

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ**

з дисципліни

«МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО»

*(для здобувачів вищої освіти спеціальностей  
273 «Залізничний транспорт», 274 «Автомобільний транспорт»)  
(Частина 1)*

*(Електронне видання)*

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

на засіданні кафедри  
будівництва, урбаністики та  
просторового планування

Протокол № 3 від 15.10.2024 р.

Київ 2024

## УДК 691(075.8)

Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Матеріалознавство» (Частина 1) (для здобувачів вищої освіти спеціальностей 273 «Залізничний транспорт», 274 «Автомобільний транспорт») (Електронне видання) / Уклад.: М.В. Білошицький, Г.О. Татарченко, Н.І. Білошицька. – Київ: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2024. – 40 с.

Методичні вказівки до практичних занять спрямовані на вивчення і засвоєння студентами практичних основ з дисципліни «Матеріалознавство» для здобувачів вищої освіти спеціальностей 273 «Залізничний транспорт», 274 «Автомобільний транспорт» всіх форм навчання.

Розглянуто практичні основи будови матеріалів, фази та фазові перетворення, що відбуваються в матеріалах. Дано характеристики властивостей матеріалів, процеси кристалізації. Приведені необхідні розрахунки з кристалічної будови металів, пластичної деформації і рекристалізації, а також формування структури сплавів при кристалізації конструкційних металевих матеріалів, що використовуються на залізничному, автомобільному транспорті і у сучасному машинобудуванні.

Методичні вказівки до практичних занять охоплюють широкий спектр тем, вивчення яких є обов'язковим для здобувачів освіти зі спеціальностей 273 «Залізничний транспорт», 274 «Автомобільний транспорт». Ці відомості потрібні для формування у майбутніх інженерів комплексу знань, умінь та уявлень, які необхідні для вирішення практичних задач, щодо вибору матеріалу і необхідної обробки його для конкретної деталі транспортного засобу.

Методичні вказівки до практичних занять складаються з 3 тем з конкретним вирішенням необхідних завдань.

Наприкінці методичних вказівок до практичних занять наведено, список необхідної літератури.

Укладачі:

М.В. Білошицький, к.т.н., доц.  
Г.О. Татарченко, д.т.н., проф.  
Н.І. Білошицька, к.т.н., доц.

Рецензент:

П.Є. Уваров, к.т.н., проф.

## Зміст

<b>Вступ</b>	4
<b>Умовні позначення</b>	6
<b>Практичне заняття 1</b>	8
Тема: кристалічна будова металів	
<b>Практичне заняття 2</b>	12
Тема: пластична деформація, рекристалізація механічні властивості	
<b>Практичне заняття 3</b>	21
Тема: формування структури сплавів при кристалізації	
3.1. Фази в металевих сплавах	21
3.2. Правило фаз (закон Гіббса)	22
3.3 Правило відрізків	24
<b>Література</b>	39

---

## Вступ

Матеріалознавство належить до числа основних дисциплін для машинобудівних спеціальностей. Це пов'язано з тим, що одержання, розроблення нових матеріалів, способи їх обробки є основою сучасного виробництва й багато в чому визначають рівнем свого розвитку науково-технічний і економічний потенціал країни. Проектування раціональних, конкурентоспроможних виробів, організація їх виробництва неможливі без достатнього рівня знань в галузі матеріалознавства.

*Матеріалознавство* – це наука про взаємозв'язок електронної будови, структури матеріалів з їх складом, фізичними, хімічними, технологічними та експлуатаційними властивостями.

Матеріалознавство є основою для вивчення багатьох спеціальних дисциплін.

Різноманіття властивостей матеріалів є головним фактором, що визначає їх широке застосування в техніці. Матеріали мають властивості, які відрізняються один від одного, причому кожна залежить від особливостей внутрішньої будови матеріалу. У зв'язку з цим матеріалознавство як наука вивчає будову матеріалу в тісному взаємозв'язку з його властивостями. Основні властивості матеріалів можна підрозділити на фізичні, механічні, технологічні й експлуатаційні.

Від фізичних і механічних властивостей залежать технологічні й експлуатаційні властивості матеріалів.

Основними матеріалами, використовуваними в машинобудуванні, є і ще довго будуть залишатися метали та їх сплави. Тому основною частиною матеріалознавства є металознавство, у розвитку якого провідну роль відіграли вчені: Аносов П.П., Чернов Д.К., Курнаков Н.С., Гуляєв А.П. та ін.

Метою викладання дисципліни є навчити інженерів застосовувати основні методи керування конструкційною міцністю матеріалів і проводити обґрунтований вибір матеріалу для виробів з урахуванням умов їх експлуатації.

Для досягнення поставленої мети при вивченні дисципліни вирішуються такі основні завдання:

– набування знань щодо оцінки технічних властивостей матеріалів, виходячи з умов експлуатації й виготовлення виробу;

– формування науково обґрунтованих уявлень про можливості раціональної зміни технічних властивостей матеріалу шляхом зміни його структури;

– ознайомлення зі способами зміцнення матеріалів, що забезпечують надійність виробів та інструментів;

– ознайомлення з основними групами сучасних матеріалів, їх властивостями та галуззю застосування.

В результаті вивчення дисципліни «Матеріалознавство» студент має:

Знати

- Основи будови та властивості металевих та неметалічних конструкційних матеріалів;
- Теоретичні основи отримання металевих сплавів та способи покращення їх фізико-механічних властивостей;
- Класифікацію, маркування, сфери застосування конструкційних матеріалів, що найбільш застосовуються у виробництві;
- Властивості та переваги нових конструкційних матеріалів у порівнянні з класичними.

Вміти

- Раціонально обирати та застосовувати конструкційні матеріали у своїй майбутній професійній діяльності;
- Виконувати операції основних видів термічних та інших зміцнювальних обробок;
- Отримувати та обробляти різні заготовки та вироби сучасними технологіями.

Матеріалознавство готує студента до освоєння спеціальних дисциплін, що вивчають основні виробничі технології і процеси.

Знання основ матеріалознавства необхідне інженеру, який працює у сфері експлуатації сучасних машин і конструкцій.

## УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

Me - метал

ОЦК - тип грат - кубічна об'ємноцентрована

ГЦК - тип грат - кубічна гранецентрована

ГПУ - тип грат - гексагональна щільноупакована

$T_{рек}$  - температура рекристалізації, К (Кельвін)

$t_{рек}$  - температура рекристалізації, °С

$\sigma_B$  - тимчасовий опір розриву (межа міцності на розтяг), Н/мм<sup>2</sup>

$\sigma_{0,2}$  – межа текучості умовна, Н/мм<sup>2</sup>

$\sigma_{пц}$  – межа пропорційності, Н/мм<sup>2</sup>

$\delta$  – відносне подовження, %

$\psi$  – відносне звуження, %

$\sigma_{п}$  – межа повзучості, Н/мм<sup>2</sup>

$\sigma_{дп}$  – межа тривалої міцності, Н/мм<sup>2</sup>

**KCU** – ударна в'язкість, визначена на зразку з концентратором  
виду U, Дж/см<sup>2</sup>

НВ – твердість по Брінеллю

HRС-твердість за Роквеллом, шкала С

$\varepsilon$  - ступінь деформації, %

A – аустеніт

$\Phi$  – ферит

Ц – цементит

П – перліт

С – сорбіт

T – тростит

$M_3$  – мартенсит загартування

$M_{відп}$  – мартенсит відпуску

$T_{відп}$  – тростит відпуску

$M_H$  – температура початку мартенситного перетворення, °С

$M_K$  – температура кінця мартенситного перетворення, °C

$t_H$  – температура нагріву, °C

C - кількість ступенів свободи

k – компонент

$\phi$  – фаза

Q – кількість

$Q_\alpha$  - кількість  $\alpha$  - фази

h – товщина цементованого шару, мм

A (на ескізі деталей) – поверхня, на якій потрібна висока твердість

в. – охолодження у воді

пов. – охолодження на повітрі

м. - охолодження в маслі

O – відпуск

C – старіння

З – загартування

# ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 1

## ТЕМА: КРИСТАЛІЧНА БУДОВА МЕТАЛІВ

### Рекомендований розділ лекцій:

- Атомно-кристалічна структура металів;
- Поліморфні перетворення (аллотропія).

Кристалічна (від грецького «κρυσταλλος» – лід) будова характеризується певним розташуванням атомів у просторі. Прагнення атомів (іонів) металу розташуватися можливо ближче один до одного щільніше, що призводить до того, що кількість наявних комбінацій їх взаємного розташування невелика.

Більшість металів утворюють одну з наступних високо-симетричних складних решіток із щільною упаковкою атомів: кубічну об'ємно центровану (ОЦК), кубічну гранецентровану (ГЦК) та гексагональну щільноупаковану (ГПУ).

Багато металів залежно від температури можуть існувати у різних кристалічних формах. Здатність металу утворювати два або більше різних типів кристалічних решіток, стійких за певних температур називається **алотропією чи поліморфізмом**.

Явище поліморфізму відкрив німецький вчений Ейльхард Мічерліх у 1819 році. У 1868р. основоположник металознавства та теорії термічної обробки, Дмитро Костянтинович Чернов відкрив поліморфізм у залізі та сталі.

Прийнято позначати різні алотропічні форми одного й того ж металу літерами грецького алфавіту  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  та ін. Наприклад, алотропічні форми заліза позначаються:  $Fe_{\alpha}$ ,  $Fe_{\beta}$ ,  $Fe_{\gamma}$ ,  $Fe_{\delta}$ . Найнижче температурна модифікація –  $\alpha$ .

Як і при кристалізації з рідкої фази, алотропічне перетворення протікає при деякому переохолодженні (або перегріві) щодо рівноважної температури і здійснюється шляхом утворення центрів кристалізації та подальшого зростання. В результаті поліморфного перетворення виникають нові кристалічні зерна, що мають інший розмір, форму та будову.

Всі зміни в будові металу або сплаву, які відбуваються при охолодженні або нагріванні, зображують графічно у вигляді термічної кривої (кривої охолодження або кривої нагріву), яка будується в координатах "температура-час" (рис. 1).

**Завдання 1.** Для заданого металу вкажіть кристалічну решітку, намалюйте її та опишіть основні характеристики (параметр, координаційне число, щільність упаковки або коефіцієнт заповнення).

Варіанти завдання 1 - табл. 1.

Таблиця 1

### Варіанти завдання 1

Варіант	Метал	Кристалічна гратка	Варіант	Метал	Кристалічна гратка
1	Ta	ОЦК	16	Ni	ГЦК
2	W	ОЦК	17	Ag	ГЦК
3	V	ОЦК	18	Au	ГЦК
4	Fe <sub>α</sub>	ОЦК	19	Pd	ГЦК
5	Cr	ОЦК	20	Pt	ГЦК
6	Nb	ОЦК	21	Os	ГПУ
7	Ba	ОЦК	22	Cu	ГЦК
8	Li	ОЦК	23	Co <sub>α</sub>	ГПУ
9	Ti	ГПУ	24	Mo	ОЦК
10	Cd	ГПУ	25	Fe <sub>γ</sub>	ГЦК
11	Re	ГПУ	26	Al	ГЦК
12	Zn	ГПУ	27	Mg	ГПУ
13	Co <sub>β</sub>	ГЦК	28	Be <sub>β</sub>	ОЦК
14	Be	ГПУ	29	Sr	ГЦК
15	La	ГПУ	30	Co	ГЦК

**Завдання 2.** Для заданого металу, що має алотропічні (поліморфні) форми, збудуйте криву охолодження або нагрівання. На кривій вкажіть температури критичних точок, у кожному інтервалі температур позначте алотропічну форму у вірі символу елемента та індексу, вкажіть тип її кристалічної решітки.

Варіанти завдання 2 – табл. 2. Вихідні дані - табл. 3.

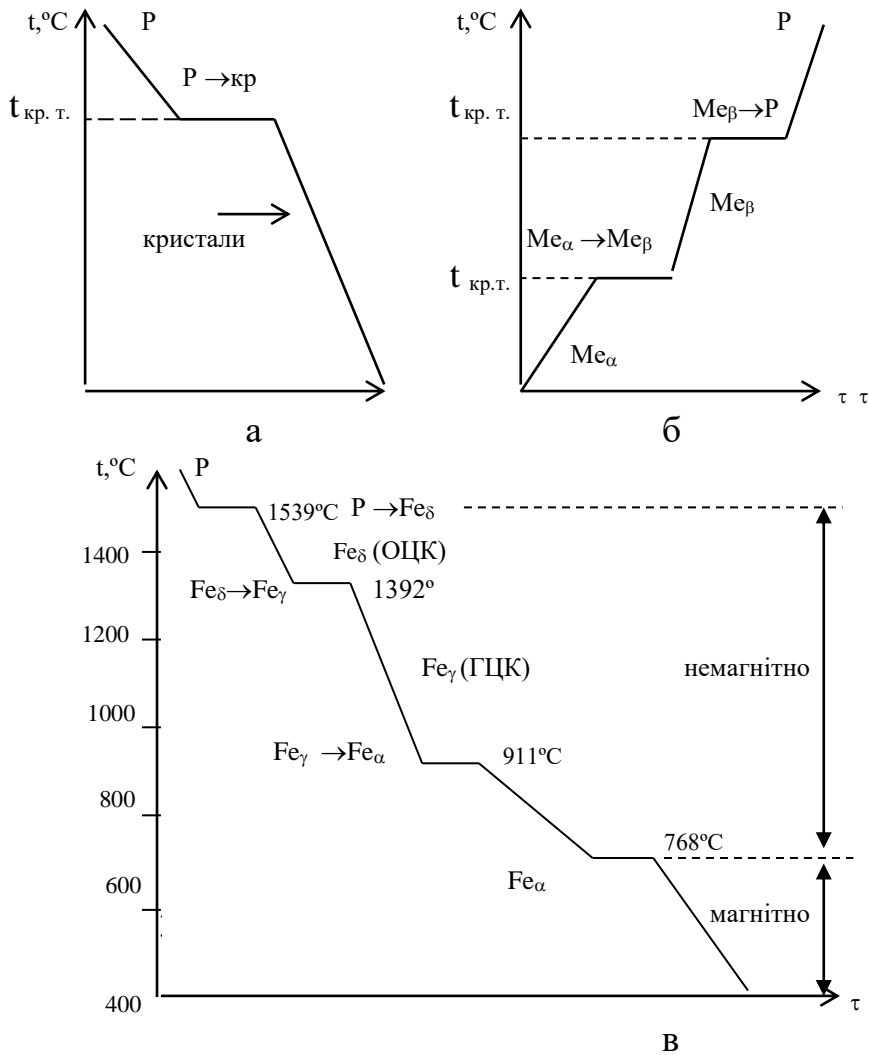


Рис.1. Термічні криві: а – крива охолодження металу без поліморфного перетворення; б - крива нагріву металу з поліморфним ревінням; в - крива охолодження заліза ( $t_{кр.т.}$  – температура критичної точки)

Таблиця 2

**Варіанти завдання 2**

Варіант	Метал	Вид термічної кривої
1	Fe (залізо)	Крива нагріву
2	Fe	Крива охолодження
3	Co (кобальт)	Крива нагріву
4	Co	Крива охолодження
5	Ti (титан)	Крива нагріву
6	Ti	Крива охолодження
7	Zr (цирконій)	Крива нагріву
8	Zr	Крива охолодження
9	Ca (кальцій)	Крива нагріву
10	Ca	Крива охолодження

11	Sc (скандій)	Крива нагріву
12	Sc	Крива охолодження
13	Sr (стронцій)	Крива нагріву
14	Sr	Крива охолодження
15	Be (берилій)	Крива нагріву
16	Be	Крива охолодження.
17	La (лантан)	Крива нагріву
18	La	Крива охолодження
19	Pr (празеодим)	Крива нагріву
20	Pr	Крива охолодження
21	Nd (неодим)	Крива нагріву
22	Nd	Крива охолодження
23	Gd (гадоліній)	Крива нагріву
24	Gd	Крива охолодження
25	Hf (гафній)	Крива нагріву
26	Hf	Крива охолодження
27	Tl (талій)	Крива нагріву
28	Tl	Крива охолодження
29	Th (торій)	Крива нагріву
30	Th	Крива охолодження

Таблиця 3

## Вихідні дані до завдання 2

Метал	Алотропічні форми	Інтервал температур стійкого стану, t° С	Кристалічна ґратка
Fe залізо	$\alpha$	<911	ОЦК
	$\beta$	911 – 1392	ГЦК
	$\delta$	1392 – 1539	ОЦК
Co кобальт	$\alpha$	<450	ГПУ
	$\beta$	450 - 1480	ГЦК
Ti титан	$\alpha$	<882	ГПУ
	$\beta$	882 - 1668	ОЦК
Zr цирконій	$\alpha$	<867	ГПУ
	$\beta$	867 - 1860	ОЦК
Ca кальцій	$\alpha$	<447	ГЦК
	$\beta$	447 - 1840	ОЦК
Sc скандій	$\alpha$	<1337	ГПУ
	$\beta$	1337 – 1541	ОЦК
Sr стронцій	$\alpha$	<215	ГЦК
	$\beta$	215 – 557	ГПУ
	$\gamma$	557 - 770	ОЦК

La лантан	$\alpha$	<277	ГПУ
	$\beta$	277 – 862	ГЦК
	$\gamma$	862 - 921	ОЦК
Pr празеодим	$\alpha$	<796	ГПУ
	$\beta$	796 - 932	ОЦК
Nd неодим	$\alpha$	<856	ГПУ
	$\beta$	856 - 1017	ОЦК
Gd гадоліній	$\alpha$	<1262	ГПУ
	$\beta$	1262 - 1314	ОЦК
Hf гафній	$\alpha$	<1760	ГПУ
	$\beta$	1760 - 2222	ОЦК
Tl талій	$\alpha$	<284	ГПУ
	$\beta$	284 - 302	ОЦК
Th торій	$\alpha$	<1365	ГЦК
	$\beta$	1365 - 1758	ОЦК
Be берилій	$\alpha$	<1256	ГПУ
	$\beta$	1256 - 1289	ОЦК

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 2

### ТЕМА: ПЛАСТИЧНА ДЕФОРМАЦІЯ, РЕКРИСТАЛІЗАЦІЯ І МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ

#### Рекомендовані розділи підручника:

- дефекти кристалічної будови (лінійні дефекти – дислокації);
- зміна структури полікристалічного металу або сплаву при пластичній деформації;
- текстура деформації;
- наклеп;
- випробування на розтяг;
- рекристалізація, рекристалізований відпал;
- холодна та гаряча деформація.

В результаті деформації відбувається значна зміна структури, яка залежить від виду пластичної деформації. Залежно від температурних умов реформування

розрізняють холодну та гарячу деформації. Фізичною межею між холодною та гарячою деформацією є температура рекристалізації. Академік А.А. Бочвар вказав наближену залежність між абсолютною температурою рекристалізації і абсолютною температурою плавлення:

$$T_{\text{рек}} = \alpha \cdot t_{\text{пл}}, \text{ К}$$

Температура рекристалізації у градусах Цельсія визначається за формулою:

$$t_{\text{рек}} = \alpha \cdot (t_{\text{пл}}, ^\circ\text{C} + 273) - 273^\circ\text{C}.$$

Значення коефіцієнта  $\alpha$  залежить від чистоти металу та ступеня пластичної деформації. Для металів технічної чистоти найчастіше приймають  $\alpha = 0,4$ , для сплавів  $\alpha = 0,5$ .

Холодна деформація проводиться при температурі нижче за температуру рекристалізації. Після деформації в результаті змішування по площинах ковзання зерна витягуються в напрямку деформації.

Зі зростанням ступеня деформації з'являється переважне кристалографічне орієнтування зерен, яке називається **текстурою деформації**. Безладно орієнтовані кристали під дією деформації повертаються осями найбільшої міцності вздовж напрямку деформації. Утворення текстури сприяє появі анізотропії механічних та фізичних властивостей. Зі збільшенням ступеня холодної деформації властивості, що характеризують опір деформації ( $\sigma_{\text{в}}$ ,  $\sigma_{\text{т}}$ , НВ тощо), підвищуються, а здатність до пластичної деформації ( $\delta$ ,  $\varphi$ ) зменшується. Зміцнення металу під впливом пластичної деформації називається **наклепуванням** або **нагартовкою**. Наклеп усувається рекристалізаційним відпалом.

**Рекристалізаційний відпал** здійснюється шляхом нагрівання сталі до температури на  $150 - 250^\circ\text{C}$  вище температури початку зростання зерен ( $T_{\text{рек}} = \alpha \cdot T_{\text{пл}}$ ), витримці при цій температурі та подальшого повільного охолодження.

Гаряча деформація здійснюється при температурі вище за температуру рекристалізації. У цьому випадку зміцнення, викликане пластичною деформацією, повністю знімається рекристалізаційними процесами, що протікають при температурах деформації. При гарячій обробці метал ущільнюється і багато вади (порожнечі, газові раковини, тріщини та ін.)

заварюються. Прокатка і кування надають сталі та іншим сплавам волокнисту будову. Дендрити та міждендритні простори, що містять велику кількість домішок та неметалічних включень, витягуються у напрямку деформації та утворюють характерні волокна. Зерна у волокнах рекристалізовані та мають округлу форму. Такий метал характеризується анізотропією механічних властивостей. Межі плинності та міцності при випробуванні вздовж і поперек волокон відрізняються незначно. Відносне подовження, відносне звуження і ударна в'язкість вздовж волокон значно вище, ніж упоперек.

### **Варіанти завдання 3.**

**Завдання 3.1.** За діаграмою розтягування (рис. 2) зразка зі сталі 10 визначте:  $\sigma_{\text{в}}$ ,  $\delta$ ,  $\sigma_{\text{пл}}$  ( $d=5\text{мм}$ ,  $l = 35\text{ мм}$ ). Поясніть фізичний зміст межі міцності.

**Завдання 3.2.** За діаграмою розтягування (рис. 2) зразка із сталі 20ХН визначте:  $\sigma_{\text{в}}$ ,  $\delta$ ,  $\sigma_{\text{пл}}$  ( $d = 5\text{ мм}$ ,  $l = 25\text{ мм}$ ). Поясніть причину виникнення майданчика плинності.

**Завдання 3.3.** За діаграмою розтягування (рис. 2) зразка із сталі 12Х13 визначте:  $\sigma_{\text{в}}$ ,  $\delta$ ,  $\sigma_{\text{пл}}$  ( $d = 5\text{ мм}$ ,  $l = 25\text{ мм}$ ). Намалуйте мікроструктуру, що утворилася в шийці зразка, та опишіть її будову.

**Завдання 3.4.** За діаграмою розтягування (рис. 2) зразка зі сталі 20 визначте:  $\sigma_{\text{в}}$ ,  $\delta$ ,  $\sigma_{\text{пл}}$  ( $d = 5\text{ мм}$ ,  $l = 25\text{ мм}$ ). Опишіть послідовно, починаючи з малих ступенів деформації, аж до руйнування, які зміни сталися в мікроструктурі сталі в місці руйнування?

**Завдання 3.5.** За діаграмою розтягування (рис. 2) зразка із сталі 40ХС визначте:  $\sigma_{\text{в}}$ ,  $\delta$ ,  $\sigma_{\text{пл}}$  ( $d = 5\text{ мм}$ ,  $l = 25\text{ мм}$ ). Нарисуйте мікроструктуру сталі до і після випробування. Опишіть різницю у будові.

**Завдання 3.6.** За діаграмою розтягування (рис. 2) зразка зі сталі 15 визначте:  $\sigma_{\text{в}}$ ,  $\delta$ ,  $\sigma_{\text{пл}}$  ( $d = 5\text{ мм}$ ,  $l = 25\text{ мм}$ ). Виходячи з атомно-кристалічного будови, поясніть механізм пластичної деформації сталі.

**Завдання 3.7.** Поясніть, чому пластичну деформацію олова при кімнатній температурі називають гарячою деформацією, а вольфраму при  $700^{\circ}\text{C}$  – холодною ( $t_{\text{пл}} \text{ Sn} = 232^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{\text{пл}} \text{ W} = 3320^{\circ}\text{C}$ ).

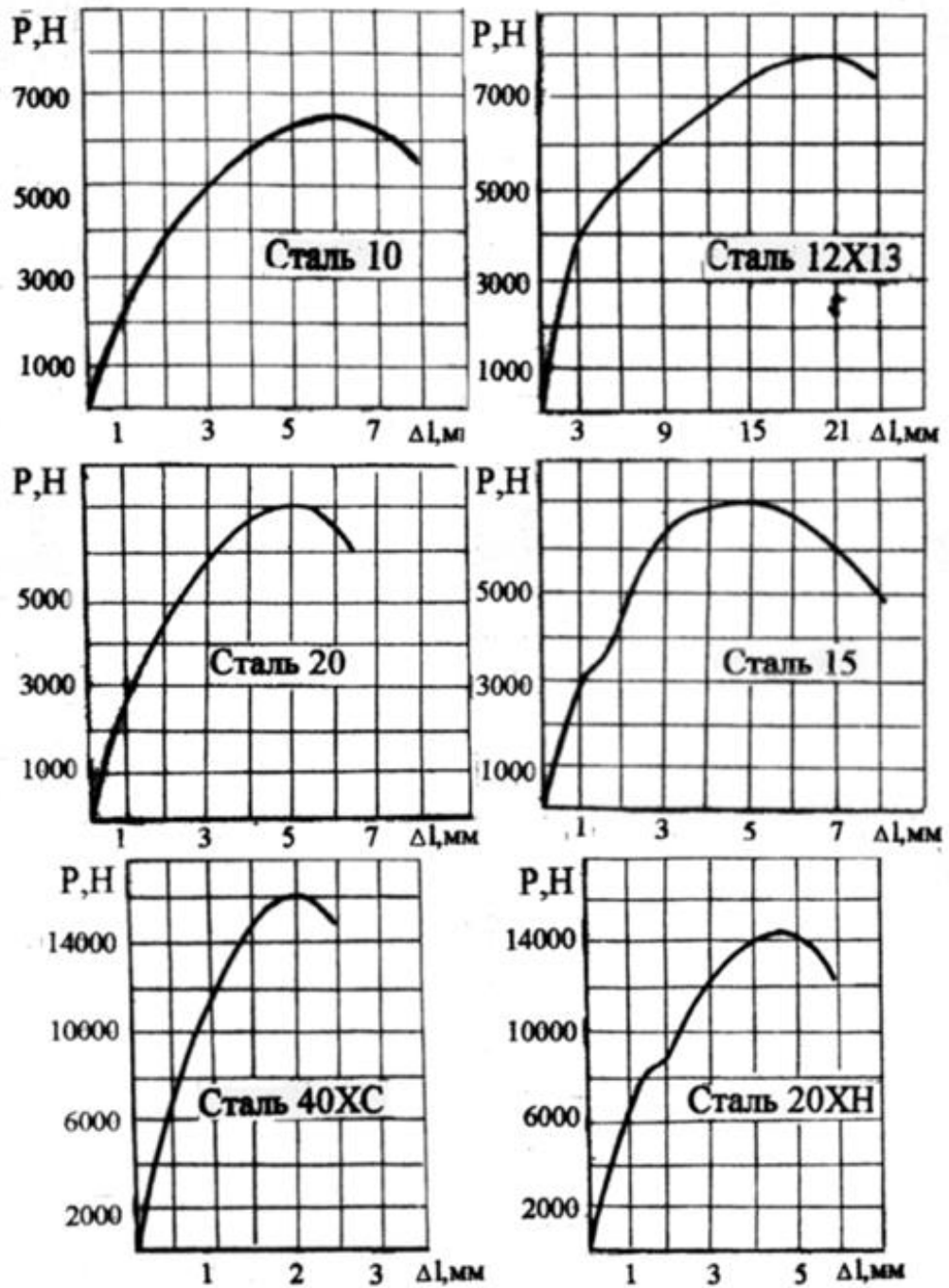


Рис. 2. Діаграми розтягування сталей

**Завдання 3.8.** Смуги свинцю прокатані при  $20^\circ\text{C}$  ступенем деформації 50%. Поясніть, чому смуги не зміцнювалися при деформуванні, та опишіть процеси, що протікають при деформації та розміцненні ( $t_{\text{пл Pb}} = 327^\circ$ ).

**Завдання 3.9.** При виготовленні сталевого дроту діаметром 3 мм із сталі 12Х18Н9Т проводять волочіння через 5 волочильних матриць. Після третьої

матриці дрiт стає тендiтним i подальше волочiння стає неможливим. Пояснiть причини появи крихкостi.

**Завдання 3.10.** Сляб (прямокутна заготовля, яку одержують на прокатному станi - слябiнгу зi злитка) прокатали в товстий лист у гарячому станi. Пояснiть, чи сталося змiцнення сталi? Намалюйте макро- та мiкроструктуру листа.

**Завдання 3.11.** При отриманнi сталевого листа завтовшки 1 мм холодною прокаткою значно пiдвищилася твердiсть сталi. Пояснiть причину цього явища. Вкажiть, як можна зменшити твердiсть листа.

**Завдання 3.12.** Зубчасте колесо отримано гарячим штампуванням сталевої заготовки зi сталi 40ХН. Пояснiть чому не сталося змiцнення сталi?

**Завдання 3.13.** Пiдвищення мiцностi алюмiнiю досягається наклепом. Пояснiть, якi змiни у кристалiчнiй будовi відбуваються у своїй.

**Завдання 3.14.** Для зменшення твердостi пруткiв латунi, одержаних холодною пластичною деформацiєю, проводять рекристалiзацiйний вiдпал при 600 °С. Опишiть форму зерен латунi до вiдпалу та етапи її змiни пiд час нагрiвання ( $t_{пл}$  латунi 950 °С).

**Завдання 3.15.** Труби з латунi, отриманi холодною пластичною деформацiєю, нагрiвають до 250° i 700 ° С. Пояснiть вплив зазначених температур на будову та властивостi труб ( $t_{пл}$  латунi - 950 °С).

**Завдання 3.16.** При дослiдженнi зламу зруйнованого валу зi сталi 40 встановлено, що вiн має волокнисту будову. Визначте вид руйнування. Пояснiть рiзницю мiж в'язким i крихким руйнуванням.

**Завдання 3.17.** При великих ступенях деформацiї алюмiнiєвий дрiт рветься. Призначте термiчну обробку для пiдвищення пластичностi дроту та пояснiть, якi змiни вiдбудуться у будовi мiкроструктури ( $t_{пл}$  алюмiнiю 660 °С).

**Завдання 3.18.** Для зниження твердостi сталева стрiчка, отримана холодною пластичною деформацiєю, була пiддана рекристалiзацiйному вiдпалу. Однак i пiсля вiдпалу стрiчка мала пiдвищену твердiсть. У чому причина?

**Завдання 3.19.** Деталi, одержуванi з пруткiв мiдi дiаметром 20 мм, повиннi мати межу мiцностi не менше 300 Н/мм<sup>2</sup>. На заводi є прутки мiдi бiльшого

діаметра з межами міцності 220-250 Н/мм<sup>2</sup>. Вкажіть, як можна підвищити межу міцності міді?

**Завдання 3.20.** Деталі з низьковуглецевої сталі, виготовлені штампуванням в холодному стані, мали після штампування неоднакову твердість. У різних перерізах вона коливалася від 100 до 200 НВ. Твердість сталі до штампування становила 100 НВ. Поясніть, чому сталь набула неоднакової твердості?

**Завдання 3.21.** Деталі, штамповані з міді у холодному стані, мали підвищену твердість. Назвіть вид термічної обробки, що забезпечує зниження твердості, вкажіть приблизну температуру нагрівання. Поясніть, як зміняться пластичність, межа міцності, мікроструктура міді ( $t_{пл}$  міді 1083°C).

**Завдання 3.22.** Зразки холоднодеформованого заліза (ступінь деформації 50%) були нагріті до 200, 400, 600 та 800°C. Зобразіть якісну залежність твердості заліза від температури нагрівання і поясніть причини, що викликають зміну твердості ( $t_{пл}$  1539°C).

**Завдання 3.23.** Поясніть, чи можна відрізнити по структурі сталь 40, деформовану в холодному стані, від сталі, деформованої і нагрітої до 800°C. Схематично зобразіть ці структури та вкажіть, у чому полягає відмінність.

**Завдання 3.24.** Зразки відпаленої сталі 20 деформувалися за кімнатної температури на 5% і на 40%. Схематично замалюйте і охарактеризуйте мікроструктуру до деформації і після.

**Завдання 3.25.** Прутки латуні після холодної деформації зазнавали відпалу при 700°C. Вкажіть, як вплинув відпал на структуру та властивості латуні ( $t_{пл}$  латуні 950°C).

**Завдання 3.26.** Поясніть, до якого виду деформації (холодної або гарячої) і чому треба віднести: а) прокатку олова при кімнатній температурі; б) деформацію сталі при 400° С? ( $t_{пл}$  сталі 1500°C,  $t_{пл}$  Sn 232°C).

**Завдання 3.27.** Поясніть, чому деформація свинцю, проведена при 20°C, не викликає його зміцнення? ( $t_{пл}$  Pb 327°C).

**Завдання 3.28.** Порівняйте механічні властивості листів з алюмінієвого сплаву до нагартовки ( $\sigma_B = 130 \text{ Н/мм}^2$ ,  $\delta = 23\%$ ) та після ( $\sigma_B = 170 \text{ Н/мм}^2$ ,  $\delta = 10\%$ ). Поясніть причини зміни властивостей.

**Завдання 3.29.** Сталева холоднокатана стрічка зі сталі 10 поставляється на заводи як нагартована з  $\sigma_B = 600 \text{ Н/мм}^2$ , так і м'яка з  $\sigma_B = 320 \text{ Н/мм}^2$ . Поясніть, яку оброблюють сталь з метою зниження міцності. Опишіть структуру нагартованої та м'якої сталі.

**Завдання 3.30.** Тонколистова холоднокатана сталь 08кп для зняття наклепу піддається рекристалізаційному відпалу при температурі 840 - 860°C. Однак вона була випадково перегріта на 300°C. Опишіть структуру сталі після правильного нагрівання та перегріву. Який вплив зробив перегрів на міцність і пластичність сталі?

**Завдання 4.** Для заданого металу або сплаву призначте ступінь холодної пластичної деформації, що забезпечує отримання необхідної величини механічної властивості.

### Порядок виконання та складання звіту

1. Розрахуйте механічні властивості заданого матеріалу в залежності від ступеня холодної пластичної деформації за формулами:

$$\text{умовна межа плинності } \sigma_{0,2} = \sigma_{0,2\text{исх}} + A \cdot \varepsilon^{n_1}$$

$$\text{межа міцності } \sigma_B = \sigma_{B\text{исх}} + B \cdot \varepsilon^{n_2}$$

$$\text{твердість за Брінеллем } \text{HB} = \text{HB}_{\text{исх}} + C \cdot \varepsilon^{n_3}$$

$$\text{відносне подовження } \lg \delta = \lg \delta - K \cdot \varepsilon + M \cdot \varepsilon^2,$$

де А, В, С, К, М - коефіцієнти;  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $n_3$  - показники ступеня;  $\varepsilon$  - ступінь деформації (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 %), при розрахунку  $\delta$  ступінь деформації вводиться у відносних одиницях (0,1; 0,2...0,7).

2. Побудуйте графіки:  $\sigma_{0,2} = f(\varepsilon)$ ;  $\sigma_B = f(\varepsilon)$ ;  $\text{HB} = f(\varepsilon)$ ;  $\delta = f(\varepsilon)$ .

3. Виберіть за графіками ступінь холодної пластичної деформації, що забезпечує отримання необхідної величини механічної властивості.

4. Вкажіть значення межі плинності, межі міцності, відносного подовження та твердості, які виходять при вибраному ступені деформації.

5. Поясніть причину зміни властивостей з урахуванням теорії дислокацій.

Варіанти задачі 4 – табл. 4. Вихідні дані – табл. 5.

Таблиця 4

**Варіанти завдання 4**

Варіант	Марка матеріалу	Механічні властивості
1	Сталь Ст 2	HB 150
2	Сталь 08кп	$\sigma_{0,2} = 400 \text{ Н / мм}^2$
3	Сталь 20	$\sigma_{0,2} = 550 \text{ Н / мм}^2$
4	Сталь 40	$\sigma_B = 800 \text{ Н / мм}^2$
5	Сталь 45	HB 200
6	Сталь 50	$\sigma_B = 890 \text{ Н / мм}^2$
7	Сталь 85	$\delta = 5 \%$
8	Сталь 12Х13	$\sigma_{0,2} = 750 \text{ Н / мм}^2$
9	Сталь У8ГА	$\delta = 8 \%$
10	Сталь 14Г2АФ	$\delta = 4 \%$
11	Алюмінієвий сплав АМц	$\delta = 15 \%$
12	Сталь І2Х5МА	$\delta = 7 \%$
13	Алюмінієвий сплав АМг2	$\delta = 14 \%$
14	Латунь Л90	$\delta = 10 \%$
15	Латунь Л68	$\sigma_s = 500 \text{ Н / мм}^2$
16	Латунь Л62	$\sigma_{0,2} = 300 \text{ Н / мм}^2$
17	Бронза БрМц5	$\delta = 3 \%$
18	Нікель	$\sigma_B = 750 \text{ Н / мм}^2$
19	Монель (Ni + Cu)	$\delta = 10 \%$
20	Технічний титан	$\delta = 12 \%$
21	Сталь 20Х20Н4АГ10	HB 250
22	Сталь І2Х2ІН5Т	HB 300
23	Сталь 12Х18Н9Т	HB 195
24	Сталь 1014Г14Н3	$\sigma_{0,2} = 450 \text{ Н / мм}^2$
25	Сталь 20Х17Н5Г9	HB 150
26	Сталь 30ХГСА	$\sigma_{0,2} = 560 \text{ Н / мм}^2$
27	Сталь 08ХІ7АГІ4	$\sigma_B = 940 \text{ Н / мм}^2$
28	Сталь У10	HB 225
29	Сталь 09Г2	$\sigma_B = 600 \text{ Н / мм}^2$
30	Сталь 12Х22Н5Г9Т	HB 200

## Вихідні дані до завдання 4

Варіант	Матеріал	Вихідні властивості				Коефіцієнти					Показники ступеня		
		$\sigma_{0,2}$	$\sigma_b$	$\delta$	НВ	А	В	С	К	М	n <sub>1</sub>	n <sub>2</sub>	n <sub>3</sub>
		Н / мм <sup>2</sup>		%									
1	Сталь Ст 2	230	375	34	120	30,6	18,6	39	4,04	2,4	0,62	0,71	0,77
2	Сталь 08кп	230	325	35	100	34,6	14,8	96,5	2,8	1,0	0,6	0,75	0,55
3	Сталь 20	250	420	25	156	31,6	5,8	53	2,26	2,0	0,64	0,98	0,66
4	Сталь 40	350	600	19	170	83,6	14	40	2,43	2,0	0,48	0,82	0,77
5	Сталь 45	350	585	16	145	86,6	14,4	129	2,45	1,4	0,48	0,83	0,52
6	Сталь.50	400	675	18	178	100	17,4	75	2,68	1,42	0,47	0,80	0,65
7	Сталь 85	500	950	13	247	147	21	32	2,17	3,0	0,43	0,77	0,37
8	Сталь І2ХІ3	325	500	28	145	72	17	195	2,36	1,27	0,45	0,72	0,35
9	Сталь У8ГА	400	670	28	160	114	22	140	3,35	3,0	0,44	0,73	0,57
10	Сталь 14Г2АФ	400	575	32	170	112	34	56	3,04	2,25	0,38	0,59	0,76
11	Алюмінієвий сплав АМц	50	110	22	30	6	0,3	2	2,16	1,3	0,71	1,34	1,3
12	Сталь І2Х5М	480	575	24	155	23	8,9	92	2,22	2,4	0,72	0,89	0,63
13	Алюмінієвий сплав АМг 2	100	210	22	49	13	7	21	1,55	1,2	0,59	0,55	0,64
14	Латунь Л90	230	310	35	97	29	13	26	1,92	1,2	0,52	0,65	0,72
15	Латунь Л68	120	325	70	70	36	11	68	1,35	0,41	0,62	0,8	0,72
16	Латунь Л62	150	360	56	100	31	6	38	1,34	0,56	0,65	0,94	0,82
17	Бронза	90	315	50	65	61	2,4	60	3,14	2,1	0,46	1,06	0,74
18	Нікель	150	500	47	115	137	11	216	2,24	1	0,38	0,81	0,46
19	Монель	200	500	48	128	114	24	100	2,46	1,3	0,41	0,64	0,58
20	Титан технич.	500	570	34	225	67	47	64	2,08	2,3	0,36	0,45	0,59
21	Сталь 20Х20Н4АГ1	500	800	50	200	25	6,6	68	1,43	0,05	0,92	1,2	0,84
22	Сталь	670	580	15	262	27,3	19,6	137	2,79	1,25	0,68	0,74	0,45
23	Сталь	600	840	28	170	38,2	24	75	2,36	1,6	0,70	0,74	0,57
24	Сталь	340	730	62	179	33	10	105	3,6	1,24	0,78	0,9	0,41
25	Сталь	600	850	40	121	59	22	31	4,64	0,34	0,69	0,86	0,61
26	Сталь 30ХГСА	480	640	30	180	86	34	85	2,94	2,4	0,45	0,61	0,7
27	Сталь 08ХІ7АГІ4	450	820	53	212	36	14	115	4,44	2,05	0,86	1,02	0,52
28	Сталь У10	450	620	30	220	25	18	15	1,8	0,83	0,79	0,83	0,35
29	Сталь 09Г2	320	470	40	175	59	6,4	29	3,08	2	0,46	0,91	0,85
30	Сталь І2Х22Н5Г9Т	550	880	50	163	51	18	38	4,2	1,4	0,71	1,23	0,64

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 3

### ТЕМА: ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ СПЛАВІВ ПРИ КРИСТАЛІЗАЦІЇ

Рекомендовані розділи підручника:

- Правило фаз;
- Правило відрізків;
- діаграма стану сплавів з необмеженою розчинністю компонентів у твердому стані;
- діаграма стану сплавів з обмеженою розчинністю компонентів у твердому стані (з евтектикою, з перитектикою);
- діаграма стану сплавів, компоненти якої не розчиняються у твердому стані;
- діаграма стану сплавів, що утворюють хімічні сполуки;
- Закон Курнакова (залежність між діаграмою стану та властивостями сплавів).

#### **3.1. Фази в металевих сплавах**

У розплавленому стані більшість металевих сплавів є рідкими розчинами. У процесі кристалізації залежно від фізико-хімічної взаємодії компонентів утворюються фази: тверді розчини та хімічні сполуки.

**Твердий розчин** - кристалічна фаза змінного складу, в якій один з компонентів сплаву зберігає свою кристалічну решітку, а атоми іншого (інших) розташовуються в решітці першого компонента (розчинника), змінюючи її розміри (період). Твердий розчин, що складається з двох або кількох компонентів, має один тип ґрат (решітки розчинника) і являє собою одну фазу.

Залежно від характеру розміщення атомів розчиненого компонента в решітці розчинника розрізняють тверді розчини застосування та заміщення.

У твердих розчинах застосування атоми розчинного компонента розміщуються в міжвузлях (пустотах) кристалічної решітки розчинника. Вони утворюються при сплавленні металів з неметалами, що мають атомний радіус

менше 0,1 нм (наприклад, водень з атомним радіусом 0,046 нм, вуглець - 0,077 нм, азот - 0,071 нм). Тверді розчини застосування мають обмежену розчинність, оскільки кількість пір в решітці обмежена, а атоми основного компонента зберігаються у вузлах решітки.

У твердих розчинах заміщення атоми розчинного компонента заміщають частину атомів розчинника у його ґратах. Вони утворюються в основному при сплавленні металів з металами (іноді з неметалами), атомний радіус яких більше 0,1 нм. Тверді розчини заміщення можуть мати обмежену і необмежену розчинність.

#### **Умови утворення необмеженої розчинності:**

1. Компоненти мають однакові за типом (ізоморфні) кристалічні решітки.
2. Відмінність в атомних розмірах ( $\Delta R$ ) компонентів не перевищує 8-15%.
3. Компоненти належать до однієї і тієї ж групи Періодичної системи елементів або до суміжних родинних груп, і у зв'язку з цим мають близьку будову валентних електронних оболонок.

**Якщо хоча б одна з цих умов не виконується, компоненти розчиняються один в одному обмежено.**

### **3.2. Правило фаз (закон Гіббса)**

Фазовий склад і структура сплавів залежно від температури та концентрації компонентів зображується графічно у вигляді діаграм стану. Лінії діаграми відповідають температурам рівноваги, тобто. станом, який за цих умов має мінімум вільної енергії, що досягається при малих швидкостях нагріву або охолодження. Закономірності співіснування стійких фаз за умов рівноваги підпорядковані правилу фаз, чи закону Гіббса (Гіббс Джозайя Уїллард - американський фізик-теоретик, 1839 - 1903г.).

Правило фаз встановлює залежність між числом ступенів свободи (С), кількістю компонентів (К), фаз (Ф) та виражається рівнянням:

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

де n – зовнішні фактори: температура, тиск.

**Число ступенів свободи** – це число зовнішніх і внутрішніх факторів (температура, тиск, концентрація), які можна змінювати без зміни числа фаз, що перебувають у рівновазі.

При застосуванні правила фаз до металу чи конкретному сплаву враховується лише зовнішній чинник - температура, оскільки діаграми будують за постійного (атмосферного) тиску. У цьому випадку формула набуває вигляду:

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

По числу ступенів свободи розрізняють рівновагу:

**нонваріантне** ( $C = 0$ ) - характеризується постійним числом фаз лише за постійної температури, тобто. перетворення починається і закінчується за однієї і тієї ж температурі;

**моноваріантне** ( $C = 1$ ) - характеризується постійним числом фаз за змінної температури, тобто. перетворення протікає у певному інтервалі температур;

**диваріантне** ( $C = 2$ ) і т.д.

Розглянемо застосування правила фаз до аналізу фазового рівноваги.

**Приклад.** Побудова в координатах температура - час кривої охолодження для свинцю (рис. 3а).

При 450 °C (т. 1): свинець розплавлений,  $C_1 = 1 (Pb) - 1(Ж) + 1 = 1$ . Це означає, що з зниження температури фази залишаються незмінними, тобто. свинець в інтервалі 1-2 знаходиться у рідкому стані.

При 327°C (т. 2) починається процес кристалізації. Вона протікає при постійній температурі певний час (2 - 2'), доки зникне рідина, оскільки  $C_2 = 0$  ( $C_2 = 1 (Pb) - 2$  (рідина, кристали) + 1 = 0).

Після закінчення кристалізації свинець знаходиться в однофазному, кристалічному стані. Температура починає поступово знижуватися, т.к. число ступенів свободи на ділянці кривої охолодження 2-3 дорівнює 1. Мікроструктура металу, що закристалізувався, і його кристалічна будова показані на рис. 4а.

**Приклад.** Побудова в координатах температура - час кривої охолодження для латуні (60% Cu + 40% Zn), в якій у процесі кристалізації утворюється твердий розчин (рис. 3б).

Підрахуємо кількість ступенів свободи:

$$C_4 = 2 ( \text{Cu, Ni} ) - 1( \text{Ж} ) + 1 = 2;$$

$$C_5 = 2 ( \text{Cu, Ni} ) - 2( \text{Ж,}\alpha ) + 1 = 1;$$

$$C_6 = 2 ( \text{Cu, Ni} ) - 2( \text{Ж,}\alpha ) + 1 = 1.$$

$C_4 = 2$  - при зниженні температури та зміні концентрації сплаву зберігається його рідкий стан,

$C_5 = 1$  - ця точка відповідає початку кристалізації, вона протікає в інтервалі температур при постійному числі фаз: рідина + кристали твердого розчину,

$C_6 = 1$  - кінець кристалізації, температура знижується, будова металу не змінюється, його структура -  $\alpha$  - твердий розчин ( рис. 4б ).

### 3.3 Правило відрізків

У процесі кристалізації сплавів змінюються види фаз та струк-тур. У будь-якій двофазній області діаграми можна визначити їх склад і кількість за правилом відрізків, що складається з двох положень.

#### Визначення складу фаз.

Для того, щоб визначити склад фаз, через точку, що характеризує стан сплаву ( $t$ , концентрація) проводять горизонтальну лінію до перетину з лініями, що обмежують цю ділянку на діаграмі. Проекції точок перетину на вісь концентрацій показують склад фаз.

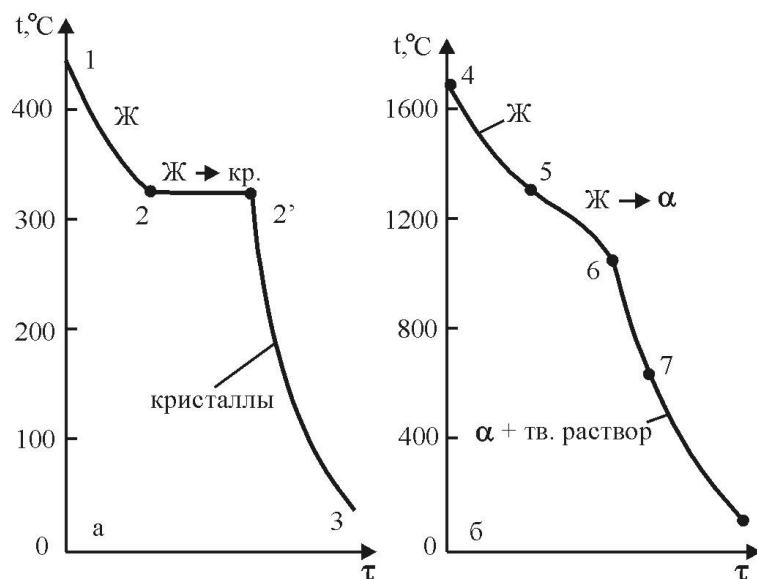


Рис. 3. Криві охолодження свинцю (а) та сплаву: 60% Cu+ 40% Ni (б)

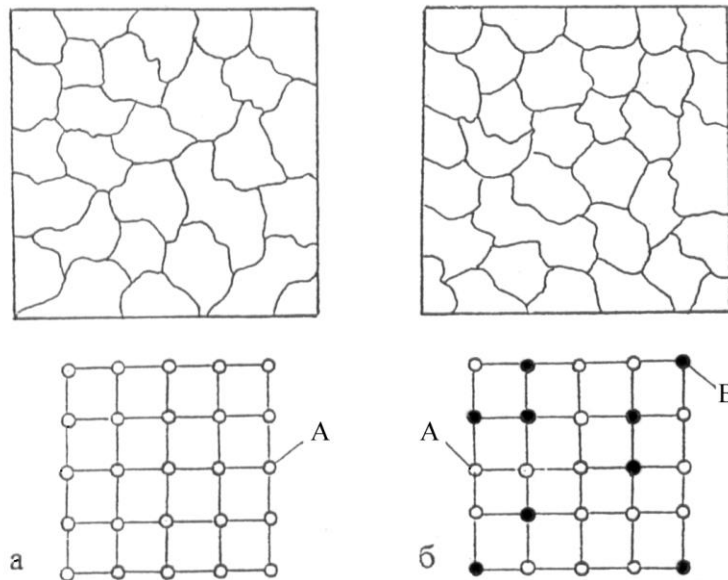


Рис.4. Мікроструктура та кристалічна будова металу (а) та твердого розчину (б)

### Визначення кількості фаз.

Для того, щоб визначити кількісне співвідношення фаз, через задану точку проводять горизонтальну лінію. Відрізки цієї лінії між заданою точкою і крапками, що визначають склад фаз, обернено пропорційні кількостям цих фаз.

**Приклад.** Визначте *склад і кількість фаз* у сплаві із вмістом 15% Cu + 85% Al за температури 580°C.

За діаграмою стану Al – Cu визначаємо, що сплав із 15% Cu при 580°C (т. 1) складається із двох фаз:  $\alpha$ -твердого розчину і рідини (рис.5) Проводимо горизонтальну лінію і отримуємо точки перетину 2 і 3.

Склад  $\alpha$  – твердого розчину – проекція точки 2 – 3% Cu + 97% Al, склад рідини – проекція точки 3 – 21% Cu + 79% Al.

Кількість фаз визначається за другим положенням правила відрізків. Для цього позначимо обсяг сплаву та кожної фази:

	Склад	Об'єм
Сплав	15%Cu	1
$\alpha$	3%Cu	x
Рідина	21%Cu	1 – x

Складемо рівняння

$$15 \cdot 1 = 3x + 21(1 - x).$$

$$\text{Кількість } \alpha (Q_\alpha) = X = \frac{21\% - 15\%(\text{відрізок1} - 3)}{21\% - 3\%(\text{відрізок2} - 3)} = 0,33 \text{ (33\%)}$$

$$\text{Кількість Ж}(Q_{\text{ж}}) = 1 - X = \frac{15\% - 3\%(\text{відрізок1} - 2)}{21\% - 3\%(\text{відрізок2} - 3)} = 0,77(77\%)$$

Величину відрізків можна уявити у відсотках, як зазначено вище, можна виміряти в мм.

**Зверніть увагу, що відрізки обернено пропорційні.** Для визначення кількості  $\alpha$  беремо відрізок 1-3, концентрація  $\alpha$ -твердого розчину визначається точкою 2.

**Приклад.** Для двох сплавів із вмістом 5%Cu та 15%Cu визначте за діаграмою Al - Cu кількість структурних складових при 60°C та схематично зобразити їх мікроструктуру (рис.5).

*Структура сплаву із вмістом 5%Cu + 95% Al* складається з двох фаз:  $\alpha$  - твердий розчин +  $\text{CuAl}_2$  (точка 4). Для визначення їх складу проводимо горизонтальну лінію, точки перетину проектуємо на вісь концентрацій. Склад  $\alpha$  - проекція точки 6: 0,2% Cu+99,8% Al, склад  $\text{CuAl}_2$  – проекція точки 7: 54%Cu + 46%Al.

**Кількість структурних складових:**

$$Q_\alpha = \frac{\text{відрізок4} - 7}{\text{відрізок6} - 7} 100\% = \frac{54\% - 5\%}{54\% - 0,2} 100 = 81\%$$

$$Q_{\text{CuAl}_2} = \frac{\text{відрізок6} - 4}{\text{відрізок6} - 7} 100\% = \frac{5\% - 0,2}{54\% - 0,2} 100\% = 9\%$$

*Структура сплаву із вмістом 15% Cu + 85% Al* складається з  $\alpha$ -твердого розчину та евтектики (точка 5). Через точку 5 проводимо горизонтальну лінію до лінії, що обмежує  $\alpha$  - твердий розчин (точка 6) та лінії евтектики (точка 8).

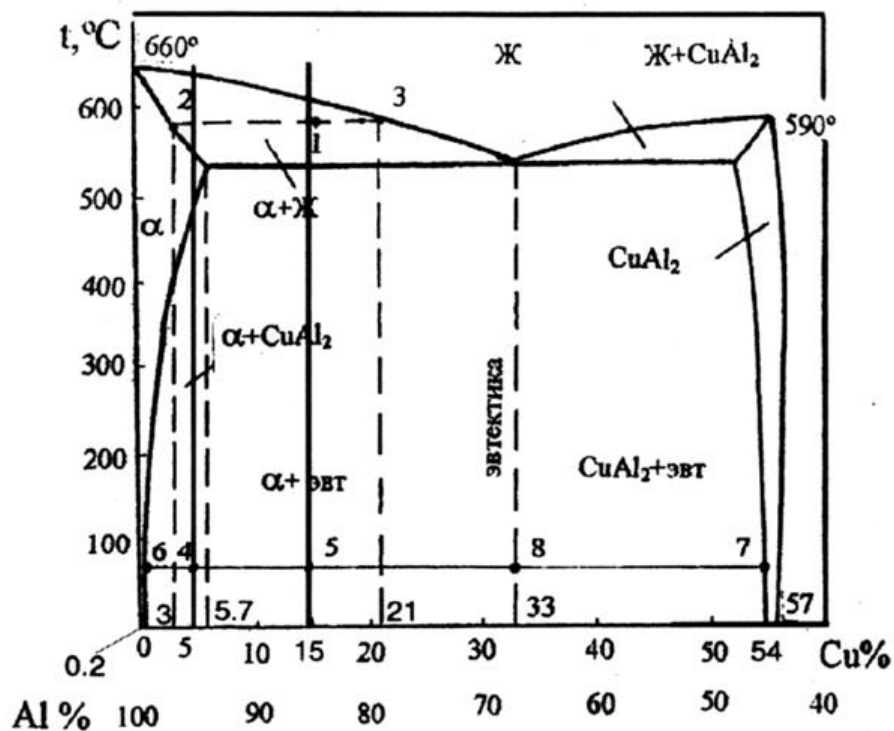


Рис. 5. Діаграма стану алюміній-мідь

Кількість структурних складових:

$$Q_{\alpha} = \frac{\text{відрізок } 5-8}{\text{відрізок } 6-8} 100\% = \frac{33\% - 15\%}{33\% - 0,2} 100\% = 59\%$$

$$Q_{\text{CuAl}_2} = \frac{\text{відрізок } 6-5}{\text{відрізок } 6-8} 100\% = \frac{15\% - 0,2}{33\% - 0,2} 100\% = 41\%$$

Структури сплавів з урахуванням кількості структурних складових показані на рис.6.

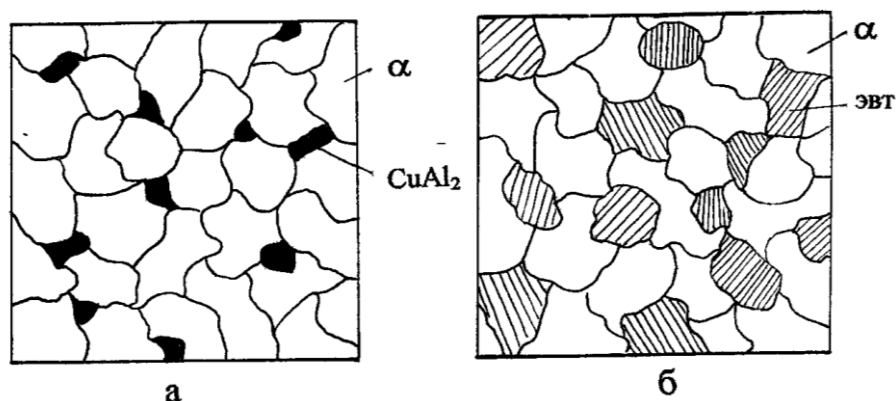


Рис.6. Схематичне зображення мікроструктури сплавів системи алюміній – мідь: а – 5% Cu, б – 15% Cu

**Завдання 5.** Визначте тип твердого розчину, що утворюється (заміщення або впровадження) і характер розчинності (обмежена, необмежена) у заданій системі. Намалуйте схему мікроструктури сплаву та кристалічні решітки розчинника та твердого розчину.

Варіанти задачі 5 – табл.6.

Вихідні дані – табл. 7.

Блок-схема рішення – рис. 7.

Таблиця 6

**Варіанти завдання 5**

Варіант	Система	Варіант	Система
1	Fe $\alpha$ - C	16	Cu – Ni
2	Ni – Cu	17	Mg – Al
3	Cu – Be	18	Mo – Ni
4	Al – Si	19	Cu – Si
5	Mo – Re	20	Fe $\gamma$ – C
6	Mo – W	21	Al – Mg
7	Mg – Cd	22	Cr – Si
8	Ti $\alpha$ – Al	23	Ti $\alpha$ - V
9	Ni – Cd	24	Fe – Cr
10	W – Mo	25	Fe $\alpha$ – B
11	Cu – Zn	26	Ti $\alpha$ – Cu
12	Au –Ag	27	Ag – Au
13	Cr – Fe	28	Cu – Al
14	Ni – Cr	29	Mg – Zr
15	Cu – Sn	30	Mg – Zn

\*Перший елемент системи - розчинник; другий - розчинний компонент.

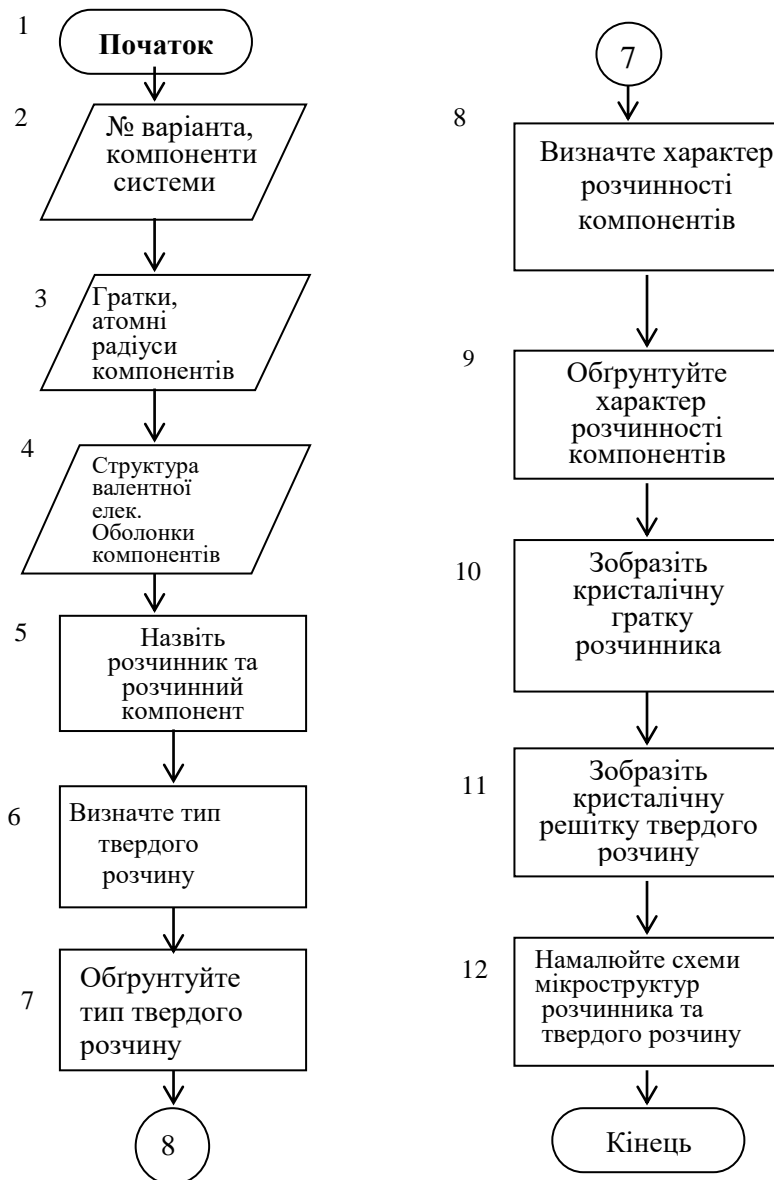


Рис. 7. Блок – схема розв'язання задачі 5

Таблиця 7

**Вихідні дані для вирішення задачі 5**

Номер елемента у Періодичній системі	Символ елемента	Структура валентних електронних оболонок	Атомний радіус, нм	Тип кристалічної гратки
4	Be	... ns <sup>2</sup>	0,105	ГПУ (Г12)
5	B	... ns <sup>2</sup> np <sup>1</sup>	0,097	Тетрагональна
6	C	... ns <sup>2</sup> np <sup>2</sup>	0,077	Гексагональна (Г6)

12	Mg	... ns <sup>2</sup>	0,160	ГПУ (Г12)
13	Al	... ns <sup>2</sup> np <sup>1</sup>	0,143	ГЦК (К12)
14	Si	... ns <sup>2</sup> np <sup>2</sup>	0,118	Кубічна
22	Ti <sub>α</sub>	... (n-1)d <sup>2</sup> ns <sup>2</sup>	0,146	ГПУ (Г12)
23	V	... (n-1)d <sup>2</sup> ns <sup>2</sup>	0,134	ОЦК (К8)
24	Cr	... (n-1)d <sup>5</sup> ns <sup>1</sup>	0,127	ОЦК (К8)
26	Fe <sub>α</sub>	... (n-1)d <sup>6</sup> ns <sup>2</sup>	0,126	ОЦК (К8)
26	Fe <sub>γ</sub>	... (n-1)d <sup>6</sup> ns <sup>2</sup>	0,126	ГЦК (К12)
28	Ni	... (n-1)d <sup>8</sup> ns <sup>2</sup>	0,123	ГЦК (К12)
29	Cu	... (n-1)d <sup>10</sup> ns <sup>1</sup>	0,128	ГЦК (К12)
30	Zn	... ns <sup>2</sup>	0,139	ГПУ (Г12)
40	Zr <sub>α</sub>	... (n-1)d <sup>2</sup> ns <sup>2</sup>	0,160	ГПУ (Г12)
42	Mo	... (n-1)d <sup>5</sup> ns <sup>1</sup>	0,130	ОЦК (К8)
47	Ag	... (n-1)d <sup>10</sup> ns <sup>1</sup>	0,144	ГЦК (К12)
48	Cd	... ns <sup>2</sup>	0,156	ГПУ (Г12)
50	Sn	... ns <sup>2</sup> np <sup>2</sup>	0,158	Тетрагональна
75	Re	... (n-1)d <sup>5</sup> ns <sup>2</sup>	0,137	ГЦК (К12)
74	W	...(n-1)d <sup>4</sup> ns <sup>2</sup>	0,141	ОЦК (К8)
79	Au	...(n-1)d <sup>10</sup> ns <sup>1</sup>	0,144	ГЦК (К12)

**Завдання 6.** Для заданого промислового сплаву по діаграмі стану опишіть формування структури в процесі кристалізації. Намалуйте графічну залежність «тип діаграми - властивості спла-ва» згідно із законом М. С. Курнакова.

Варіанти задачі 6 – табл. 8.

Блок-схема рішення – рис. 8.

Діаграми стану – рис.9-20.

## Варіанти завдання 6

Варіант	Назви сплавів та області їх застосування	Система	Зміст другого компонента	t, °C	Рисунок
1	2	3	4	5	6
I	Константан. Застосовується у вигляді дроту різного перерізу для реостатів.	Cu – Ni	40	1250	9
2	Припій ПОС-90 для паяння сталевих виробів	Pb – Sn	90	200	10
3	Припій ПК60Ц40 для паяння міді	Cd – Zn	40	300	11
4	Припій ОЦ90 для паяння алюмінію та його сплавів у приладобудуванні та радіотехніки	Sn - Zn	10	150	12
5	Бабіт. Легкоплавкий сплав для заливання вкладишів підшипників ковзання	Pb - Sb	17,5	20	13
6	Особливо легкоплавкий припій. Приладобудування, радіотехніка, електроніка.	Sn - Bi	50	50	14
7	Ливарний алюмінієвий сплав для одержання литих деталей. Автомобілебудування, авіабудування	Al - Si	7	20	15
8	Сплав для електричних розривних контактів, пускачів, реле	Cu - Ag	10	40	16
9	Деформований алюмінієвий сплав. Літо- та автомобілебудування	Al - Cu	4	20	17
10	Магнієвий сплав, що деформується. Літакобудування, приладобудування	Mg - Al	5	20	18
11	Сплав для розривних контактів. Радіоприладобудування.	Ag - Pt	30	1110	19
12	Магнієвий сплав, що деформується. Авіабудування, приладобудування	Al - Mg	6	450	20
13	Мельхіор. Застосовуються для виготовлення сіток, монет, медичного інструменту	Cu - Ni	20	1150	9
14	Припій ПОС-62 для паяння виробів із сталі, міді, латуні	Pd - Sn	62	100	10
15	Припій ПКЦ40-60 для паяння міді	Cd - Zn	60	20	11
16	Припій ОЦ-70 для паяння алюмінію та його сплавів. Приладобудування, радіотехніка	Sn - Zn	30	100	12
17	Бабіт для заливання вкладишів підшипників ковзання	Pb - Sb	10	200	13
18	Легкоплавкий припій для паяння виробів із легкоплавких металів	Sn - Bi	30	150	14

19	Ливарний алюмінієвий сплав – силумін. Автомобілебудування	Al - Si	13	400	15
20	Легкоплавкий припій ПСр-72 для паяння сталі, міді та її сплавів.	Cu - Ag	72	400	16
21	Ливарний алюмінієвий сплав. Літако- та автомобілебудування	Al – Cu	5	200	17
22	Ливарний магнієвий сплав МЛ6 для литих деталей літаків, ракет, приладів	Mg - Al	10	550	18
23	Сплав для розривних електричних контактів. Радіоприладобудування	Ag - Pt	50	800	19
24	Ливарний алюмінієвий сплав. Виливки для різних літальних апаратів	Al - Mg	10	100	20
25	Припій ПСр-50 для паяння міді та її сплавів	Cu – Ag	60	200	16
26	Жароміцний алюмінієвий сплав для деталей, що працюють до 300°C	Al - Cu	7	100	17
27	Припій ПОС-61 (треник) для паяння майже всіх металів	Pb - Sn	62	50	10
28	Ливарний алюмінієвий сплав для середніх та великих деталей блоків, картерів тощо.	Al - Si	9	200	15
29	Припій ПОС-30 для паяння майже всіх металів	Pb - Sn	30	100	10
30	Припій ОЦ-40 для паяння алюмінієвих і магнієвих сплавів	Sn – Zn	60	50	12



Рис. 8. Блок - схема розв'язання задачі 6

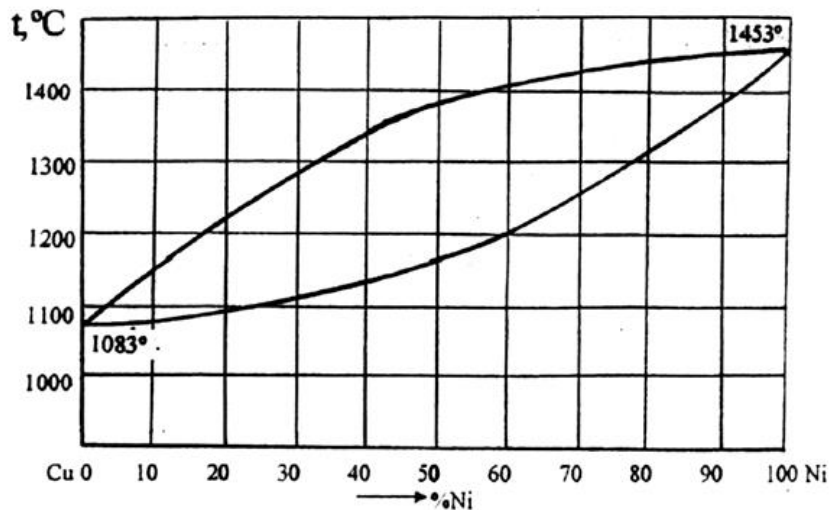


Рис. 9. Діаграма стану мідь - нікель

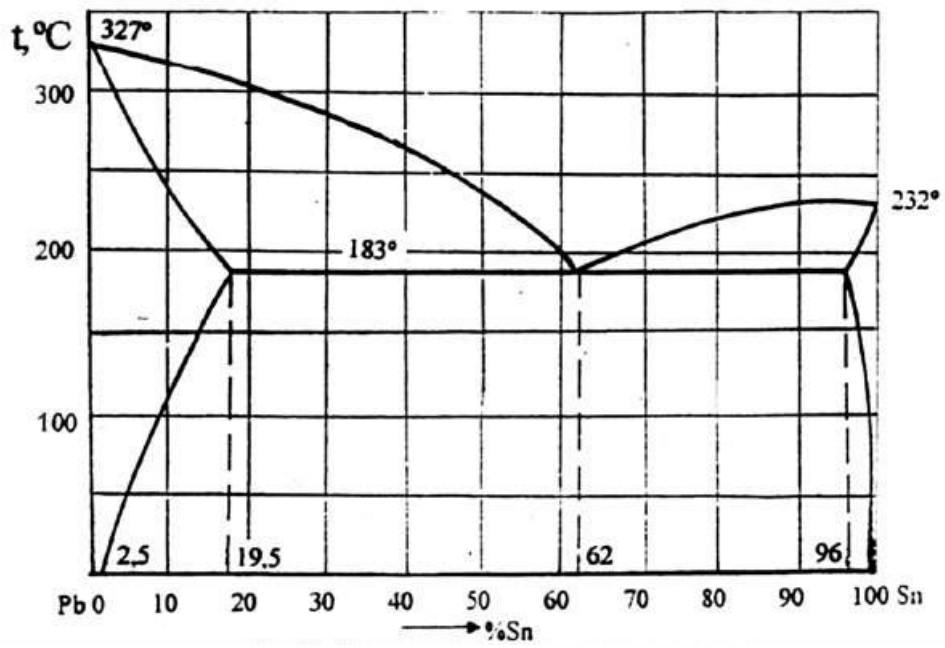


Рис. 10. Діаграма стану свинець - олово

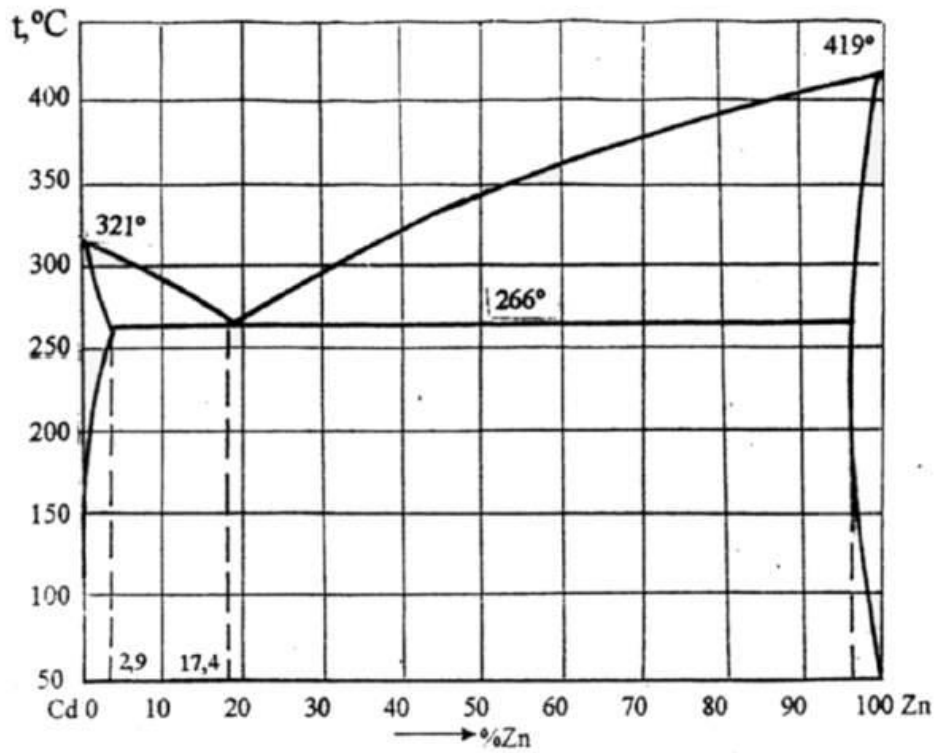


Рис. 11. Діаграма стану кадмій - цинк

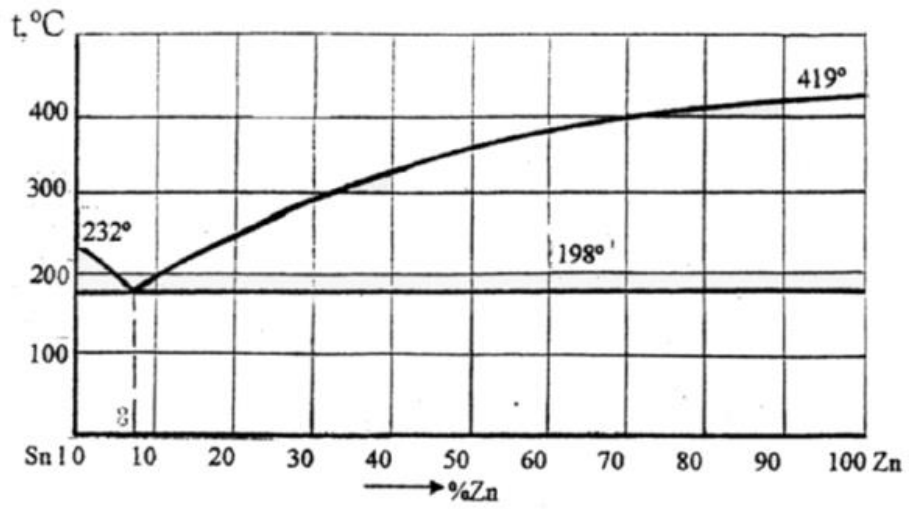


Рис. 12. Діаграма стану олово – цинк

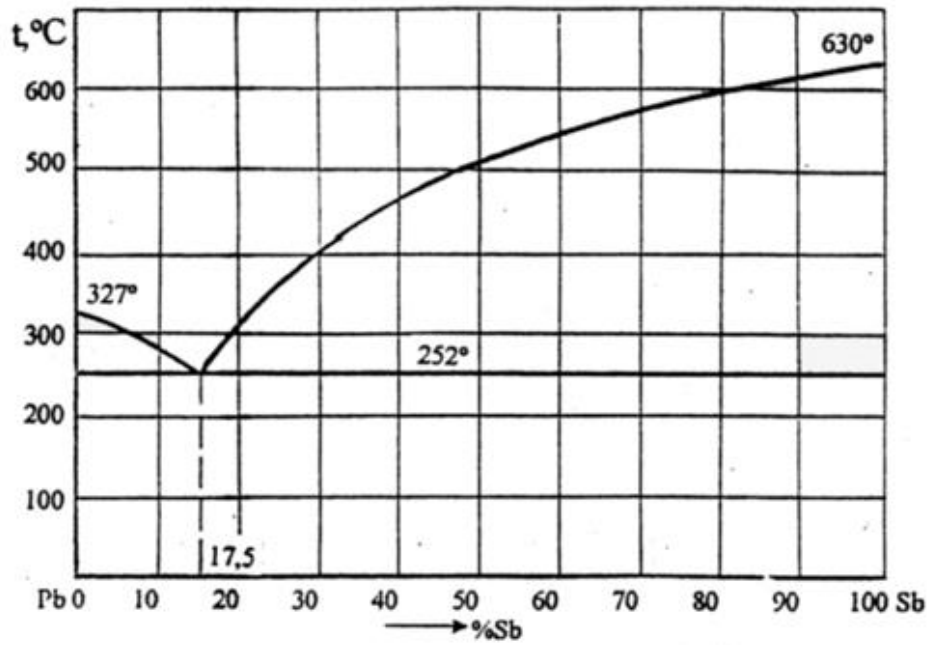


Рис. 13. Діаграма стану свинець – сурма

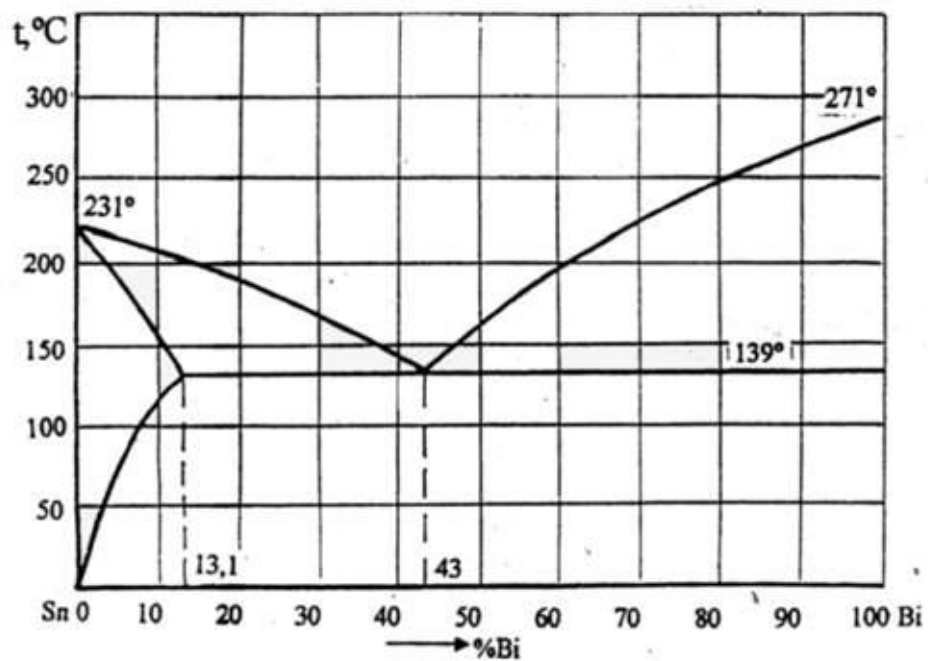


Рис. 14. Діаграма стану олово - вісмут

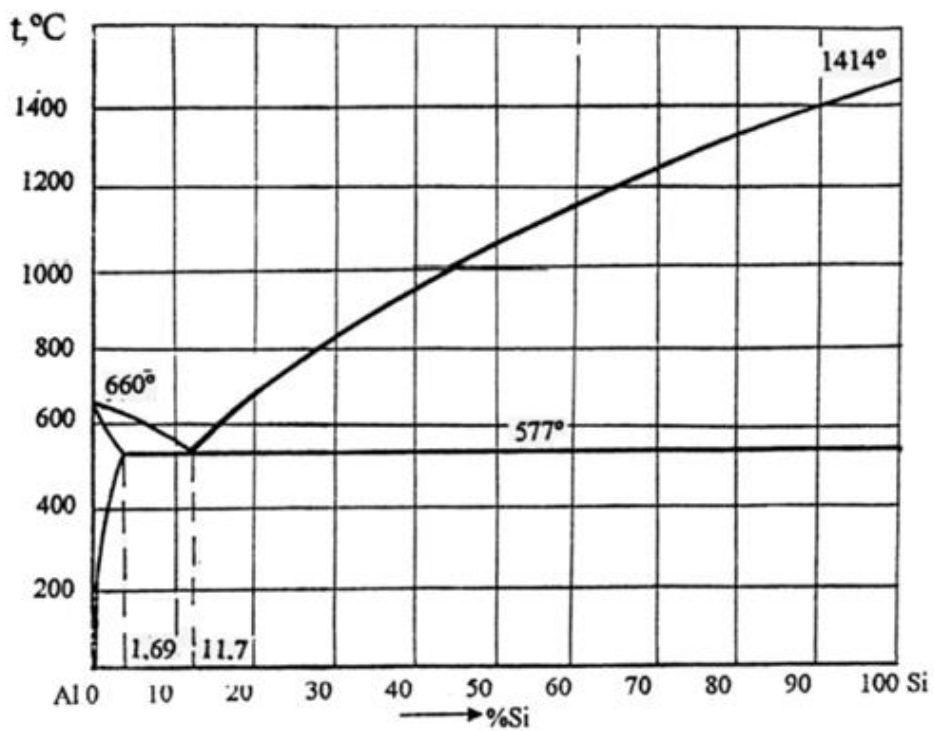


Рис. 15. Діаграма стану алюміній – кремній

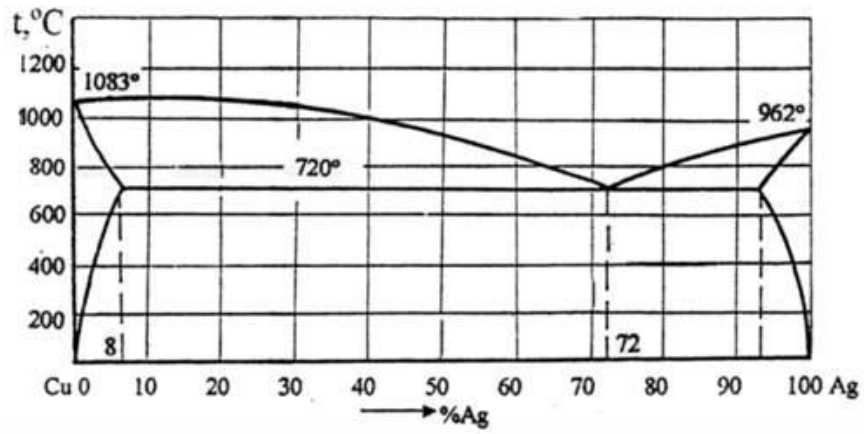


Рис. 16. Діаграма стану мідь – срібло

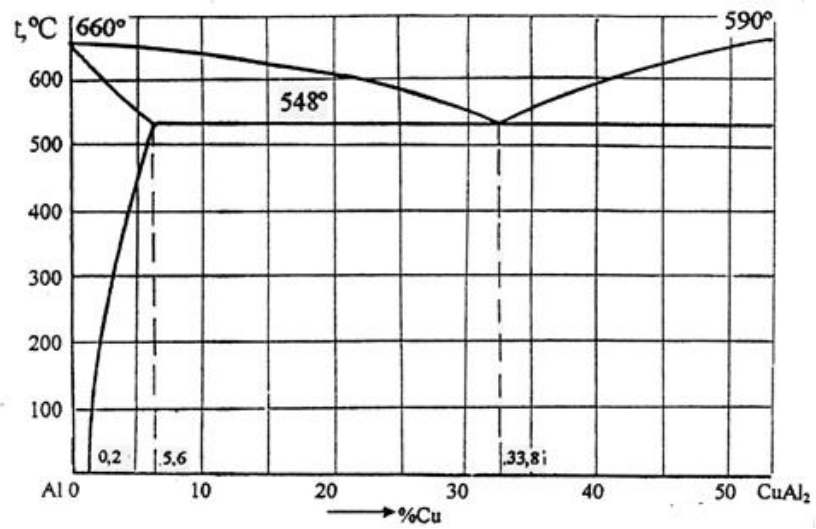


Рис. 17. Діаграма стану алюміній – мідь

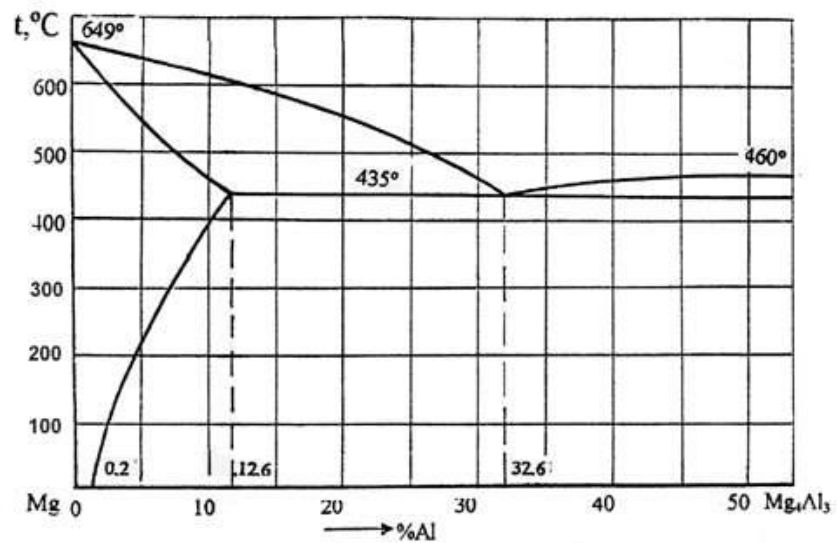


Рис. 18. Діаграма стану магній - алюміній

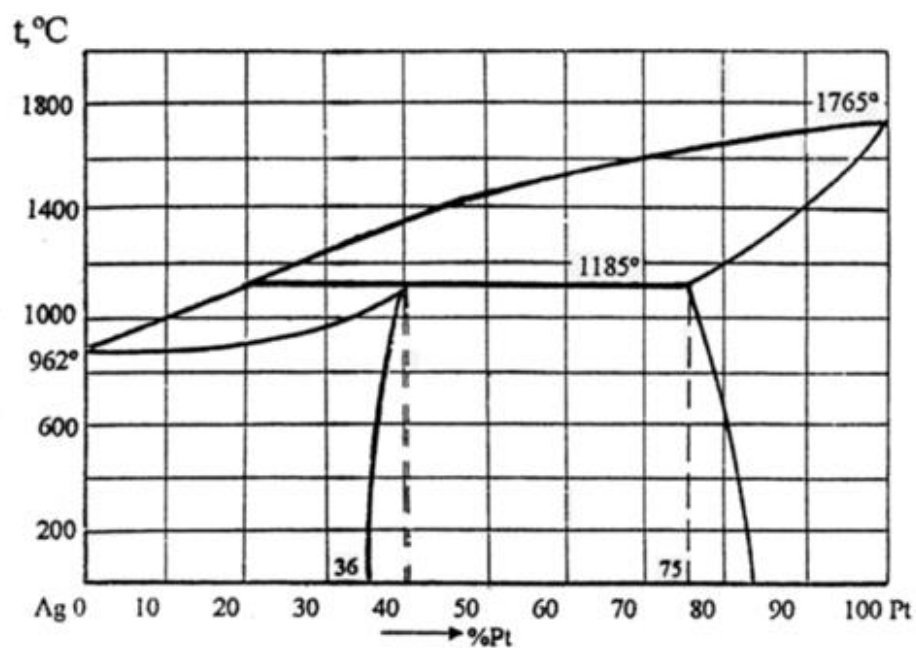


Рис. 19. Діаграма стану срібло – платина

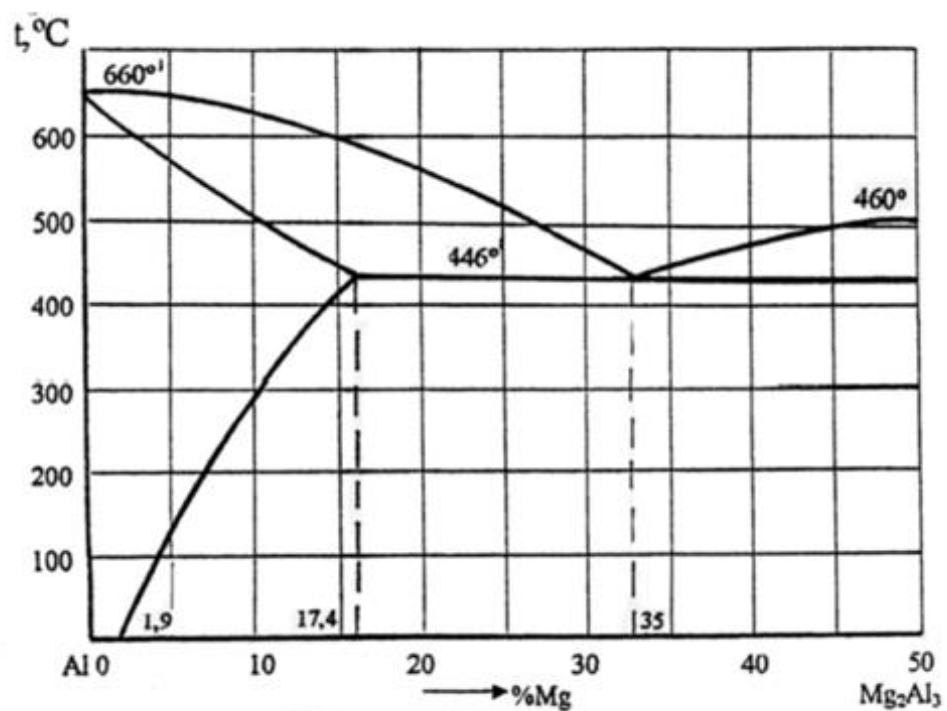


Рис.20. Діаграма стану алюміній - магній

## ЛІТЕРАТУРА

1. Хільчевський В.В., Кондратюк С.Є., Степаненко В.О., Лопатько К.Г. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів. – Київ: «Либідь», 2002.-326 с.
2. Кузін О.А., Яцюк Р.А. Металознавство та термічна обробка металів. Підручник - Львів: Афіша, 2002.- 304 с.
3. Є.Г. Афтандіянц, О.В. Зазимко, К.Г. Лопатько. Матеріалознавство: Підручник. К.: Вища освіта, 2012.- с 548.
4. Матеріалознавство: підручник / С.С. Дяченко, І. В. Дощечкіна, А.О. Мовлян, Е. І. Плешаков; за ред. проф. С.С. Дяченко. – Харків : ХНАДУ, 2007. - 440 с.
5. Пахолюк А.П. Основи матеріалознавства і конструкційні матеріали : посібник / А.П. Пахолюк, О.А. Пахолюк. – Львів : Світ, 2005. – 172 с., іл.

Навчальне видання

## КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни

«МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО»

*(для здобувачів вищої освіти спеціальностей  
273 «Залізничний транспорт», 274 «Автомобільний транспорт»)  
(Частина 1)*

*(Електронне видання)*

Укладачі:

БІЛОШИЦЬКИЙ Микола Володимирович

ТАТАРЧЕНКО Галина Олегівна

БІЛОШИЦЬКА Наталія Іванівна

Техн. редактор

Н.І. Білошицька

Оригінал - макет

М.В. Білошицький

Підписано до друку \_\_\_\_\_

Формат 60×84/16. Папір типограф. Гарнітура Times.

Друк офсетний. Умов. друк. арк. \_\_\_\_ . Обл.-вид. арк. \_\_\_\_ .

Тираж \_\_\_\_ прим. Вид. № \_\_\_\_ . Замовл. № \_\_\_\_ . Ціна договірна.

Видавництво Східноукраїнського національного університету  
імені Володимира Даля

Адреса видавництва: м. Київ, вул. Іоанна Павла II буд 17, Телефон: +38(050) 218  
04 78, факс (064 52) 4 03 42  
E-mail: [vidavnictvosnu.ua@gmail.com](mailto:vidavnictvosnu.ua@gmail.com)