначенням, діаграми стану будуються у координатах концентрація компонентів (вісь Х) – температура (вісь У) (рис.3). Оскільки, ліва температурна вісь є діаграмою стану компоненту А (точка М температура його плавлення), то наносять другу температурну вісь, яка є діаграмою стану компоненту В (точка L).

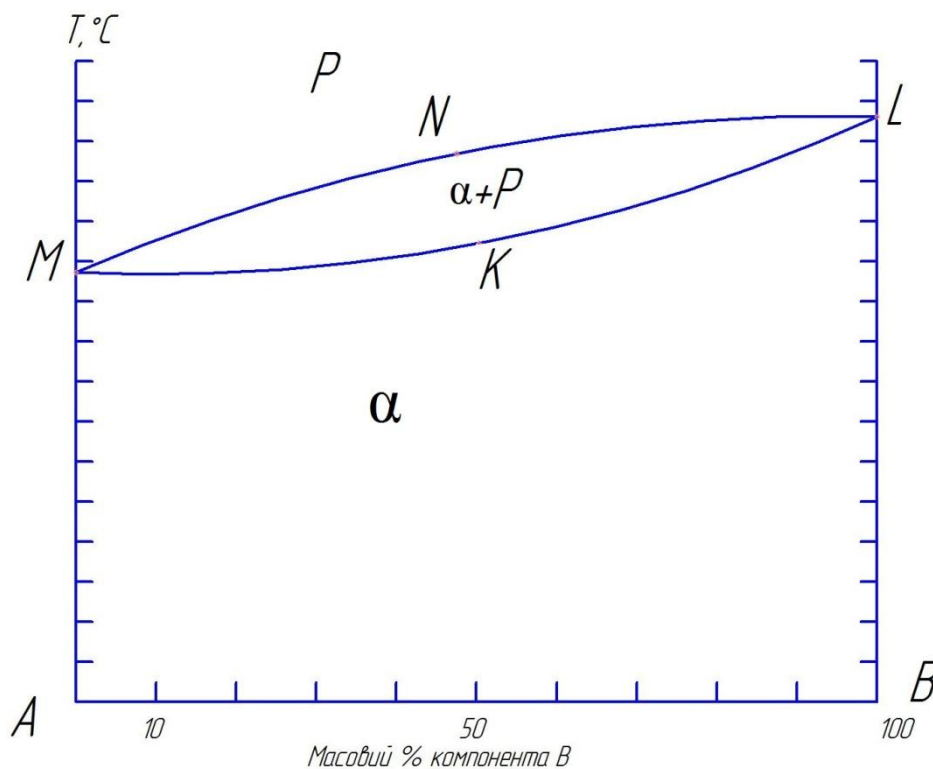


Рис.3. Загальний вигляд діаграми стану подвійної системи (діаграма першого роду)

Концентрація компонентів відкладається як показано на рис.3 – у куті позначеним знаком компоненту (у загальному вигляді компоненти позначають буквами А та В) цього компоненту 100%. Лінії діаграми стану виділяють

області однакого фазового складу – у області вище кривої MNL існує рідкий розчин (позначений P – рідина), нижче кривої MKL – α – фаза – необмежений твердий розчин заміщення, у області MNLKM – існують дві фази – рідина та α – фаза. Будь яка точка на діаграмі означає сплав визначеної концентрації при конкретній температурі і називається фігуративною точкою. Діаграми стану будуються для кожної пари компонентів в умовах наближених до термодинамічно-рівноважних, тобто при дуже повільному охолодженні сплавів, з використанням багатьох методів дослідження. Дуже велика кількість діаграм, які наведені у довідниках, по їх вигляду та методикам аналізу може бути поділена на декілька типових видів (родів), які розглядатимуться у подальшому. Знання діаграми стану дозволяє отримати наступні характеристики сплавів:

- I. Фазовий склад сплаву у будь який фігуративний точці.
- II. Концентрацію компонентів у кожній з фаз двофазної зони.
- III. Масову частку кожної з фаз двофазної зони.
- IV. Структурні складові сплаву з певною фігуративною точкою
- V. Кількість кожної структурної складової сплаву визначеної концентрації при заданій температурі.
- VI. Оціночні значення властивостей сплаву визначеної концентрації, при кімнатній температурі, за умови дуже повільного його охолодження з конкретної температури.
- VII. Режими термічної обробки визначених сплавів.

Визначення характеристик I, II, III не залежить від типу діаграми. На прикладі діаграми стану Cu–Ni (рис.4) розглянемо, як заходяться перераховані характеристики сплавів.

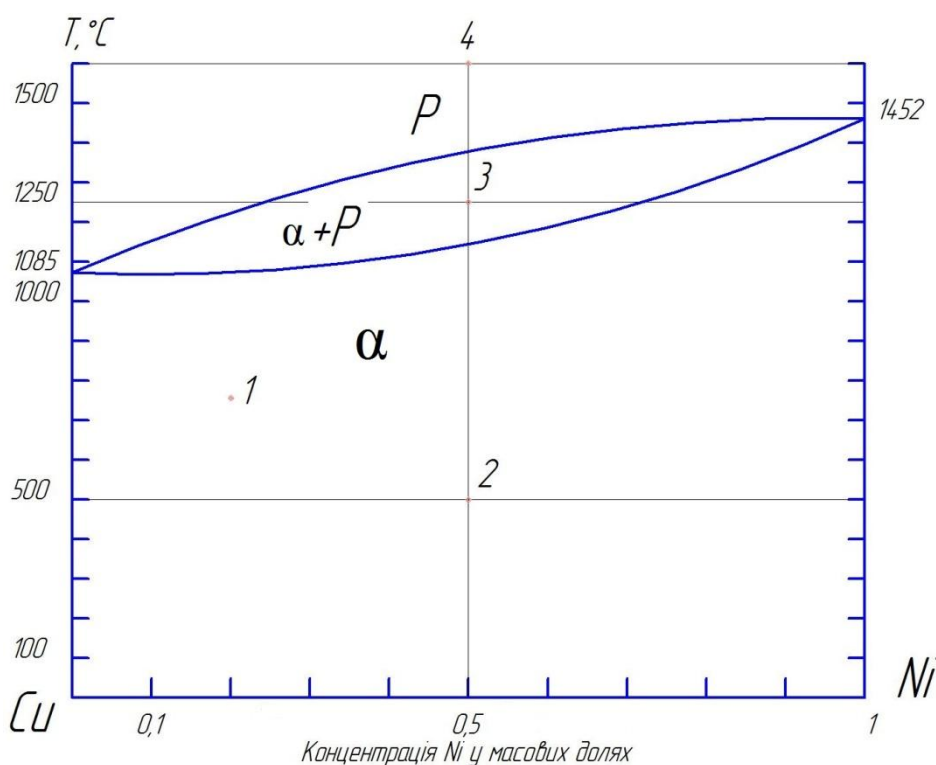


Рис.4. Діаграма стану Cu – Ni

(Тонкими лініями виділені температури, які аналізуються у подальшому)

- I. Визначаємо фазовий склад сплавів, що позначені фігуративними точками 1;2;3;4. Точка 1 знаходиться в області α – фази, отже сплав даної концентрації при даній температурі однофазний і являє собою твердий розчин заміщення атомів Ni у решітці Cu. Точки 2,3,4 відповідають сплаву з 50% концентрацією компонентів при різних температурах. При $t = 500^{\circ}\text{C}$ – α – фаза, при $t = 1250^{\circ}\text{C}$ – двофазний стан α – фаза та рідкий розчин, при $t = 1600^{\circ}\text{C}$ – рідина. Тобто загальний принцип визначення фазового складу – фазовий склад фігуративної точки відповідає області де вона знаходиться.
- II. Визначаємо концентрацію компонентів в кожній з фаз двофазної зони (для однофазної зони задача немає сенсу). Задача вирішується на базі знання правила концентрацій.

Правило концентрацій.

Сплав, який мав концентрацію $C_{\text{спл}}$ (рис.5) і складався з однієї фази, при нагріванні до температури 1250°C складається з двох фаз:

1. Твердий розчин заміщення з концентрацією компонентів C_{α}
2. Рідка фаза з концентрацією компонентів C_{ρ}

Тобто – для визначення концентрації компонентів в кожній з фаз двофазної зони треба точки a та c коноди ac знести на вісь концентрацій

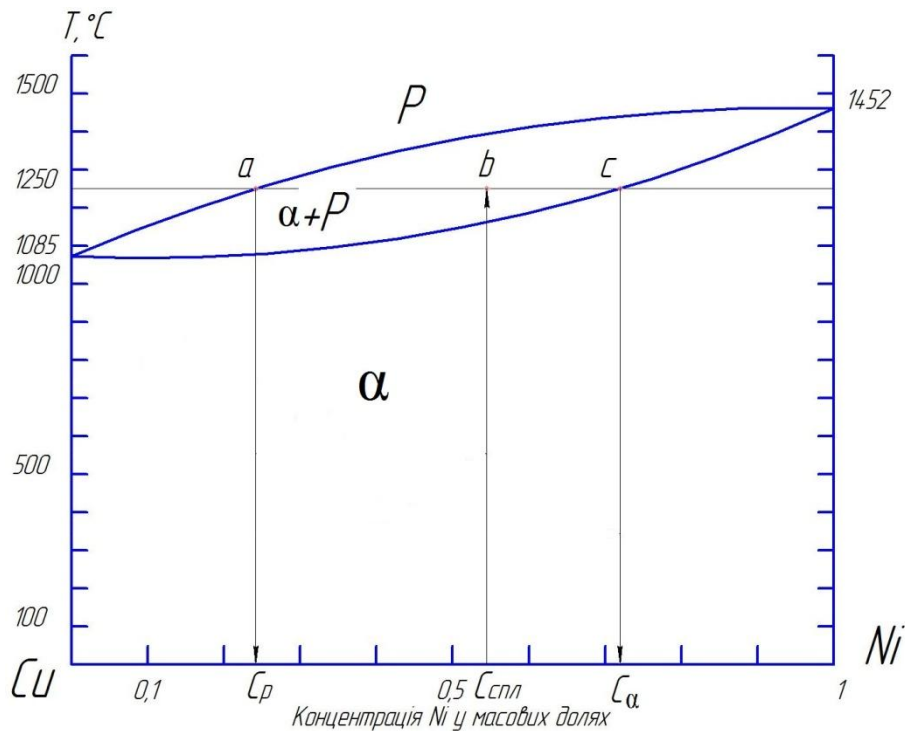


Рис.5. Визначення концентрацій по правилу концентрацій

Доказ. Діаграми будуються експериментальними методами, але можуть будуватися на основі аналізу розрахованих функцій, що звать вільною енергією $F(C_{Ni})$, де $F = U - T \times S$, U – внутрішня енергія, T – температура, S – ентропія фази. Вільна енергія фази визначається для певної температури. Ми не розраховуємо F , тому не вдаємося у деталі – що таке U та ін. Знаємо лише те, що у сплаві реалізується стан з мінімальною F (другий закон термодинаміки). Тому з залежностей $F(C_{Ni})$, які наведено на рис.6 виходить, що у всьому діапазоні концентрацій про температурі 1600°C повинна існувати лише рідка фаза. Зіставляємо з рис.4 – дійсно експеримент фіксує лише рідку фазу. Аналогічно на основі рис.7 стверджуємо і по рис.1 переконуємося, що при 500°C існую лише твердий розчин.

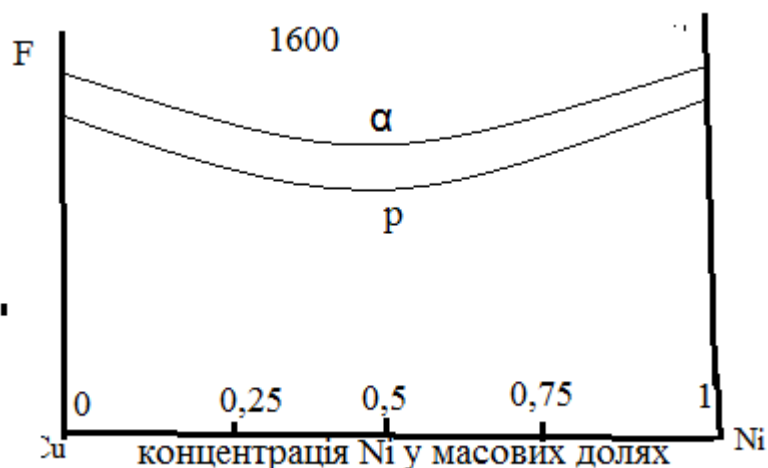


Рис.6

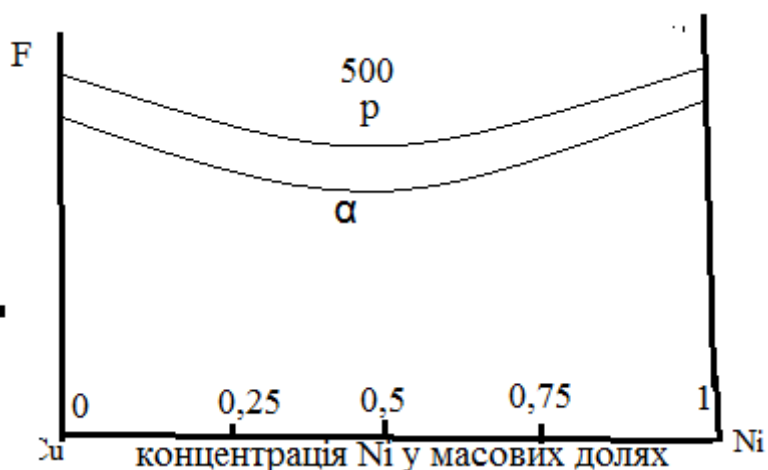


Рис.7

Для 1250°C (рис.8) маємо:

1. Концентрація $0 \dots C_a$ -- нижче лежить крива для рідкої фази. Тому повинна бути рідка фаза. Дивимося рис. 5 - дійсно це так
2. Концентрація $C_c \dots 1,0$ -- нижче лежить крива для твердого розчину. Тому повинен бути твердий розчин. Дивимося рис5. – дійсно це так.

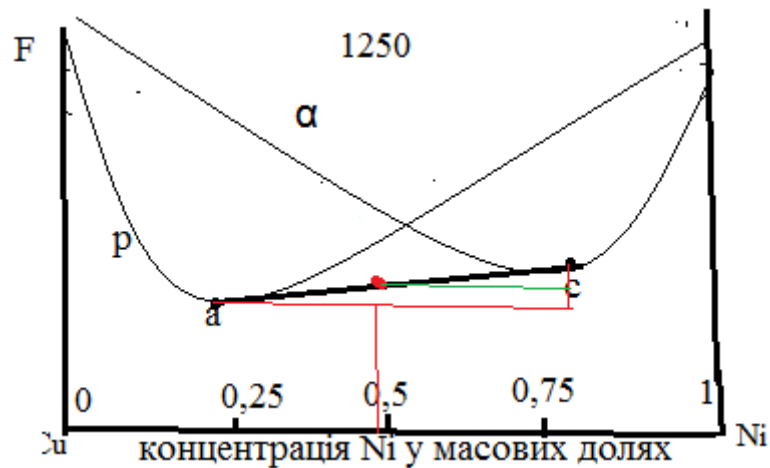


Рис.8

3. У діапазоні концентрацій $C_a \dots C_c$ наведемо дотичну до точок a та c . Розрахуємо F сплаву з концентрацією, що показана червоною прямою у припущенні що він складається з 0,5 масової частки рідкої фази концентрації C_a та 0,5 масової частки твердого розчину концентрації C_c . Маємо точку (червона) на дотичній. Тобто дотична показує величину F , що будуть мати сплави з концентрацією $C_a \dots C_c$ при умовах:

1. Вони будуть двофазними $p + \alpha$
2. Концентрація фаз дорівнює C_a та C_c
3. Масова доля фаз визначається вихідною концентрацією сплаву

Оскільки дотична лежить нижче кривих для рідини та твердого розчину то ці три умови будуть виконуватися.

III. Масову частку кожної з фаз двофазної зони визначають на базі знання правила відрізків

Правило відрізків.

Правило відрізків дозволяє знаходити масову частку кожній з фаз двофазної зони.

Сплав з концентрацією $C_{\text{спл}}$ при температурі 1250°C (точка b) згідно з діаграмою (рис.9) складається з рідкої фази та твердого розчину. Проводимо через точку b коноду ac . Далі:

$$P_{\text{мас. ч.}} = \frac{bc}{ac}$$

$$\alpha_{\text{мас.ч.}} = \frac{ab}{bc}$$

Доказ. Приймаємо масу вихідного сплаву за 1, а масову долю твердого розчину позначимо X . Тоді у точці b сплаву масова доля рідкої фази (P) складає $P=(1-X)$. Домовимося концентрацію компоненту b на осі концентрацій визначати як

довжину відрізка у мм помножену на ціну поділки (м) – масову долю ($\frac{\text{мас.д.}}{\text{мм}}$) компоненту, що приходить на 1мм. Наприклад – довжина всієї осі концентрації на рис складає 10мм. Тоді ціна поділки складає $m=1/10=0,1\frac{\text{мас.д.}}{\text{мм}}$. Складаємо рівняння, суть якого у тому, що масова частка компоненту N_i у вихідному сплаві при 0° дорівнює сумі його масових часток при $t - 1250$ у рідкій фазі (перший доданок) та α – фазі (другий доданок).

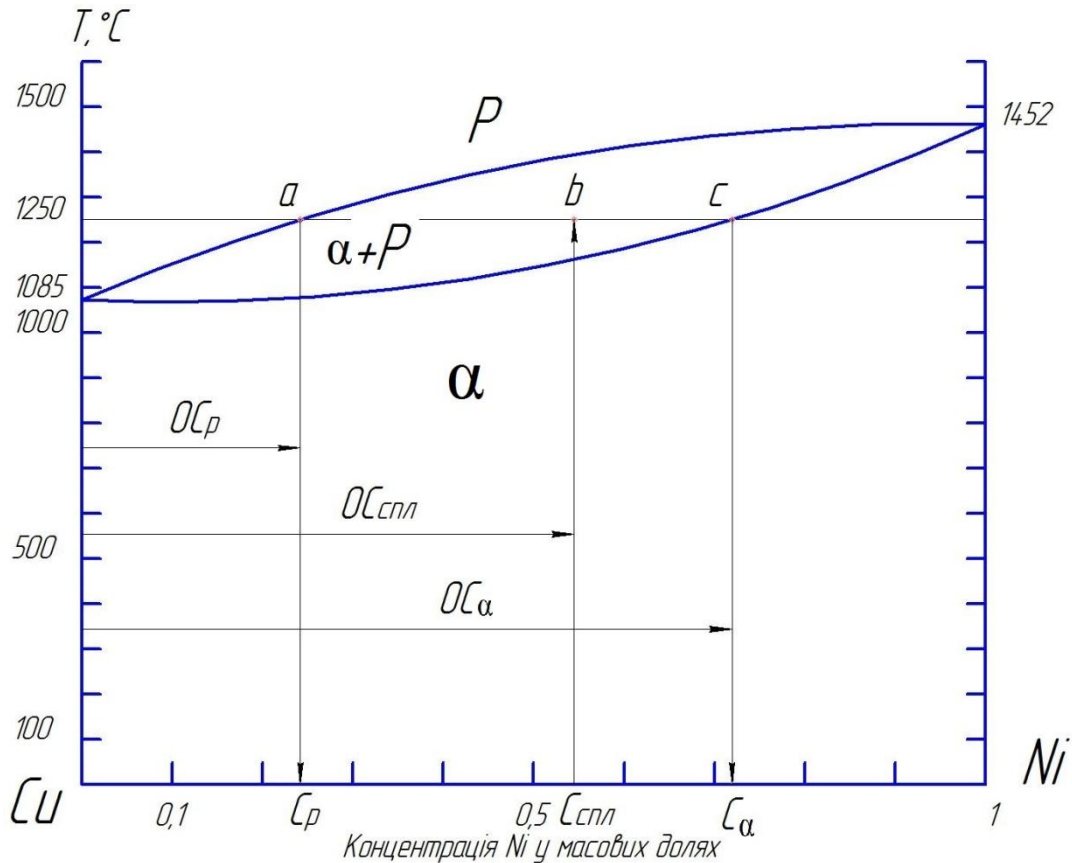


Рис.9. Визначення масової частки фаз за правилом відрізків

Масова частка:

$$1 \times 0c_{\text{спл}} \times m = (1 - X) \times 0c_p \times m + X \times 0c_{\alpha} \times m$$

масова частка N_i у вихідному сплаві при 0° дорівнює сумі його масових часток у рідкій фазі (перший доданок) та α – фазі (другий доданок). Увага: $0c_{\text{спл}}$, $0c_p$, $0c_{\alpha}$ довжини відрізків у мм відрізки, які вимірюються по осі концентрацій.

Далі

$$1 \times (0c_{\text{спл}} - 0c_p) \times m = X \times (0c_{\alpha} - 0c_p) \times m$$

Звідки

$$X = \alpha_{\text{мас.ч}} = (0c_{\text{спл}} - 0c_p) / (0c_{\alpha} - 0c_p) = \frac{ab}{bc}$$

Правило концентрацій та правило відрізків виконуються для двофазних областей діаграми будь якого типу

IV. Структурні складові сплаву з певною фігуративною точкою

V. Кількість кожної структурної складової сплаву визначеної концентрації при заданій температурі.

Ці характеристики сплавів залежать від типу діаграми стану і розглядаються у подальшому.

VI. Оціночні значення властивостей сплаву визначеної концентрації, при кімнатній температурі, за умови дуже повільного його охолодження з конкретної температури.

Такий аналіз визначається типом діаграми, тому розглядається у наступній роботі.

VII. Режими термічної обробки визначених сплавів.

Аналіз можливості термічної обробки буде проводитися при виконанні подальших робіт. пов'язаних з термічною обробкою.

Завдання до роботи

Дослідити процес кристалізації (тобто виникнення α – фази) сплавів даної системи : для діапазонів температур I, II, III, IV, що показані на діаграмах 1 – 5 побудувати залежності:

- % α – фази від температури при охолодженні з найвищої температури діапазону
- ат.% елементу у α – фазі, що виникає.

Примітки.

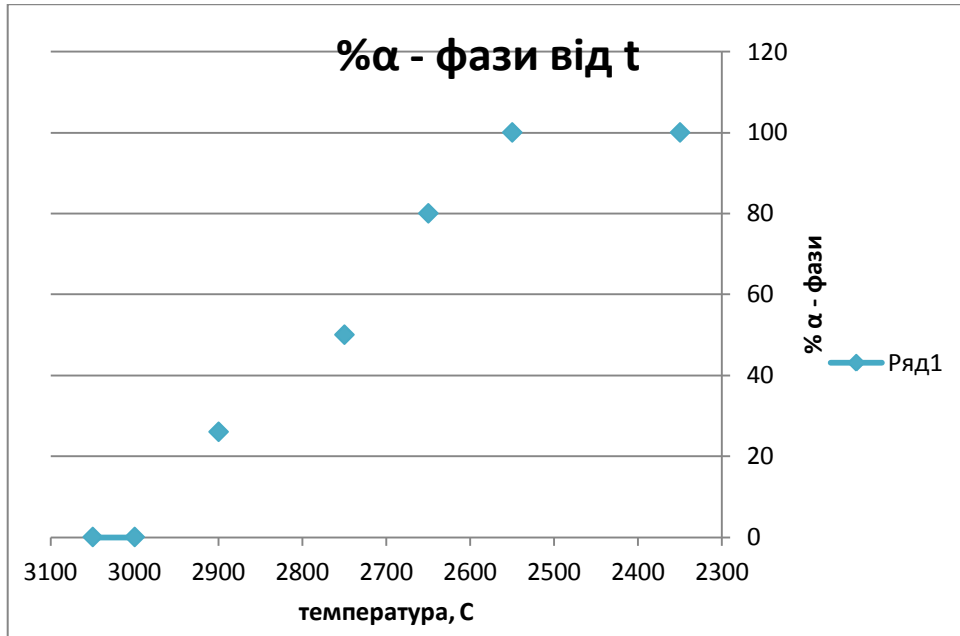
1. Будування залежностей повинно проводитися у Excel
2. Вимірювання відрізків допускається примітивним способом, але заохочується використання комп'ютерного вимірювання.

Зміст звіту по роботі:

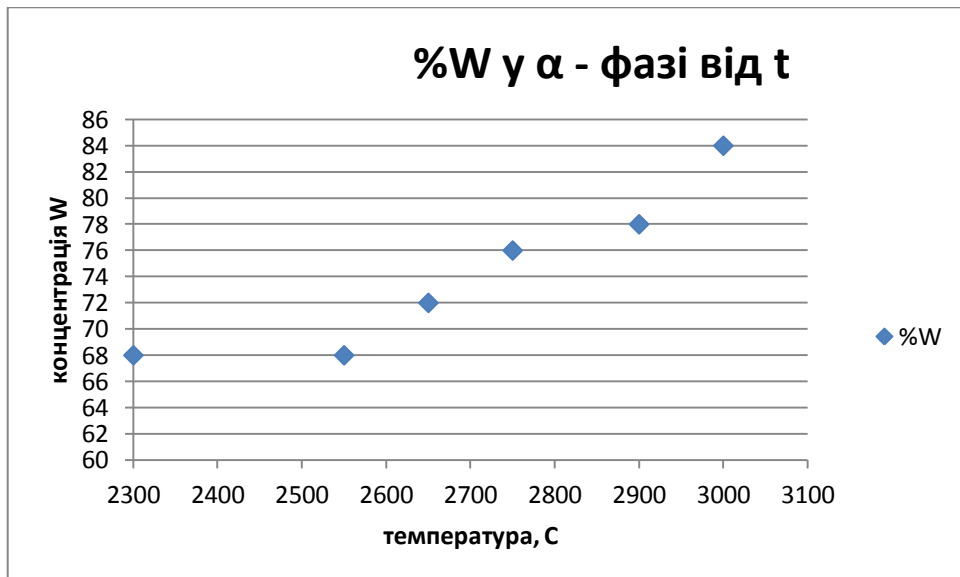
1. Назва, мета роботи, короткі теоретичні відомості.
2. Виконання індивідуального завдання:
 - 1) Роздрукований лист Excel з графіками та даними по яким вони побудовані (приклад 1)
 - 2) Роздрукований скріншот вікна програми при використанні комп'ютерного вимірювання (приклад 2)

Приклад 1.

T, °C	3050	3000	2950	2900	2850	2800	2750	2700	2650	2600	2550	2500	2450	2400	2350
α , %	0	0		26			50		80			100			100



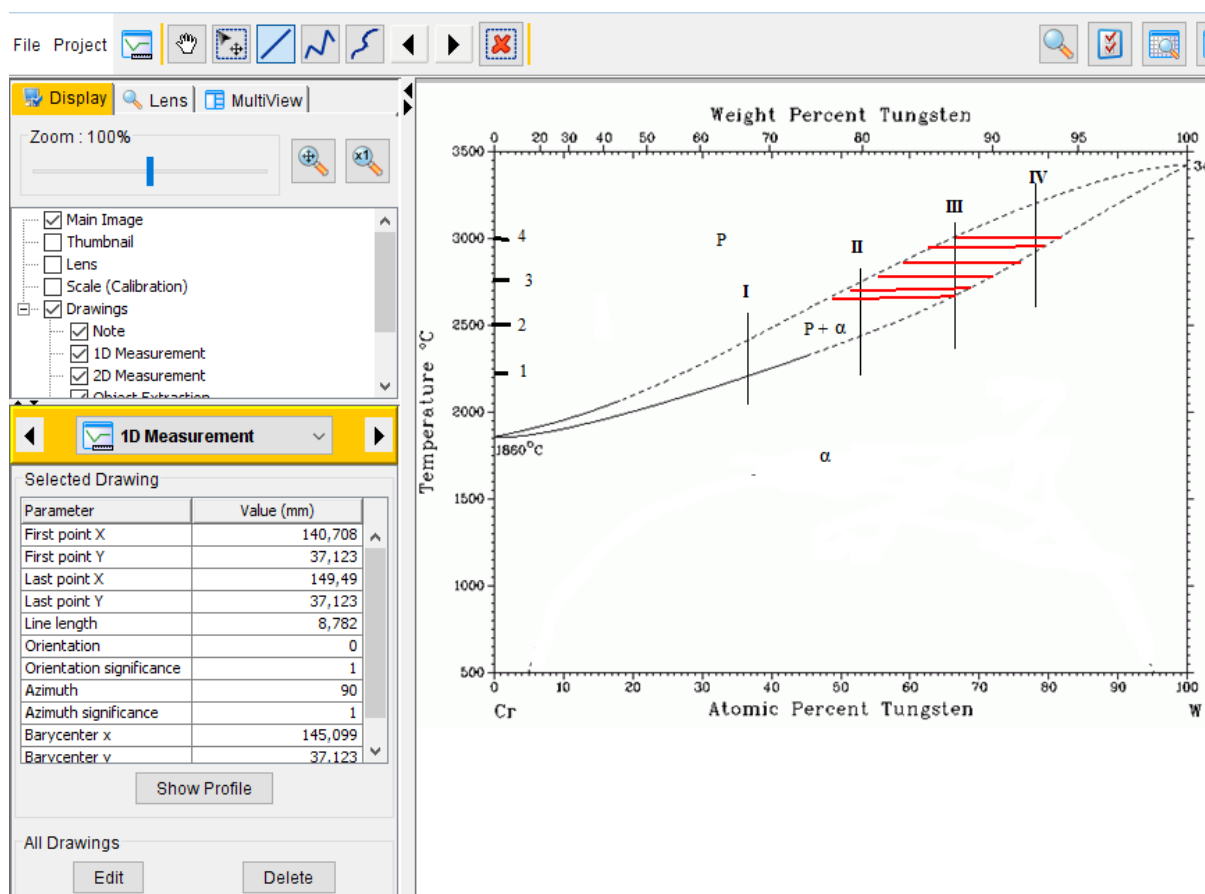
T, °C	3000	2950	2900	2850	2800	2750	2700	2650	2600	2550	2500	2450	2400	2350	2300
W, %	84		78			76		72		68					68



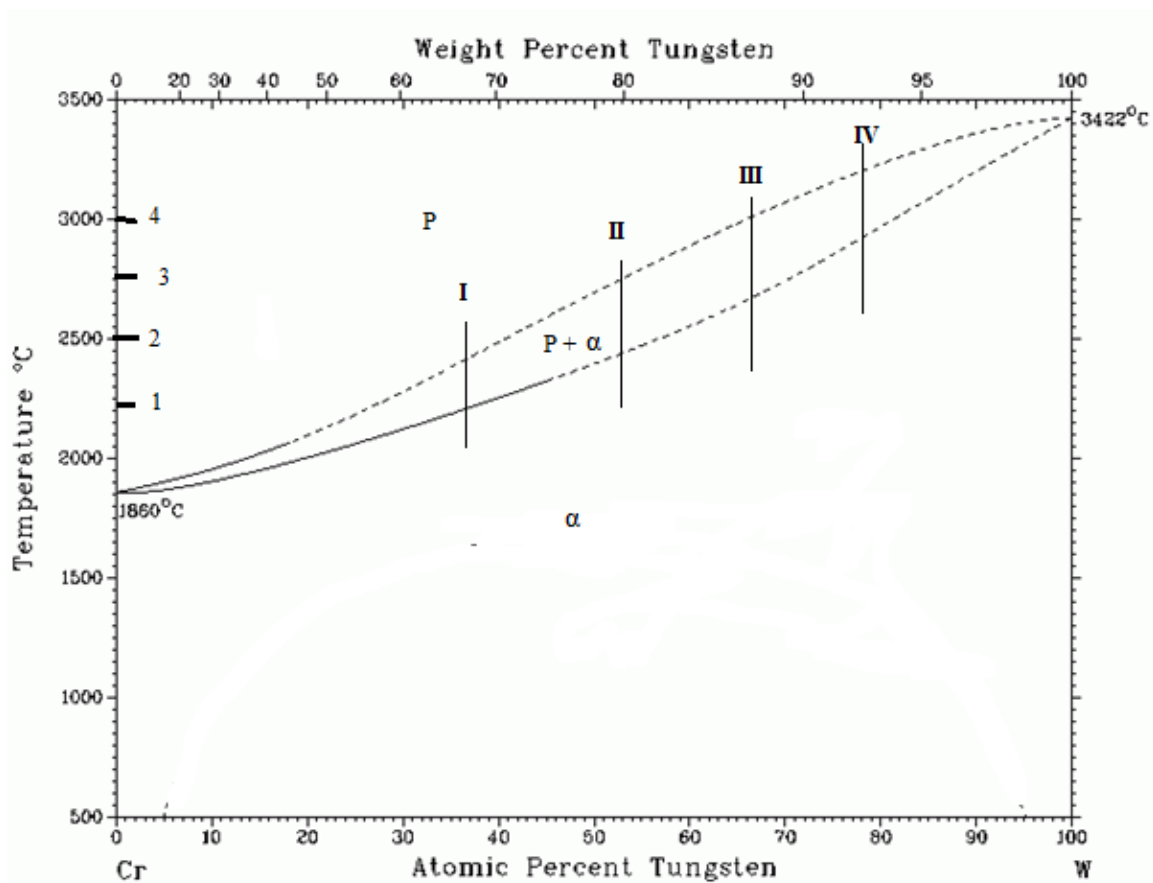
Приклад 2.

Виконання варіанту III

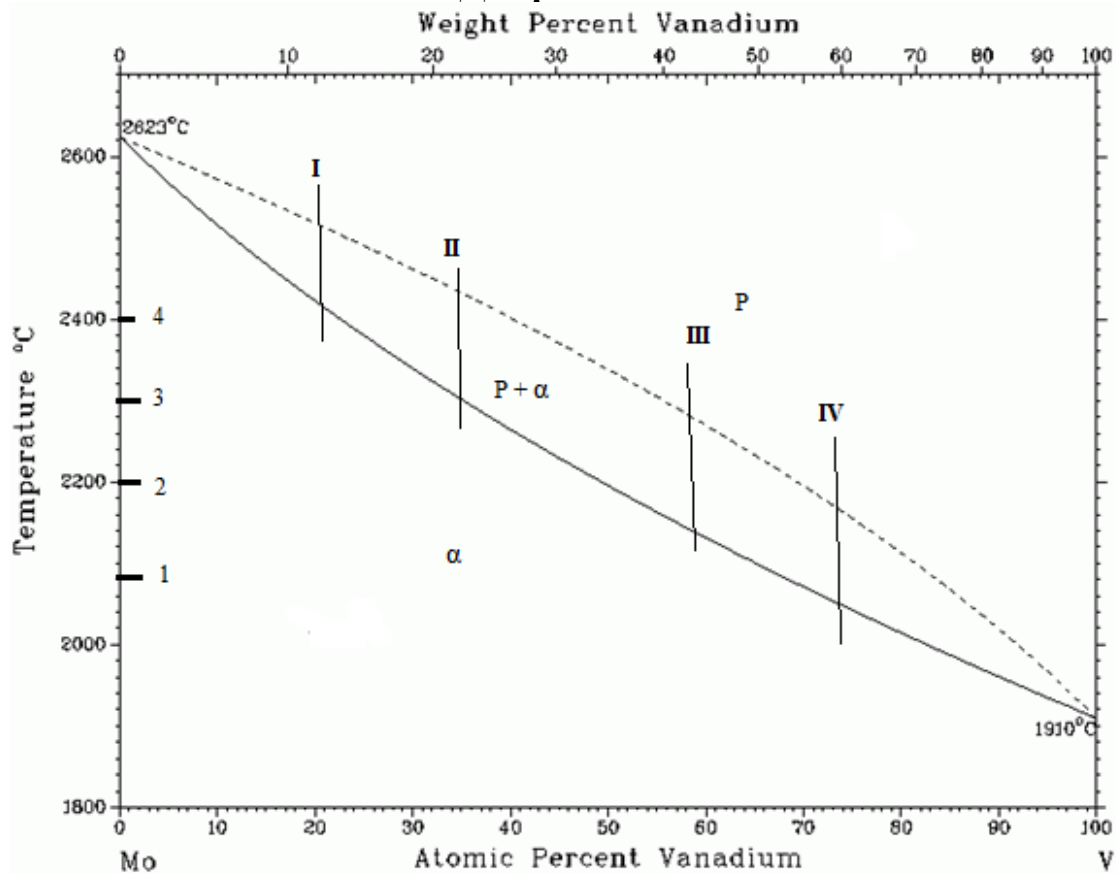
Відрізки та їх вимірювання у програмі (<http://www.jmicrovision.com/>)



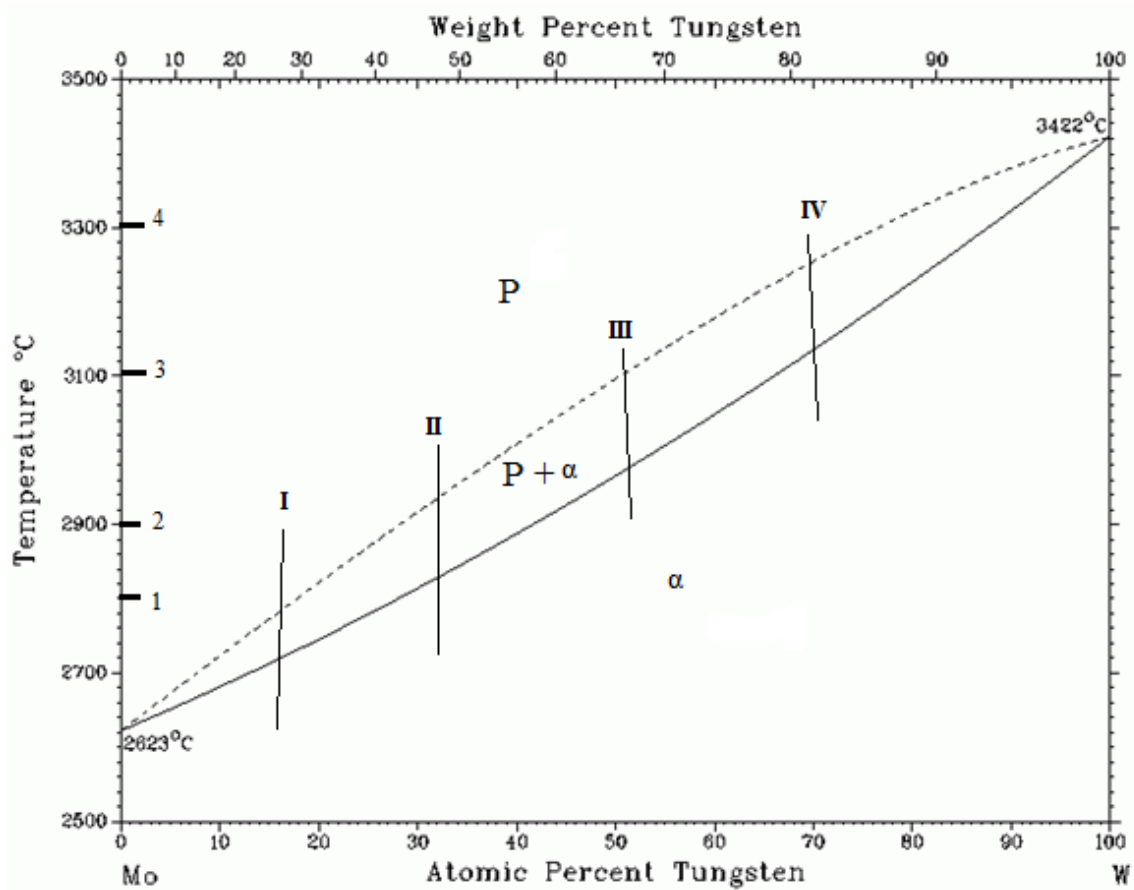
ВАРІАНТИ ІНДІВІДУАЛЬНИХ ЗАВДАНЬ



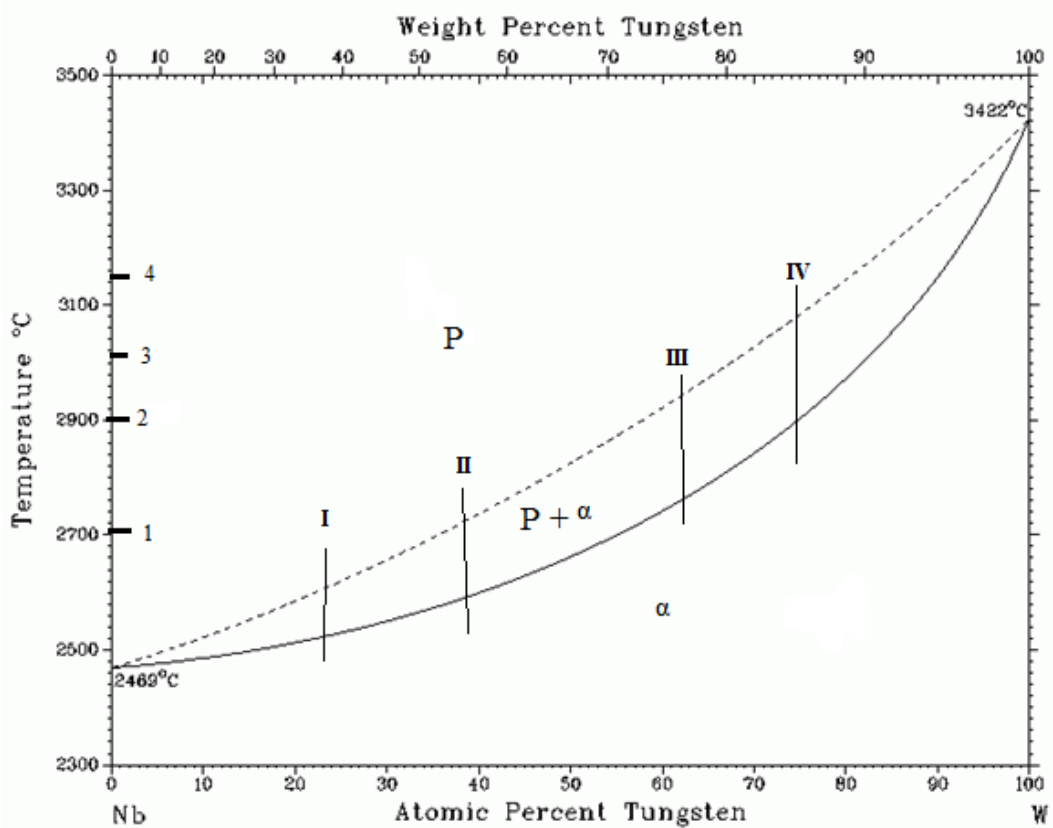
Діаграма №1



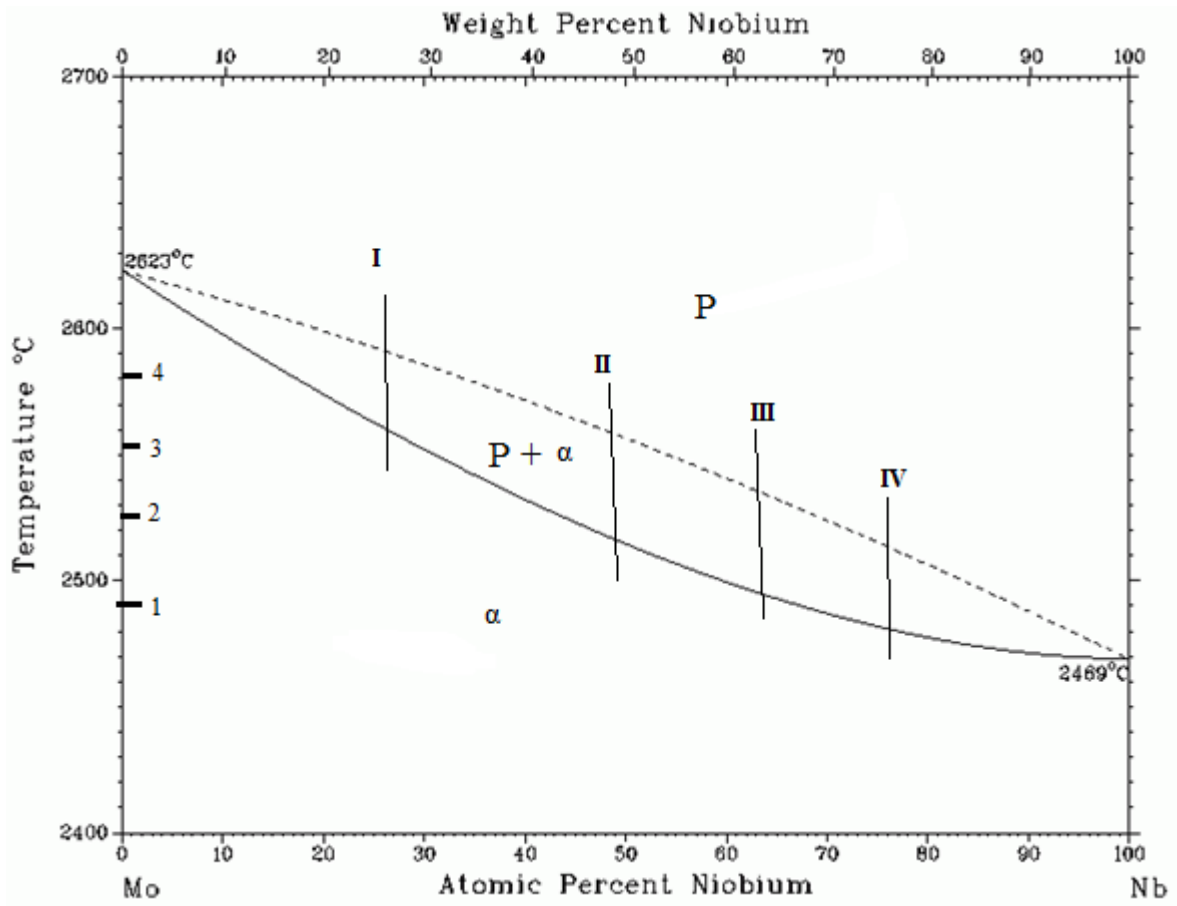
Діаграма №2



Діаграма №3



Діаграма №4



Діаграма №5