

Лабораторна робота № 2

ДІАГРАМА СТАНУ ДВОКОМПОНЕНТНИХ СПЛАВІВ

Мета роботи: ознайомитись з методикою аналізу різних типів діаграм стану в залежності від взаємодії компонентів між собою та опанувати методику побудови кривих охолодження та нагрівання сплавів за допомогою діаграми стану.

Прилади та технічні засоби навчання

- Набір карток з діаграмами стану різних двокомпонентних сплавів.
- Набір мікрошліфів типових зразків двокомпонентних сплавів.
- льбом типових мікроструктур двокомпонентних сплавів.

Короткі теоретичні відомості

Чисті метали використовуються на практиці рідко, в основному в електрорадіотехніці. Основними конструкційними матеріалами являються металеві сплави. Вони володіють більш цінним комплексом механічних, фізичних та технологічних властивостей, ніж чисті метали.

Сплав – речовина, яку одержують поєднанням (сплавленням, спіканням, електролізом тощо) двох або більше хімічних елементів або стійких хімічних сполук. Якщо основою сплаву є метал, то він називається металевим сплавом.

Компонент – незалежна складова частина системи (сплаву). Компонентами можуть бути хімічні елементи (метали, неметали) і хімічні сполуки. Чистий метал можна розглядати як однокомпонентну систему. Сплав двох металів - як двокомпонентну систему. Хімічні сполуки розглядають як компоненти лише в разі їхньої стійкості (не дисоціюють) у досліджуваному інтервалі температур.

Фаза – однорідна область сплаву, яка утворюється в результаті взаємодії компонентів і характеризується однаковими властивостями в кожній її точці і

відділена від інших фаз поверхнею розділу, при переході через яку хімічний склад, структура і властивості фази змінюються скачкоподібно. Фазами можуть бути хімічні елементи, чисті метали, тверді розчини, хімічні сполуки. За агрегатним станом фази бувають твердими, рідкими, газоподібними. Однорідна речовина, або чистий метал, є однофазною системою, а механічна суміш двох компонентів - двофазною.

Система - сукупність фаз (у рідкому, твердому чи газоподібному стані), які знаходяться в рівновазі при заданих умовах (температура, тиск).

В залежності від фізико-хімічної взаємодії компонентів можуть утворюватися наступні фази: **рідкі розчини, тверді розчини, хімічні сполуки.**

При вивченні взаємодії компонентів сплаву між собою у твердому стані слід засвоїти такі поняття: тверді розчини, хімічні сполуки, механічні суміші.

У рідкому стані компоненти більшості сплавів розчиняються один в одному необмежено, утворюючи **рідкий розчин** (розплав). У твердому стані їхня взаємна розчинність змінюється. Таким чином, в сплавах при фізико-хімічній взаємодії компонентів у твердому стані можуть утворюватися: тверді розчини, хімічні сполуки.

Твердий розчин – однорідна фаза, в якій атоми розчиненого компонента розташовуються в кристалічній ґратці розчинника, змінюючи її параметри. Якщо атоми розчиненого компонента займають у кристалічній ґратці місця атомів розчинника, то утворюється твердий розчин заміщення (рисунок 5.1а). Якщо атоми розчинюваного компонента розміщуються в порожнинах кристалічної ґратки між атомами розчинника, тоді утворюються тверді розчини впровадження.

Утворення того чи іншого розчину пов'язане з типом кристалічної ґратки і співвідношенням атомних радіусів компонентів.

Тверді розчини впровадження утворюють такі елементи як водень, азот, вуглець, частково бор, решта - розчини заміщення.

Необмежену розчинність, тобто здатність утворювати тверді розчини в будь-яких пропорціях, можуть мати лише елементи, які мають однаковий тип

кристалічних ґраток і їхні параметри відрізняються між собою не більше як на 14-15%, причому ця припустима різниця в параметрах різна для різних металів.

Хімічні сполуки утворюють компоненти з великою різницею в електронній будові їхніх атомів та кристалічних ґраток. Вони відрізняються від твердих розчинів конкретним співвідношенням числа атомів компонентів, яке відповідає стехіометричній пропорції (A_nB_m). Кристалічна ґратка сполуки має іншу будову ніж кристалічні ґратки компонентів.

Якщо компоненти сплаву у твердому стані не утворюють тверді розчини і хімічні сполуки то вони утворюють механічні суміші чистих компонентів (евтектику). Будова металевих сплавів залежить від того, в яку взаємодію вступають компоненти, які їх утворюють.

Під **структурою** розуміють форму, розмір і характер взаємного розміщення фаз у сплаві. Структура сплаву виявляється мікроаналізом.

На практиці важливо знати фазовий стан і структуру сплавів залежно від температури й концентрації компонентів, що їх утворюють. Такий зв'язок демонструють діаграми стану, які будують для умов рівноваги або близьких до них.

Врівноваженими вважаються умови, при яких процеси відбуваються зворотно, тобто в даному випадку, коли кристалізація металів і сплавів при охолодженні відбувається при температурі плавлення. Врівноважений стан відповідає мінімальному значенню енергії Гіббса. Цей стан може бути досягнений тільки при дуже малих швидкостях охолодження або тривалому (повільному) нагріванні.

Із вивченого в розділі "Кристалізація металів" ми знаємо що в реальних умовах завжди має місце деяке переохолодження.

Діаграма стану – це графічне зображення фазового стану сплаву в залежності від концентрації компонентів і температури.

Щоб зрозуміти що являє собою діаграма стану та її значення для аналізу сплавів, треба звернути особливу увагу на її побудову.

Діаграми стану будують на основі термічного методу аналізу, суть якого полягає в побудові, на основі експериментальних даних, кривих охолодження

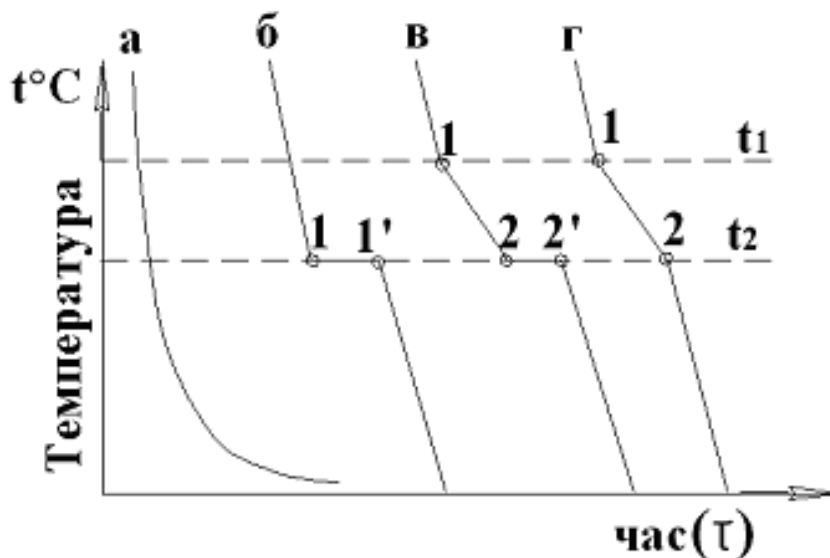
чистих компонентів та сплавів з різною концентрацією компонентів, і визначенні по них критичних точок.

Криві охолодження будуються в координатах температура (вісь Y) - час (вісь X). По перегибах або зупинках температури на кривій охолодження, зв'язаних з тепловими ефектами перетворень, визначають температури відповідних перетворень. Ці температури називають критичними, а точки на кривих охолодження, які їм відповідають - критичними точками.

Точки початку кристалізації називають точками "ліквідус", а точки кінця кристалізації - "солідус".

При охолодженні аморфного тіла (смоли, скла) його температура падає безперервно і поступово, тобто аморфне тіло затвердіває поступово і поступово плавиться в певному інтервалі температур. Чисті метали затвердівають (кристалізуються) при постійній температурі, а сплави – в інтервалі температур, про що свідчать криві охолодження.

При кристалізації чистих металів і механічних сумішей спостерігається тимчасова зупинка температури – на кривій охолодження відмічається горизонтальною лінією. При кристалізації сплавів виділення твердої фази супроводжується лише зміною швидкості охолодження і на кривій охолодження спостерігається перегин.



а – аморфного тіла; б – кристалічного тіла (чистого металу); в – сплаву з евтектикою; г – сплаву з утворенням твердого розчину.

Рисунок 1 – Криві охолодження

Отже, чисті метали кристалізуються при постійній температурі (одна критична точка T_1), а сплави кристалізуються в інтервалі температур, мають точку початку кристалізації („ліквідус”) T_1 , і точку кінця кристалізації („солідус”) T_2 (рисунок 1).

Діаграма стану будується наступним чином.

На вісі абсцис відмічають концентрації сплавів і чистих компонентів. В цих точках проводять ординати і проставляють критичні точки чистих компонентів, а також сплавів, взяті з кривих охолодження.

Зверніть увагу на те, що точка початку вісі X відповідає стопроцентній концентрації компонента A і нульовій концентрації компонента B . Зліва направо зменшується концентрація компонента A і відповідно збільшується концентрація компонента B .

З'єднуючи точки початку кристалізації одержують на діаграмі стану лінію "ліквідус", а з'єднуючи точки кінця кристалізації і одержують лінію "солідус".

Отже, лінія "ліквідус" на діаграмі стану являє собою геометричне місце точок початку кристалізації, а лінія "солідус" – геометричне місце точок кінця кристалізації.

Тепер зрозуміло, що якщо лінії діаграми побудовані по критичних точках, одержаних експериментально, то маючи діаграму стану двокомпонентних сплавів, ми маємо критичні точки всіх сплавів (з будь-якою концентрацією двох компонентів) цієї системи, а відповідно фазовий стан при будь-якій температурі. І можемо по діаграмі стану побудувати криву охолодження для будь-якого сплаву. Для цього на вісі X проставляємо концентрацію сплаву. В цій точці проводимо ординату. Точки перетину ординатою ліній діаграми є критичними точками даного сплаву.

При побудові кривих охолодження користуються правилом фаз (закон Гіббса).

Закон Гіббса встановлює залежність між числом степеней свободи, числом компонентів, числом фаз і виражається рівнянням:

$$C = K - \Phi + m ,$$

де K – кількість компонентів;

Φ – число фаз;

m – число зовнішніх факторів (температура, тиск). Якщо прийняти, що всі перетворення протікають при постійному тиску, це рівняння прийме вид:

$$C = K - \Phi + 1 .$$

При аналізі діаграми стану двокомпонентних сплавів виникають питання про фазовий склад якого-небудь сплаву при даній температурі, про концентрацію в цих фазах компонентів, про відносну кількість кожної з фаз. Відповіді на ці запитання можна отримати при допомозі правила відрізків (правила важіля).

Щоб визначити вміст компонентів у фазах, через точку, що характеризує стан сплаву, проводять горизонтальну лінію до перетину з лініями діаграми, які обмежують цю область (рисунок 5.3). Точки перетину називають **нодами**, а пряму, що їх з'єднує **конодою**. Проекції точок перетину коноди з лініями діаграми на вісь концентрацій показують склад фаз. Наприклад, у сплаві 3 (рисунок 5.3) при температурі точки **c** рідина за своїм складом відповідає точці **d'** на вісі абсцис.

Щоб визначити кількісне співвідношення фаз, визначають довжину відрізків коноди від заданої точки на діаграмі до точок, що визначають склад фаз. Довжини цих відрізків обернено пропорційні кількостям фаз.

Якщо масу рідини позначити буквою P , а масу всього сплаву – буквою B ,

то можна записати
$$\frac{P}{B} = \frac{ce}{de} .$$

Якщо масу всього сплаву прийняти за 100%, то кількість рідкої фази

визначиться співвідношенням
$$P = \frac{ce}{de} \cdot 100\% .$$

По аналогії, для твердої фази можна записати
$$P = \frac{dc}{de} \cdot 100\% .$$

Така інформація, яку дають діаграми стану має величезне практичне значення. Особливо для сплавів на основі металів які володіють поліморфізмом, тобто змінюють тип кристалічної ґратки в твердому стані.

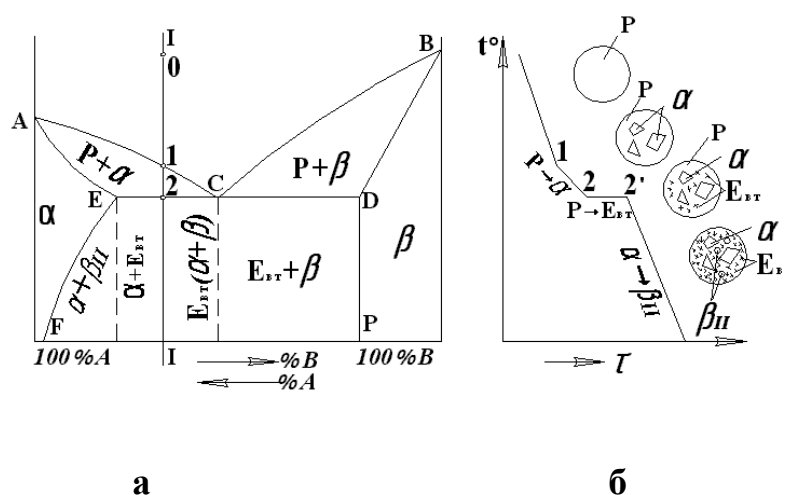
Знання діаграми стану потрібні конструктору, який закладає матеріал для виготовлення деталі, технологу, який назначає режими термічної обробки,

технологію гарячої обробки різних сплавів, ливарнику, який заливає метал в форми і т.д.

Порядок виконання роботи та оформлення звіту

- 1 Викреслити діаграму стану задану викладачем.
- 2 Позначити точки і нанести фази в різних областях діаграми.
- 3 Користуючись наведеним прикладом на рисунку 2:
 - а) описати лінії на діаграмі стану;
 - б) вказати структуру в усіх областях діаграми стану;
 - в) побудувати криву охолодження або нагрівання (за завданням викладача) заданого сплаву із застосуванням правила фаз Гіббса в координатах „температура – час”.
 - г) в точці, заданій викладачем, в двофазній області визначити кількість твердої і рідкої фази за правилом відрізків.
- 4 Для сплаву, заданого викладачем, за правилом відрізків визначити кількість твердої і рідкої фази в двофазній області при заданій температурі.
- 5 Дати відповіді на контрольні запитання.

Приклад виконання роботи



а – діаграма стану, б – крива охолодження сплаву I-I

Рисунок 2 – Побудова кривої охолодження за діаграмою стану двокомпонентних сплавів

Аналіз діаграми

Дана діаграма стану відноситься до типу, коли компоненти необмежено розчинні один в одному в рідкому стані, обмежено розчинні в твердому стані і утворюють евтектику, α – твердий розчин компонента В в компоненті А; β – твердий розчин компонента А в компоненті В; АСD – лінія ліквідус; АЕСDВ – лінія солідус; ЕСD – лінія евтектичного перетворення; FE – лінія граничної розчинності компонента В в компоненті А при зміні температури.

Побудова кривої охолодження

На вісі абсцис (вісі концентрацій) діаграми стану відмічаємо концентрацію заданого сплаву. В цій точці проводимо ординату. Точки перетину ліній діаграми ординатою є критичними точками для даного сплаву. Точка 1 – точка „ліквідус” (точка початку кристалізації), точка 2 – точка „солідус” (точка кінця кристалізації). Для правильної побудови кривої охолодження сплаву користуємося законом Гіббса.

За законом Гіббса $C=K-\Phi+1$,

де C – число ступенів свободи;

Φ – число фаз;

K – кількість компонентів.

Чим більше ступенів свободи, тим стрімкіший хід кривої охолодження.

Якщо, наприклад, розрахунок дає значення $C=0$, то це означає, що немає жодного ступеню свободи і не може змінюватись ні один параметр системи. На кривій охолодження, в цьому випадку, буде температурна зупинка (горизонтальна лінія). Якщо $C=1$, то процес йде зі зміною температури, на кривій охолодження буде точка перегину, в цьому інтервалі температур крива охолодження буде пологою. При $C=2$ – стрімкий хід кривої охолодження. В даному випадку $C=2$ в інтервалі температур від 0 до t_1 ($C=2-1+1=2$). В інтервалі температур від t_1 до t_2 $C=2-2+1=1$. В цьому інтервалі температур крива охолодження пологою, йде процес кристалізації α -фази зі зміною температури. Закінчується кристалізація α -фази в t_2 . На лінії ЕСD в рівновазі знаходяться 3 фази: α , P, β і $C=2-3+1=0$. При цій температурі (лінія ЕСD) на кривій охолодження температурна зупинка (горизонтальна лінія 2-2'). На лінії ЕСD протікає евтектичне перетворення. Із

рідкої фази одночасно виділяються кристали α і β , утворюючи механічну суміш фаз ($\alpha+\beta$) – евтектику. Структура сплаву нижче лінії ECD є двофазною – α +Евт., тобто – $\alpha+(\alpha+\beta)$ і $C=2-2+1$.

Визначення кількості твердої і рідкої фази в двофазній області для сплаву I-I при температурі t_1

На ординаті сплаву при температурі t_1 відкладаємо точку с. Через цю точку проводимо горизонтальну лінію – коноду до перетину з лініями діаграми відповідно в точках e і d, які мають назву точки ноди. Кінці коноди впираються в однофазні області рідкої фази і α -твердого розчину. Отже, ці фази будуть в сплаві I-I при температурі t_1 (точка с). при цьому склад рідкої фази визначається проекцією точки d на вісь абсцис (d'), α -твердого розчину – проекцією точки e (e'). Відносна кількість кожної з фаз визначається співвідношенням відповідних відрізків коноди. Якщо масу рідини позначити буквою P, а масу всього сплаву –

буквою B, то можна записати $\frac{P}{B} = \frac{ce}{de}$. Якщо масу всього сплаву прийняти за 100%,

то кількість рідкої фази визначиться співвідношенням $P = \frac{ce}{de} \cdot 100\%$. По аналогії для

твердої фази можна записати: $\alpha = \frac{dc}{de} \cdot 100\%$.

Контрольні запитання

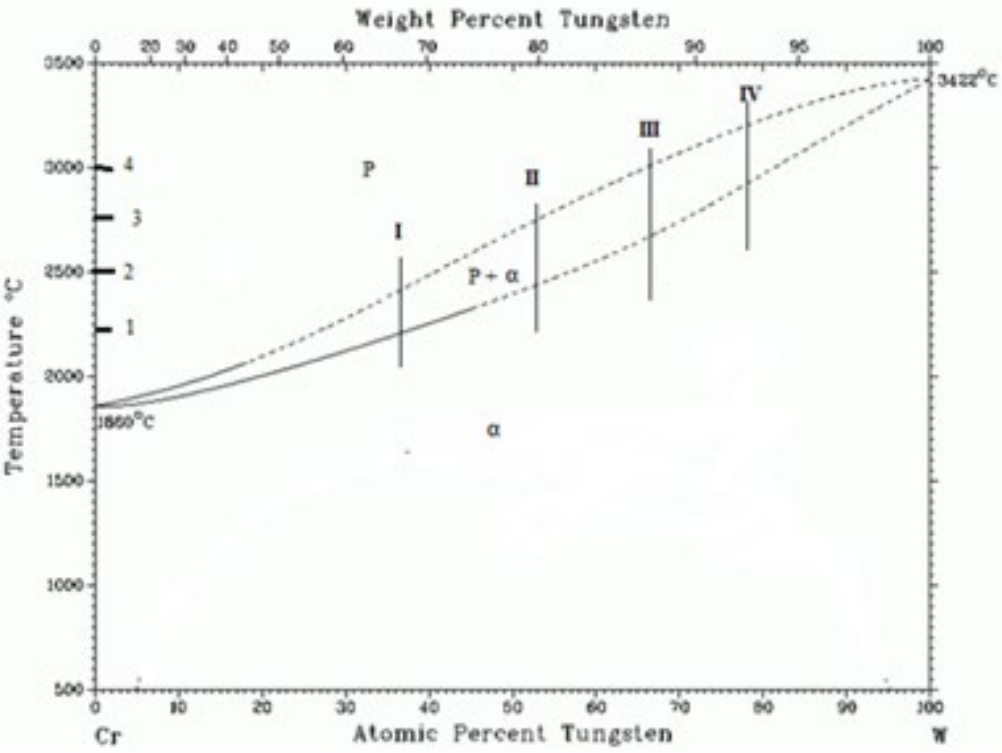
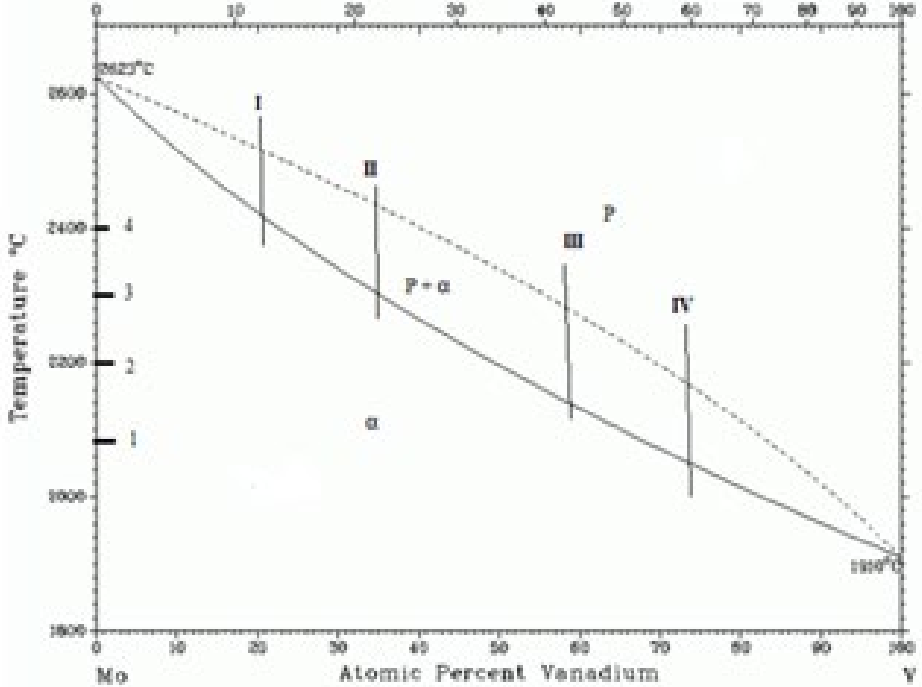
- 1 Що таке крива охолодження, нагріву?
- 2 Як будують криві охолодження, нагріву?
- 3 Що таке сплав, як його одержують?
- 4 Дати визначення поняттям компонент, фаза, система?
- 5 Які фази утворюють компоненти при взаємодії в твердому стані?
- 6 Які ви знаєте тверді розчини і що являють вони собою?
- 7 Що таке хімічна сполука?
- 8 Що таке механічна суміш? Коли вона утворюється?
- 9 Що являє собою діаграма стану сплавів?

10 Що таке лінія "ліквідус"?

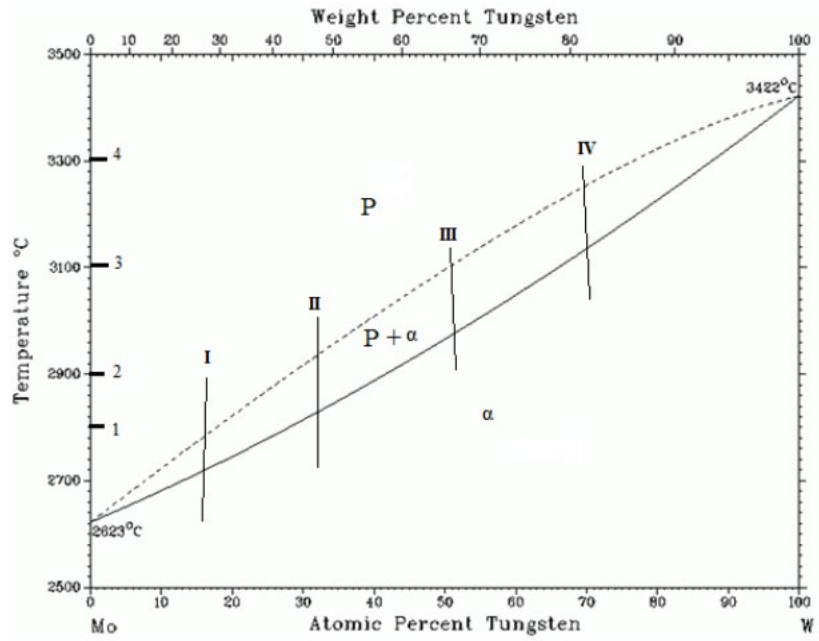
11 Що таке лінія "солідус"?

12 В чому полягає закон Гіббса?

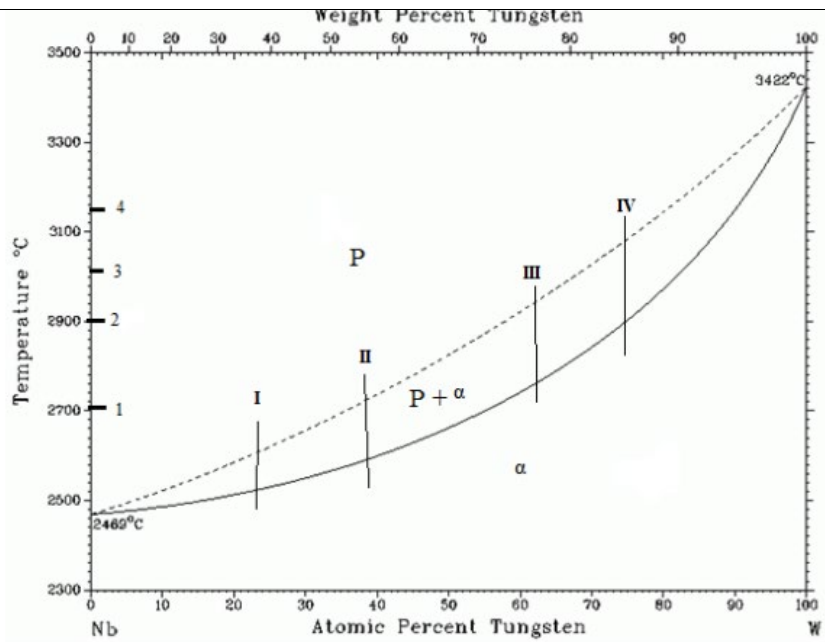
Варіанти індивідуальних завдань

№ варіанту	Діаграма
1	 <p>The diagram shows the phase behavior of the Cr-W system. The y-axis is Temperature in °C, ranging from 1500 to 3500. The top x-axis is Weight Percent Tungsten (0 to 100), and the bottom x-axis is Atomic Percent Tungsten (0 to 100). Key features include:<ul style="list-style-type: none">Melting point of Cr at 1860°C.Melting point of W at 3422°C.Phase regions: P (peritectic), P + α, α (solid solution), and I, II, III, IV (intermetallic phases).Vertical lines I-IV indicate the composition of these phases at their respective formation temperatures.</p>
2	 <p>The diagram shows the phase behavior of the Mo-V system. The y-axis is Temperature in °C, ranging from 1800 to 2600. The x-axis is Atomic Percent Vanadium (0 to 100). Key features include:<ul style="list-style-type: none">Melting point of Mo at 2623°C.Melting point of V at 1910°C.Phase regions: P (peritectic), P + α, α (solid solution), and I, II, III, IV (intermetallic phases).Vertical lines I-IV indicate the composition of these phases at their respective formation temperatures.</p>

3



4



5

