

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Кафедра машинознавства  
дисципліна

## «Матеріалознавство та технологія матеріалів»

Лекції - 15 години (8)  
Лабораторна робота - 30 годин (15)  
МКР - 1  
Залік

**Матеріалознавство** - це наука, що вивчає будову і властивості матеріалів і встановлює зв'язок між їх складом, будовою і властивостями і поведінку матеріалів в залежності від впливу навколишнього середовища.

Властивості технічних матеріалів формуються в процесі їх виготовлення. При однаковому хімічному складі, але різною технологією виготовлення, утворюється різна структура, і внаслідок, властивості.

Матеріалознавство можна віднести до тих розділів **фізики і хімії**, які займаються вивченням властивостей матеріалів.

**Мета дисципліни** - вивчення закономірностей формування структури і властивостей матеріалів методами їх зміцнення для ефективного використання в техніці.

### Лекція 1.

#### Якість і властивості матеріалів

1. Якість матеріалів і їх оцінка.
2. Методи вивчення структури металів.
3. Механічні властивості матеріалів.
4. Фізичні, хімічні та експлуатаційні властивості матеріалів
5. Технологія матеріалів та технологічні властивості.
6. Загальні технічні умови.
7. Технологічні випробування.

Всі матеріали по хімічній основі діляться на дві основні групи - **металеві і неметалеві**.

До металевих відносяться метали і їх сплави.

У свою чергу, металеві матеріали діляться на **чорні і кольорові**.

До чорних відносяться залізо і сплави на його основі - **сталі і чавуни**.

Всі інші метали відносяться до **кольорових**.

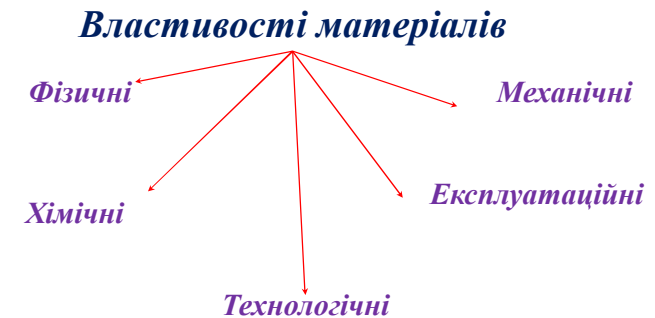
## Якість матеріалів і їх оцінка

**Якістю матеріалу** називається сукупність його властивостей, які задовольняють певні потреби відповідно до призначення.

За кількістю властивостей, що характеризуються, показники якості поділяються на **одиничні** і **комплексні**.

**Одиничний** показник якості характеризується тільки однією властивістю (наприклад, твердість).

**Комплексний** показник характеризується кількома властивостями продукції. (Оцінка хімічного складу, механічних властивостей, мікро- і макроструктури).



Методи контролю якості можуть бути найрізноманітніші: **візуальний огляд, органолептичний аналіз і інструментальний контроль**.

За стадіями визначення якості розрізняють контроль попередній, проміжний і остаточний.

При **попередньому** контролі оцінюється якість вихідної сировини,

при **проміжному** - дотримання встановленого технологічного процесу.

**Остаточний** контроль визначає якість готової продукції, її придатність і відповідність стандартам. Придатною вважається продукція, що повністю відповідає вимогам стандартів і технічних умов. Продукція, що має дефекти і відхилення від стандартів, вважається браком.

### Фізичні властивості

До фізичних властивостей матеріалів відносяться густина, температура плавлення, електропровідність, теплопровідність, магнітні властивості, коефіцієнт температурного розширення і ін.

**Густиною** називається відношення маси однорідного матеріалу до одиниці його об'єму. Ця властивість важлива при використанні матеріалів в авіаційній і ракетній техніці, де створюються конструкції, що повинні бути легкими і міцними.

**Температура плавлення** - це така температура, при якій метал переходить з твердого стану в рідкий. Чим нижче температура плавлення металу, тим легше протікають процеси його плавлення, зварювання і тим вони дешевші.

### Фізичні властивості

**Електропровідність** називається здатність матеріалу добре і без втрат на виділення тепла проводити електричний струм. Хорошою електропровідністю характеризуються метали і їх сплави, особливо мідь і алюміній.

**Теплопровідність** - це здатність матеріалу переносити теплоту від більш нагрітих частин тіл до менш нагрітих.

**Магнітними властивостями**, тобто здатністю добре намагнічуватися, характеризуються тільки залізо, нікель, кобальт і їхні сплави.

**Коефіцієнти лінійного і об'ємного розширення** характеризують здатність матеріалу розширюватися при нагріванні. Цю властивість важливо враховувати при будівництві мостів, прокладання залізничних і трамвайних колій і т.д.

### Хімічні властивості

Хімічні властивості характеризують схильність матеріалів до взаємодії з різними речовинами і пов'язані зі здатністю матеріалів протистояти шкідливій дії цих речовин.

Здатність металів і сплавів чинити опір дії різних агресивних середовищ називається **корозійна стійкість**, а аналогічна здатність неметалічних матеріалів — **хімічна стійкість**.

### Експлуатаційні властивості

До експлуатаційних (службових) властивостей відносяться жаростійкість, жароміцність, зносостійкість, стійкість до радіації, корозійна і хімічна стійкість та ін.

**Жаростійкість** характеризує здатність металевого матеріалу чинити опір окисленню в газовому середовищі при високій температурі.

**Жароміцність** характеризує здатність матеріалу зберігати механічні властивості при високій температурі.

**Зносостійкість** - це здатність матеріалу чинити опір руйнуванню його поверхневих шарів при терті.

**Радіаційна стійкість** характеризує здатність матеріалу чинити опір дії ядерного опромінення.

### Технологія матеріалів

Технологія матеріалів являє собою сукупність знань про способи виробництва матеріалів і засоби їх переробки з метою виготовлення виробів різного призначення.

Метали і сплави виробляють шляхом виплавки при високих температурах з різних металевих руд. Галузь промисловості, що займається виробництвом металів і сплавів, називається **металургією**.

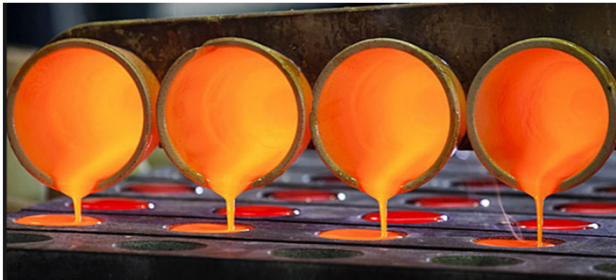
Готові вироби і заготовки для подальшої обробки з металів і сплавів виробляються шляхом **лиття** або **обробки тиском**.

Сплави, призначені для отримання деталей литтям, називаються **ливарними**.

## Технологія матеріалів

**Ливарне виробництво** займається виготовленням виробів шляхом заливання розплавленого металу в спеціальну форму, внутрішня порожнина якої має конфігурацію виробу.

Розрізняють лиття в **піщані форми** (в землю) і **спеціальні способи** лиття.



## Технологія матеріалів

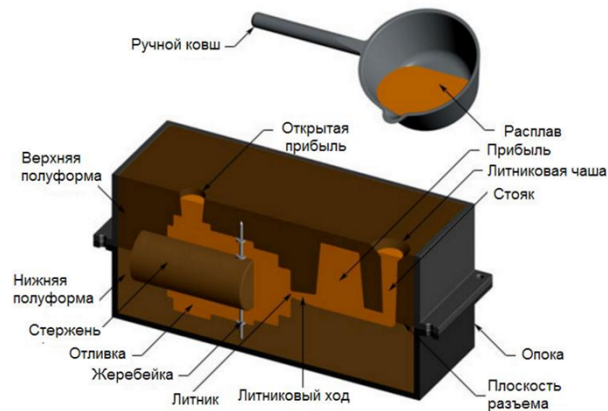
До спеціальних способів відноситься лиття в кокіль, лиття під тиском, відцентрове лиття, лиття в оболонкові форми, лиття по виплавленим моделям.

Кокіль - це спеціальна металева форма.



## Технологія матеріалів

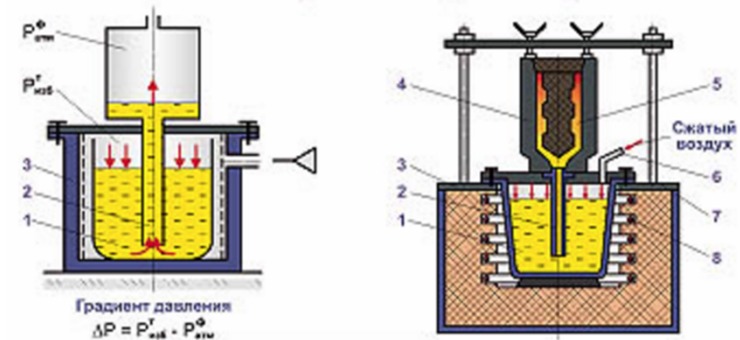
**Піщані ливарні форми** виготовляються шляхом ущільнення формувальних сумішей, основою яких є кварцовий пісок.



## Технологія матеріалів

Лиття під тиском

**СХЕМА И УСТАНОВКА ДЛЯ ЛИТЬЯ ПОД НИЗКИМ ДАВЛЕНИЕМ**



- 1 - тигель с расплавом металла; 2 - металлопровод;
- 3 - камера тигля; 4 - металлическая форма; 5 - отливка;
- 6 - воздухопровод; 7 - герметизирующая крышка; 8 - нагреватели.



### Технологія матеріалів та технологічні властивості

**Волочіння** полягає в протягуванні заготовки через отвір.

Волока в розрізі і їх геометрія:  
1 - сталеві волокна;  
2 - філера з твердого сплаву

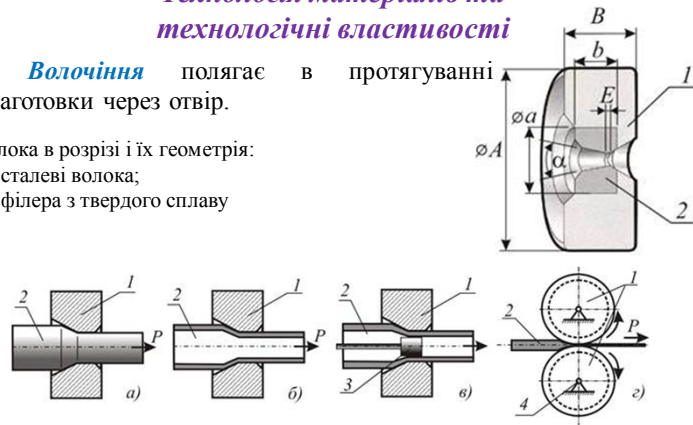
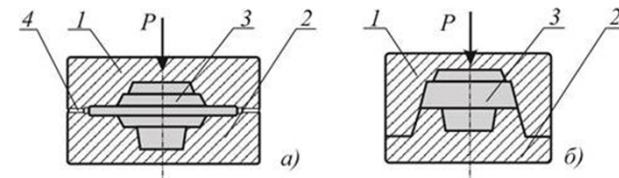


Схема процесів волочіння: дроти і прутків круглої перетину (а); труб без стоншення стінки (б); труб з стоншенням стінки (в); волочіння через неприводні волокна (г): 1 - волокна, 2 - вихідна заготовка, що протягується, 3 - оправка, 4 - вузли опор роликів волокна

### Технологія матеріалів та технологічні властивості

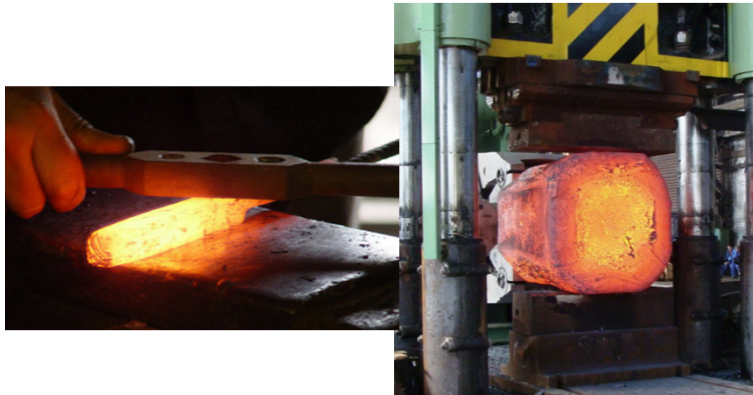
**Штампуванням** отримують деталі за допомогою спеціального інструменту - штампа, що представляє собою металеву роз'ємну форму, всередині якої розташована порожнина, відповідна конфігурації деталі.



Штампи для гарячого об'ємного штампування: відкритий штамп (а); закритий штамп (б): 1 - верхня частина штампа, 2 - нижня частина штампа, 3 - струмок штампа, 4 - зазор для виходу облою

### Технологія матеріалів та технологічні властивості

**Ковкою** називається процес вільного деформування металу ударами молота або тиском преса.



### Технологія матеріалів та технологічні властивості

Сплави, призначені для отримання деталей обробкою тиском, називають **сплавами, що деформуються**.

**Зварюванням** називається технологічний процес отримання нероз'ємних з'єднань матеріалів шляхом встановлення міжатомних зв'язків між зварюваними частинами при їх нагріванні або пластичному деформуванні або спільній дії того й іншого.

Зварюванням з'єднують однорідні та різнорідні метали і їх сплави, метали з деякими неметалевими матеріалами (керамікою, графітом, склом), а також пластмаси.

### *Технологія матеріалів та технологічні властивості*

Заключною стадією виготовлення виробів часто є **обробка різанням**, яка полягає в знятті з заготовки ріжучим інструментом шару матеріалу у вигляді стружки.

В результаті цього заготовка набуває правильної форми, точні розміри, необхідну якість поверхні.

### *Технологічні властивості*

Технологічні властивості визначають здатність матеріалів піддаватися різним видам обробки.

**Ливарні властивості** характеризуються здатністю металів і сплавів в розплавленому стані добре заповнювати порожнину ливарної форми і точно відтворювати її обриси (вологотекучість), величиною зменшення обсягу при затвердінні (усадка), схильністю до утворення тріщин і пор, схильністю до поглинання газів в розплавленому стані.

### *Технологічні властивості*

**Ковкість** - це здатність металів і сплавів піддаватися різним видам обробки тиском без руйнування.

**Зварювальність** визначається здатністю матеріалів утворювати міцні зварні з'єднання.

**Оброблюваність різанням** визначається здатністю матеріалів піддаватися обробці ріжучим інструментом.

### *Методи механічних випробувань*

**Статичні випробування на розтягнення.** Цими випробуваннями визначають межі пропорційності, пружності, міцності і пластичності металів.

**Методи визначення твердості.** Визначення твердості набуло широкого застосування в виробничих умовах, являючи собою найбільш простий і швидкий спосіб визначення механічних властивостей.

**Визначення ударної в'язкості.** Крім статичних випробувань вироби піддають випробуванням дією ударних (динамічних), знакозмінних навантажень і навантаженнях при високих температурах.

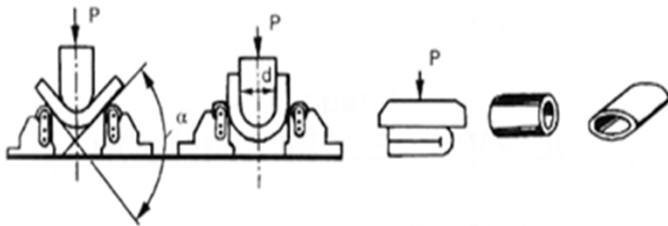
### Методи механічних випробувань

**Визначення опору втоми.** Багато деталей машин в процесі роботи, крім впливу статичних навантажень, піддаються знакозмінних (циклічним) навантажень, які змінюються за величиною або напрямком або й за величиною, і за напрямком.

**Випробування при високих і низьких температурах.** Багато деталей машин працюють в умовах впливу статичних навантажень при підвищених температурах. Це деталі парових і газових турбін, хімічної, нафтової апаратури і т. д.

### Технологічні випробування.

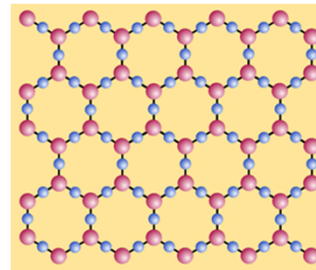
У ряді випадків для якісної або порівняльної оцінки технологічних властивостей металу користуються технологічними пробами. Технологічні проби показують здатність металу зазнавати певних деформацій, що аналогічні отриманим в конкретних умовах роботи. Такими пробами є проби на вигин, навивання, видавлювання, осадку.



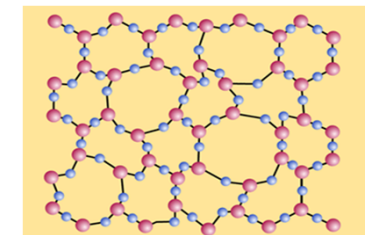
## Лекція 2. *Метали та сплави*

1. Будова металів.
  - 1.1. Кристалічні і аморфні речовини.
  - 1.2. Кристалічні решітки.
  - 1.3. Дефекти кристалічної структури.
  - 1.4. Кристалізація металів.
  - 1.5. Поліморфні перетворення в металах, магнітні перетворення.
2. Металеві сплави.
  - 2.1. Типи сплавів. Класифікація сплавів твердих розчинів.
  - 2.2. Діаграма стану
  - 2.3. Порядок побудови діаграм.
  - 2.4. Діаграма стану сплавів, компоненти якої утворюють механічні суміші (Діаграма стану I роду).
  - 2.5. Діаграма стану сплавів, компоненти якої необмежено розчинні в рідкому і твердому станах (II роду).
  - 2.6. Діаграма стану сплавів, компоненти якої необмежено розчинні в рідкому стані і обмежено в твердому (III роду).
  - 2.7. Діаграма стану сплавів, компоненти якої в твердому вигляді утворюють стійкі хімічні сполуки (IV роду).
  - 2.8. Зв'язок між діаграмами станів і властивостями двокомпонентних сплавів.

### Кристалічні і аморфні речовини.



У **кристалічних тілах** атоми розташовані в строго певній послідовності.  
(Кухонна сіль, кварц, цукровий пісок, метали і сплави)



В **аморфних тілах** атоми розташовані хаотично, тобто в безладді, без будь-якої системи.  
(Скло, клей, віск, каніфоль)

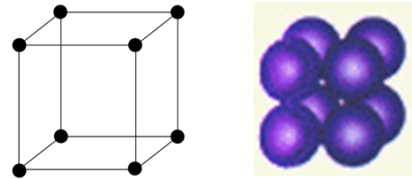


## Основні відомості про метали та сплави

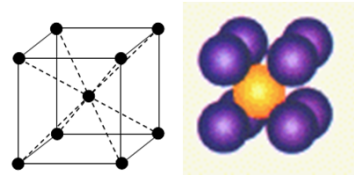
Будову металів і їх сплавів, що характеризується закономірним, геометрично правильним розташуванням атомів в просторі, називають кристалічною решіткою.

### Типи кристалічних решіток :

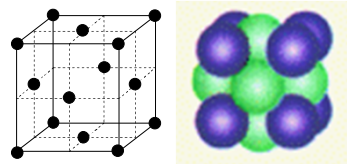
• проста кубічна



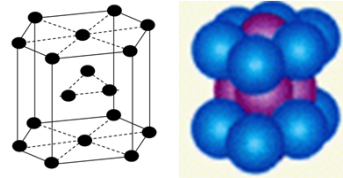
• кубічна об'ємно-центрована (ОЦК)



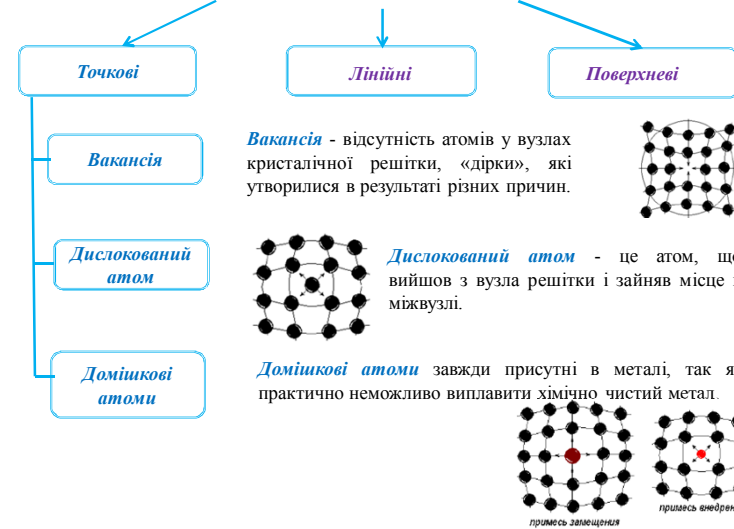
• кубічна гранецентрована (ГЦК)



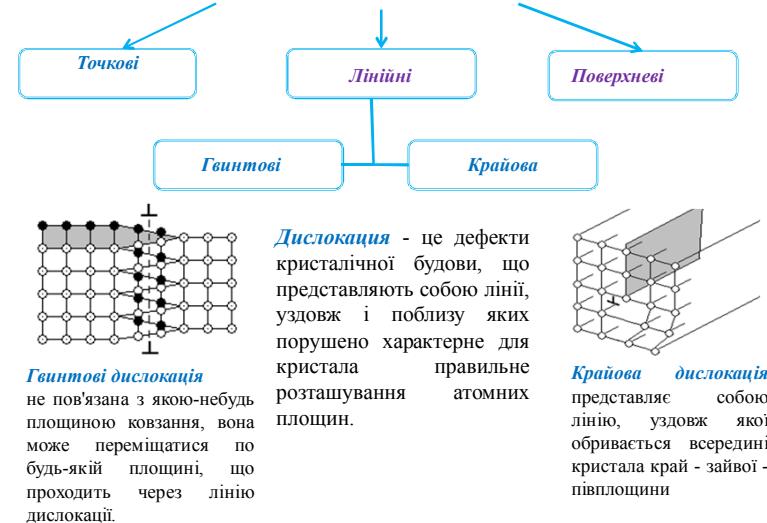
• гексагональна щільно упакована (ГЩУ)



### Дефекти кристалічної структури



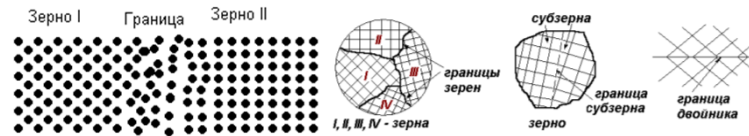
### Дефекти кристалічної структури



### Дефекти кристалічної структури

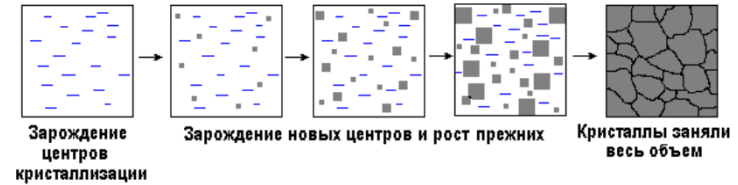


**Поверхневі дефекти** - порушення кристалічної будови, яка має велику протяжність в двох вимірах і протяжністю лише в кілька міжатомних відстаней в третьому вимірі. До поверхневих дефектів відносять границі зерен, фрагментів, блоків



## КРИСТАЛІЗАЦІЯ МЕТАЛІВ

При відповідному зниженні температури в рідкому металі починають утворюватися кристалики - **центри кристалізації** або **зародки**.

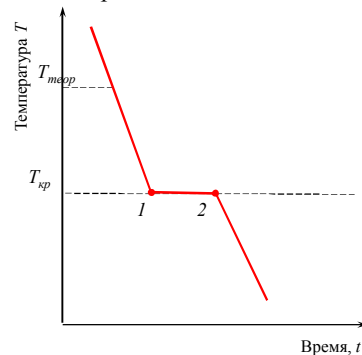


Процес кристалізації складається з **утворення центрів кристалізації** і **росту кристалів** з цих центрів.

Процес кристалізації спочатку прискорюється, поки зіткнення кристалів це не починає перешкоджати їх росту. Обсяг рідкої фази, в якій утворюються кристали зменшується. Після кристалізації 50% обсягу металу, швидкість кристалізації буде сповільнюватися.

## КРИСТАЛІЗАЦІЯ МЕТАЛІВ

**Кристалізація** - це процес утворення ділянок кристалічної решітки в рідкій фазі і зростання кристалів з утворених центрів.



Крива охолодження чистого металу

Процес переходу металу з рідкого стану в кристалічний можна зобразити кривими в координатах **час - температура**.

$T_{теор}$  - теоретична температура кристалізації;  
 $T_{кр}$  - фактична температура кристалізації.

т. 1: охолоджується метал в рідкому стані, процес супроводжується плавним зниженням температури.  
 ділянка 1 - 2: відбувається **виділення тепла**, яке називається **прихованою теплою кристалізації**.

т. 2: температура починає знижуватися, метал охолоджується в твердому стані.

## Поліморфні перетворення в металах

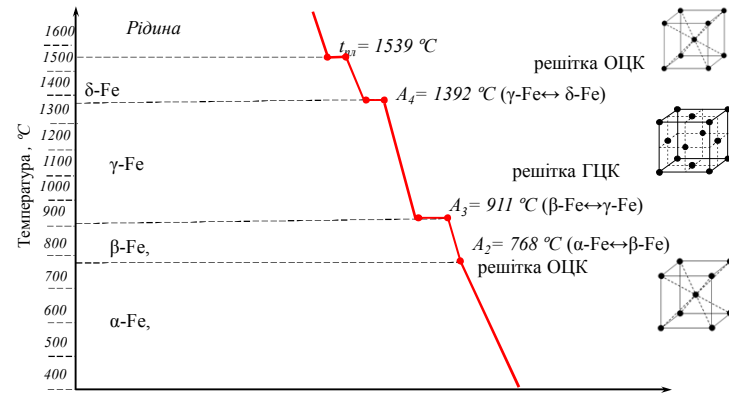
Існування одного і того ж металу (речовини) в декількох кристалічних формах носить назву **поліморфізм** або **алотропію**.

Різні кристалічні форми однієї речовини називаються **поліморфними** або **алотропічними модифікаціями**.

Алотропічні форми позначаються грецькими буквами  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  і т.д., які в вигляді індексів додають до символу, що позначає елемент.  
 $\alpha$ -Fe,  $\beta$ -Fe,  $\gamma$ -Fe або  $Fe_{\alpha}$

Температура, при якій здійснюється перехід з однієї модифікації в іншу, носить назву **температури поліморфного** (алотропічного) перетворення.

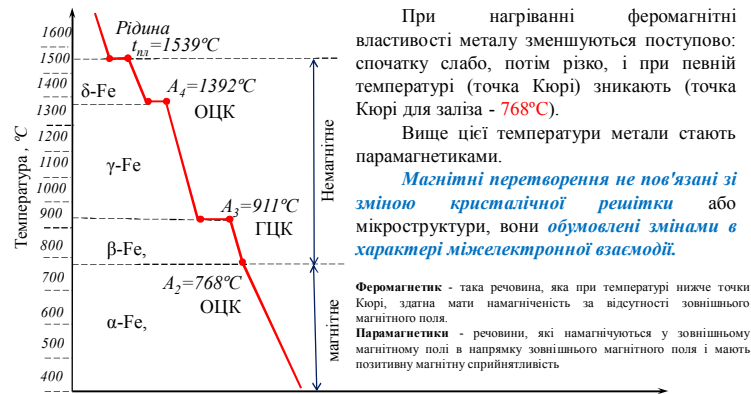
## Поліморфні перетворення в металах



## Магнітні перетворення

Деякі метали намагнічуються під дією магнітного поля. Після видалення магнітного поля вони мають залишковий магнетизм. Це явище вперше виявлено на залізі і отримало назву **феромагнетизму**.

До феромагнетиків відносяться залізо, кобальт, нікель і деякі ін. метали.



При нагріванні феромагнітні властивості металу зменшуються поступово: спочатку слабо, потім різко, і при певній температурі (точка Кюрі) зникають (точка Кюрі для заліза -  $768\text{ °C}$ ).

Вище цієї температури метали стають парамагнетиками.

**Магнітні перетворення не пов'язані зі зміною кристалічної решітки** або мікроструктури, вони **обумовлені змінами в характері міжелектронної взаємодії**.

**Феромагнетик** - така речовина, яка при температурі нижче точки Кюрі, здатна мати намагніченість за відсутності зовнішнього магнітного поля.

**Парамагнетик** - речовини, які намагнічуються у зовнішньому магнітному полі в напрямку зовнішнього магнітного поля і мають позитивну магнітну сприйнятливість.

## ТИПИ СПЛАВІВ

**Чисті метали** мають *низьку міцність* і *не забезпечують необхідних* механічних і технологічних *властивостей*, тому найбільш широко в техніці (промисловості) **використовують сплави**.

**Металевим сплавом** називається речовина, отримана сплавом двох і більше вихідних речовин, переважно металевих, і що характеризується металевими властивостями.

**Сплави** - важливі речовини, одержувані сплавом або спіканням двох або кількох компонентів.

**Компоненти** - речовини, що утворюють систему. В якості компонентів виступають чисті речовини і хімічні сполуки.

Залежно від числа компонентів сплави можуть бути двох-, трьох- або багатокомпонентними.

**Компоненти** в сплаві, що знаходяться *в рідкому вигляді*, перебувають *завжди в атомарному стані*, утворюючи необмежений *розчин з однаковими хімічними властивостями* по всьому об'єму (однофазна система).

У **сплавах компоненти** можуть *по-різному взаємодіяти* один з одним, *утворюючи* ті чи інші **фази**.

## ТИПИ СПЛАВІВ

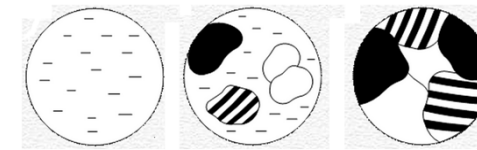
**Фаза** - це однорідна частина сплаву, що має *певний склад, властивості, тип кристалічної решітки і границю розділу*, при переході якої *властивості стрибкоподібно змінюються*.

*фази можуть бути рідкі, тверді і газоподібні*.

Сукупність фаз, що знаходяться в рівновазі при певних зовнішніх умовах (тиск температура), називають системою.

Залежно від кількості компонентів, що входять до складу сплаву, сплави бувають двокомпонентними і багатокомпонентними.

Інші елементи, що входять до складу сплаву, які коригують властивості сплавів є легуючими елементами.



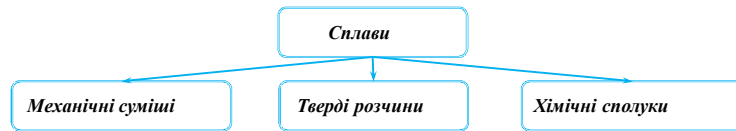
Види систем сплавів: *a* - однофазний; *b* - трифазний; *v* - двофазний;

- рідкий сплав;

- кристали компонента А; - кристали компонента Б

## ТИПИ СПЛАВІВ

При кристалізації сплавів можуть утворюватися такі основні тверді фази.



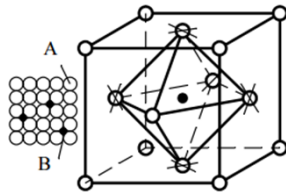
**Тверді розчини** називають фази, в яких *один з компонентів* сплаву зберігає свою кристалічну решітку, а атоми іншого або інших компонентів *розташовуються в кристалічній решітці першого компонента* (розчинника), змінюючи її розміри (періоди).

Тверді розчини мають *металевий тип зв'язків*.

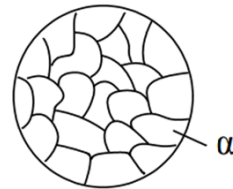
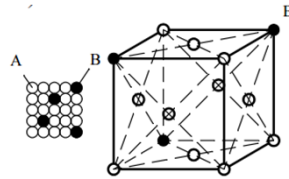
За характером розподілу атомів розчиненої речовини в кристалічній решітці розчинника розрізняють тверді розчини: заміщення, впровадження.

## Класифікація сплавів твердих розчинів

**Тверді розчини заміщення** утворюються при заміні атомів в кристалічній решітці розчинника атомами розчиненого компонента.



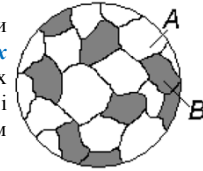
**Тверді розчини впровадження** утворюються тільки в тому випадку, якщо впроваджувані атоми мають малі розміри і проникають в пори кристалічної решітки розчинника.



Тверді розчини позначаються малими буквами грецького алфавіту

## ТИПИ СПЛАВІВ

**Механічні суміші** - це суміші, які утворюються при сплаві компонентів з великим розходженням атомних радіусів, значною різницею електромеханічних властивостей, коли їх взаємна розчинність дуже мала і вони не вступають в хімічну реакцію з утворенням **хімічної сполуки**.



При цих умовах сплав буде складатися з кристалів і вихідних компонентів.

Механічна суміш може бути утворена:

- В результаті кристалізації, коли з рідини одночасно кристалізуються компоненти А і В (евтектика - рідина  $\rightarrow$  А + В)

**Евтектика** (від грецького слова "eutectos" - легко плавиться) - суміш компонентів, які плавляться при певній, мінімальній температурі.

- В результаті кристалізації, коли з рідини одночасно кристалізуються тверді розчини а і б (евтектика - р  $\rightarrow$  а + б);

- В результаті розпаду твердого розчину на дві тверді фази (евтектоїд -  $\gamma \rightarrow$  а + АnВm).

**Евтектоїд** [eutectoid] - суміш двох стабільних твердих фаз, утворених одночасно з твердого розчину при евтектоїдному розпаді і має постійний для даної системи склад (напр. перліт в сталі).

## ТИПИ СПЛАВІВ

Сплави **хімічні сполуки** утворюються між елементами, що значно відрізняються за будовою і властивостями, якщо сила взаємодії між різнорідними атомами більше, ніж між однорідними.

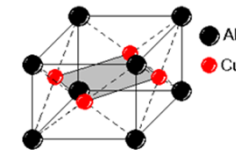
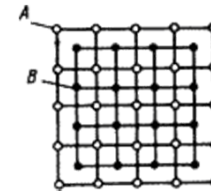
**Особливості цих сплавів:**

Постійність складу, тобто сплав утворюється при певному співвідношенні компонентів, хімічна сполука позначається АnВm /

Утворюється специфічна, що відрізняється від решіток елементів складових хімічної сполуки, кристалічна решітка з правильним упорядкованим розташуванням атомів

Яскраво виражені індивідуальні властивості

Сталість температури кристалізації, як у чистих компонентів



## КРИСТАЛІЗАЦІЯ СПЛАВІВ

*Кристалізація сплавів* підпорядковується *тим самим закономірностям*, що і кристалізація *чистих металів*. Необхідною умовою є прагнення системи перейти в стан з мінімумом вільної енергії.

У сплавах твердих станів, *мають місце процеси перекристалізації*, обумовлені *алотропічними перетвореннями* компонентів сплаву, *розпадом твердих розчинів, виділенням* з твердих розчинів *вторинних фаз*, коли розчинність компонентів в твердому стані *змінюється зі зміною температури*.

Ці перетворення називають *фазовими перетвореннями в твердому стані*.

При перекристалізації в твердому стані утворюються центри кристалізації і відбувається їх зростання.

Процеси кристалізації сплавів вивчаються по діаграмах стану.

## ДІАГРАМА СТАНУ

*Діаграма стану* - це графічне зображення фазового стану сплавів в залежності від температури і концентрації компонентів в умовах рівноваги.

Компоненти в сплаві позначають символами їх елементів.

Діаграма стану дозволяє:

- Визначити для кожного сплаву, які фази, при яких температурах знаходяться в рівновазі;
- Встановити склад і кількісне співвідношення фаз, що знаходяться в рівновазі ;
- Передбачити приблизно структуру сплаву, а іноді визначити кількісне співвідношення структурних складових.

## ПОРЯДОК ПОБУДОВИ ДІАГРАМ

Існують 4 типи діаграм подвійних сплавів в рівноважному стані:

1. Діаграма стану I роду.

Діаграма стану сплавів, що утворюють механічні суміші з чистих компонентів.

2. Діаграма стану II роду.

Діаграма стану сплавів з необмеженою розчинністю компонентів в твердому стані.

3. Діаграма стану III роду

Діаграма стану сплавів, компоненти якої необмежено розчинні в рідкому стані і обмежено в твердому.

4. Діаграма стану IV роду

Діаграма стану сплавів, компоненти яких утворюють хімічні сполуки.

## ПОРЯДОК ПОБУДОВИ ДІАГРАМ

Для побудови діаграм стану, особливо для визначення температур затвердіння сплаву, **використовується термічний аналіз.**

Для вивчення перетворень в сплаві в твердому стані використовують методи фізико-хімічного аналізу:

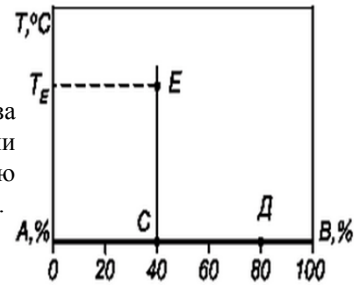
- Мікроаналіз;
- Рентгеноструктурний;
- та ін.

### ПОРЯДОК ПОБУДОВИ ДІАГРАМ

Діаграма двокомпонентного сплаву будується в двох вимірах: температура - концентрація.

Вісь ординат показує зміну температури і кожна точка на осі (наприклад, точка  $E$ ) відповідає певному фазовому стану розглянутого сплаву при певній температурі ( $T_E$ ).

Діаграми стану будуються за експериментальними даними термічного аналізу і дослідженню структур сплавів в твердому стані.



### ПОРЯДОК ПОБУДОВИ ДІАГРАМ

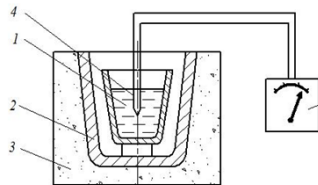
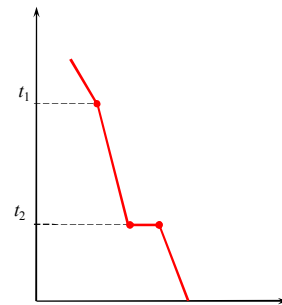


Схема установки для побудови кривих охолодження: 1 - розплавлений метал (сплав), 2 - тигель, 3 - піч, 4 - термопара, 5 - мілівольметр



При температурі  $t_1$  починається кристалізація сплаву, а при температурі  $t_2$  закінчується.

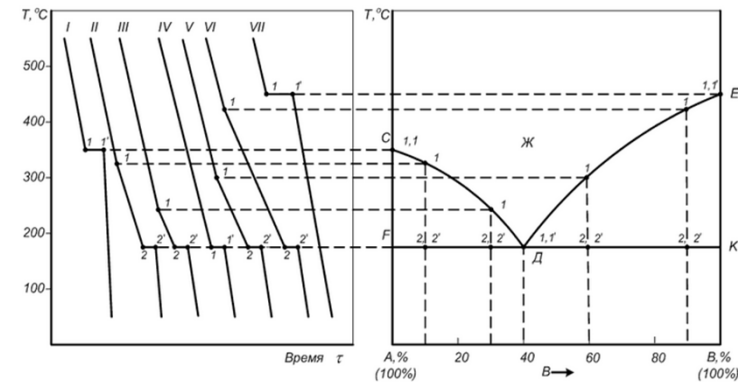
Ці температури називаються **критичними температурами** або **критичними точками**.

### ПОРЯДОК ПОБУДОВИ ДІАГРАМ

#### Температура початку і кінця кристалізації сплавів

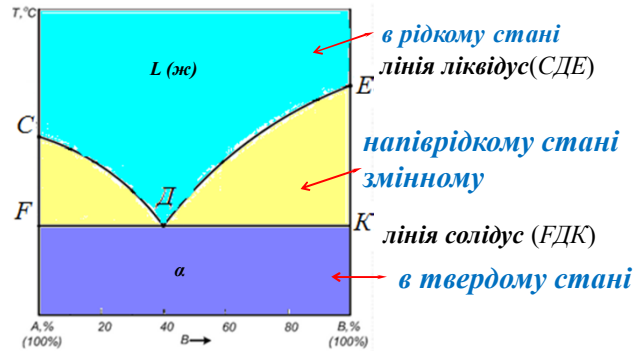
номер сплаву	склад сплаву	Температура кристалізації	
		Початку $t_1$ , °C	Кінця $t_2$ , °C
1	100 % A	350	350
2	90 % A + 10 % B	325	170
3	70 % A + 30 % B	240	170
4	60 % A + 40 % B	170	170
5	50 % A + 50 % B	300	170
6	10 % A + 90 % B	420	170
7	100 % B	450	450

### ПОРЯДОК ПОБУДОВИ ДІАГРАМ



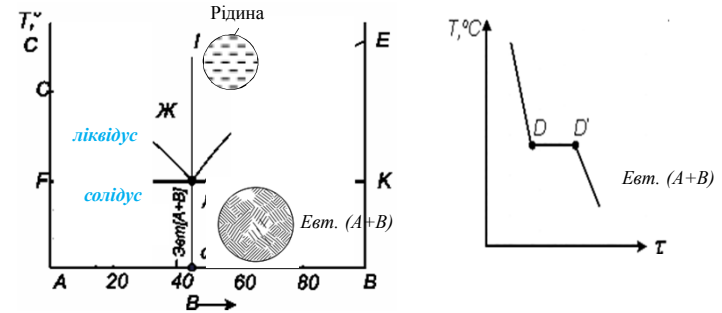
Верхні точки кривих ( $I, I'$ ) відповідають температурам **початку затвердіння сплавів** і називаються температурами ліквідусу (з грец. - рідкий). Нижні точки ( $2, 2'$ ) відповідають температурам **кінця затвердіння** і називають **температури солідусу** (з грец. - твердий).

**ПОРЯДОК ПОБУДОВИ ДІАГРАМ**



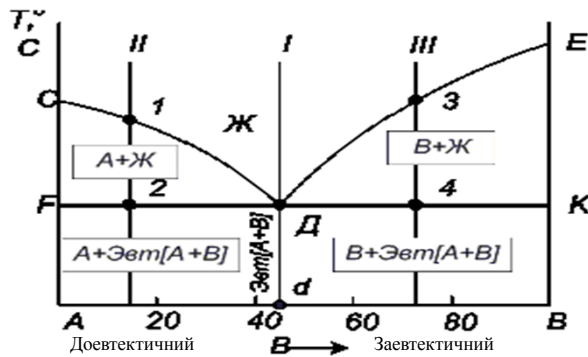
Вище температур, що утворюють лінію *ліквідус*, всі сплави даної системи знаходяться *в рідкому стані*, а *нижче лінії солідус* - *в твердому*. При температурах *між цими лініями* сплави знаходяться *в напіврідкому стані*, тобто *в рідкому розплаві знаходяться тверді фази*.

*Діаграма стану сплавів, компоненти якої утворюють механічні суміші (діаграма стану I роду)*



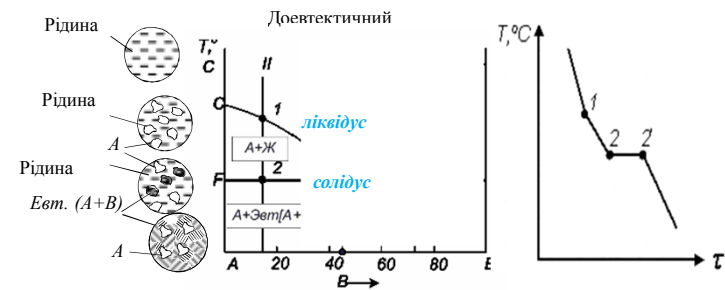
**Евтектика** утворюється при строго визначеному кількісному співвідношенні компонентів

*Діаграма стану сплавів, компоненти якої утворюють механічні суміші (діаграма стану I роду)*

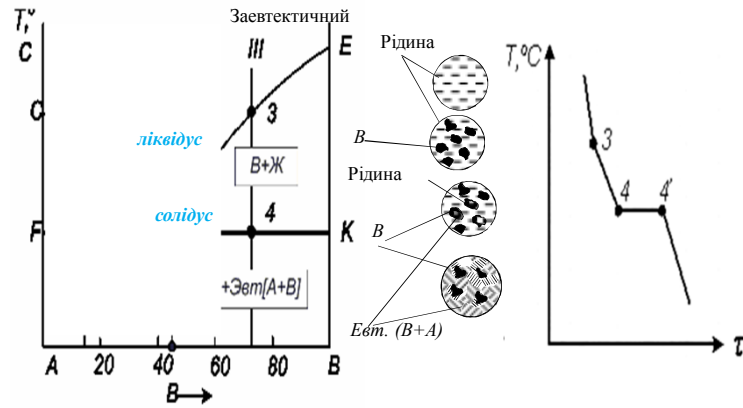


Компоненти: *A і B*; фази: рідина *Ж*, кристали компонента *A* і кристали компонента *B*.  
Лінія *СДЕ* - лінія ліквідус, лінія *ФДК* - лінія солідус.

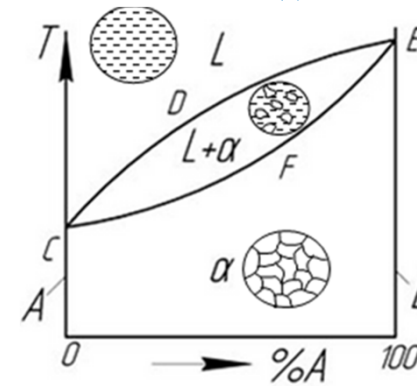
*Діаграма стану сплавів, компоненти якої утворюють механічні суміші (діаграма стану I роду)*



Діаграма стану сплавів, компоненти якої утворюють механічні суміші (діаграма стану I роду)



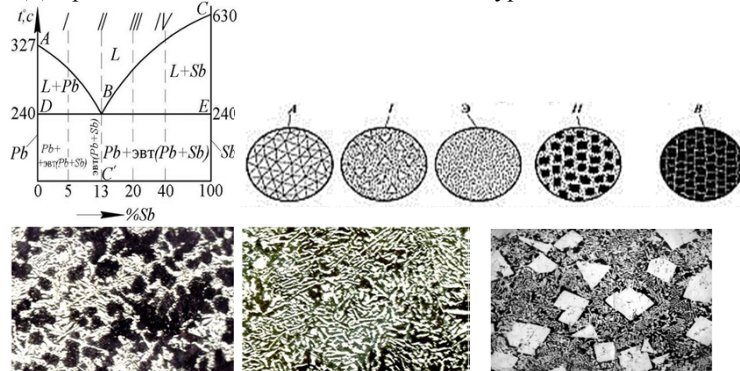
ДІАГРАМА СТАНУ СПЛАВІВ, КОМПОНЕНТИ ЯКОЇ НЕОБМЕЖЕНО РОЗЧИННІ В РІДКОМУ І ТВЕРДОМУ СТАНАХ (II РОДУ)



Однофазні області на діаграмі:  
 1) рідина L - вище лінії ліквідус CDE;  
 2) твердий розчин  $\alpha$  - нижче лінії солідус CFE.

Діаграма стану сплавів, компоненти якої утворюють механічні суміші (діаграма стану I роду)

Діаграма станів сплавів системи свинець-сурма



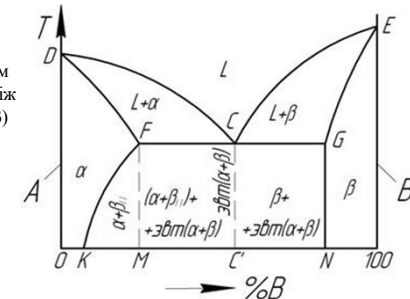
Мікроструктура доевтектичного сплаву «свинець-сурма»,  $\times 250$  (Pb - 94%, Sb - 9%).  
 Первинні кристали свинцю і евтектика

Мікроструктура евтектичного сплаву «свинець-сурма»,  $\times 250$  (Pb - 87%, Sb - 13%)

Мікроструктура заевтектичного сплаву «свинець-сурма»,  $\times 250$  (Pb - 70%, Sb - 30%)  
 Первинні крист. сурми і евтектика

ДІАГРАМА СТАНУ СПЛАВІВ, КОМПОНЕНТИ ЯКОЇ НЕОБМЕЖЕНО РОЗЧИННІ В РІДКОМУ СТАНІ І ОБМЕЖЕНО В ТВЕРДОМУ (III РОДУ)

Компоненти сплавів:  
 компонент A і компонент B;  
 фази: рідкий розчин L (Ж), компоненти розчиняються одна в одній з утворенням твердих розчинів  $\alpha$  (B в A) і  $\beta$  (A в B), між якими утворюється евтектика евт ( $\alpha + \beta$ )



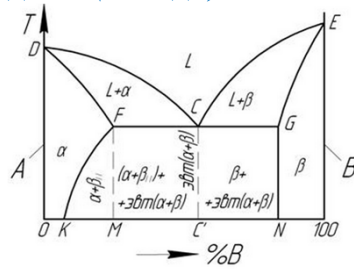
Однофазні області на діаграмі:  
 1) рідина L - вище лінії ліквідус DCE;  
 2) тв. розчин  $\alpha$  - область ODFK0;  
 3) тв. розчин  $\beta$  - область NGE-100-N.



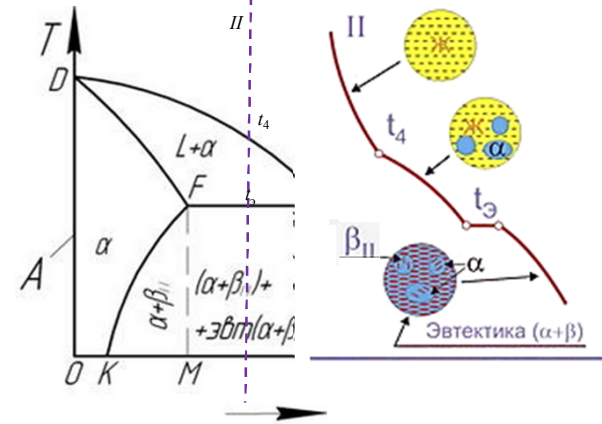
**ДІАГРАМА СТАНУ СПЛАВІВ, КОМПОНЕНТИ ЯКОЇ НЕОБМЕЖЕНО РОЗЧИННІ В РІДКОМУ СТАНІ І ОБМЕЖЕНО В ТВЕРДОМУ (ІІІ РОДУ)**

Кристали  $\beta$ , що виділилися з твердого розчину, називаються **вторинними кристаллами** і часто позначаються символом  $\beta_{II}$  на відміну від первинних  $\beta$ -кристалів ( $\beta_1$ ), що виділяються з рідини.

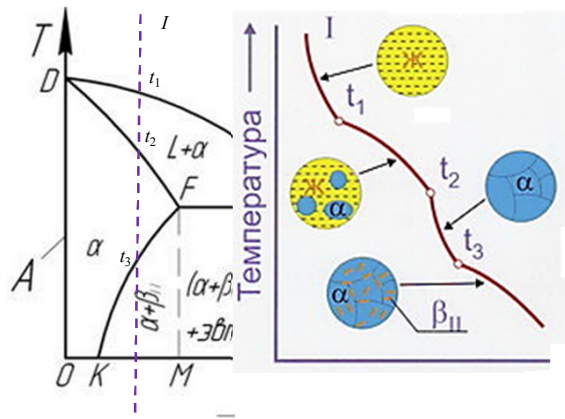
Процес виділення вторинних кристалів з твердої фази носить назву **вторинної кристалізації** на відміну від процесу первинної кристалізації, коли кристали (первинні) утворюються в рідкій фазі.



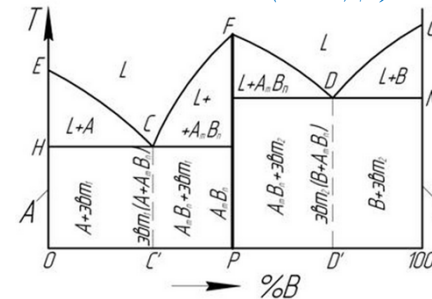
**ДІАГРАМА СТАНУ СПЛАВІВ, КОМПОНЕНТИ ЯКОЇ НЕОБМЕЖЕНО РОЗЧИННІ В РІДКОМУ СТАНІ І ОБМЕЖЕНО В ТВЕРДОМУ (ІІІ РОДУ)**



**ДІАГРАМА СТАНУ СПЛАВІВ, КОМПОНЕНТИ ЯКОЇ НЕОБМЕЖЕНО РОЗЧИННІ В РІДКОМУ СТАНІ І ОБМЕЖЕНО В ТВЕРДОМУ (ІІІ РОДУ)**



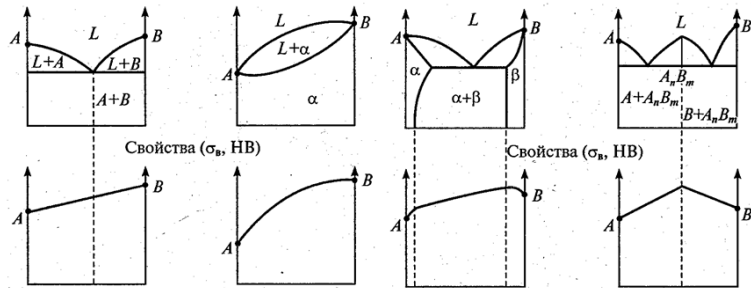
**ДІАГРАМА СТАНУ СПЛАВІВ, КОМПОНЕНТИ ЯКОЇ В ТВЕРДОМУ ВИГЛЯДІ УТВОРЮЮТЬ СТІМКІ ХІМІЧНІ СПОЛУКИ (ІV РОДУ)**



- Однофазні області цієї діаграми:
- 1) рідина L - вище лінії ликвидус ECFDG;
  - 2) компонент A - лінія ONE;
  - 3) компонент B - лінія 100-N-G;
  - 4) хімічна сполука  $AmBn$  - лінія PF.

- Структурні складові сплавів цієї системи і їх області на діаграмі:
- 1) кристали A - лінія ONE;
  - 2) кристали B - лінія 100-N-G;
  - 3) кристали  $AmBn$  - лінія PF;
  - 4) евтектика евт1 (A +  $AmBn$ ) - лінія CC'.
  - 5) евтектика евт2 ( $AmBn$  + B) - лінія DD'.

#### 4. ЗВ'ЯЗОК МІЖ ДІАГРАМАМИ СТАНІВ І ВЛАСТИВОСТЯМИ ДВОКОМПОНЕНТНИХ СПЛАВІВ



#### 4. ЗВ'ЯЗОК МІЖ ДІАГРАМАМИ СТАНІВ І ВЛАСТИВОСТЯМИ ДВОКОМПОНЕНТНИХ СПЛАВІВ

1. При утворенні механічної суміші властивості змінюються прямолинійно і їх значення знаходяться в інтервалі між властивостями чистих компонентів (рис. а).
2. При утворенні твердих розчинів властивості змінюються по плавним кривим (рис. б).
3. При утворенні обмежених твердих розчинів характер зміни властивостей стає більш складним. В області однофазних твердих розчинів  $\alpha$  і  $\beta$  вони змінюються по плавним кривим, в двофазних - за прямолинійним законом (рис. в).
4. При утворенні хімічної сполуки властивості змінюються різко - стрибком. Максимум або мінімум на кривій зміни властивостей відповідає точці хімічної сполуки. Ця точка перелому, відповідна хімічній сполуці, називається сингулярною точкою.

По діаграмах стану можна визначити технологічні властивості сплавів.

Чим більше відстань між лініями ліквідусу і солідусу, тим більше інтервал кристалізації і тим більше схильність сплавів до ліквіації і утворення усадочної пористості.

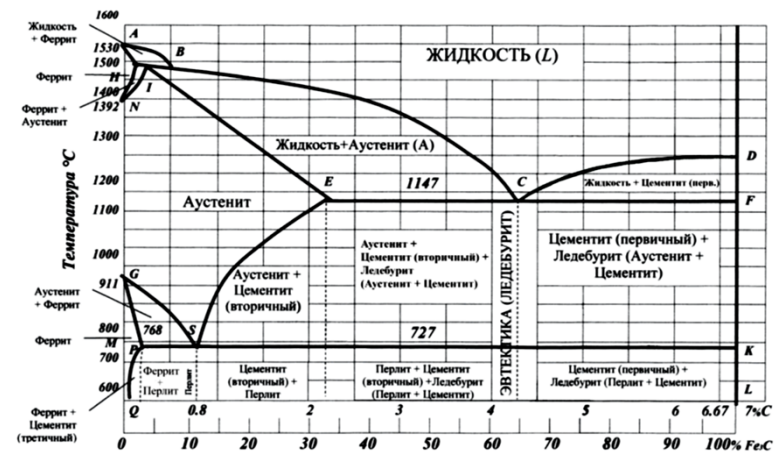
Кращими ливарними властивостями характеризуються евтектичні сплави. Ці ж сплави краще обробляються різанням. Однофазні сплави - тверді розчини - краще деформуються в холодному і гарячому стані.

## Лекція 1.3.

### ДІАГРАМА ФАЗОВОГО СТАНУ СПЛАВІВ «ЗАЛІЗО-ВУГЛЕЦЬ»

1. Фази і двофазні структури в сплавах системи залізо-вуглець.
2. Залізо і його сплави.
3. Визначення сплавів і чавунів.
4. Класифікація сталей за структурою в рівноважному стані.
5. Конструкційні та інструментальні вуглецеві сталі.
6. Класифікація чавунів.

#### КОМПОНЕНТИ І ФАЗИ В СИСТЕМІ "ЗАЛІЗО-ВУГЛЕЦЬ"

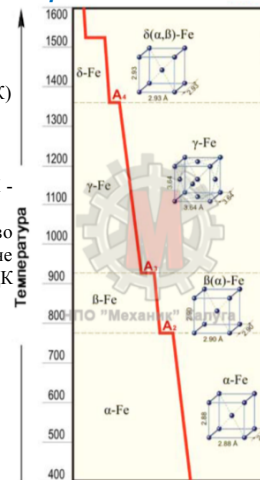


### КОМПОНЕНТИ І ФАЗИ В СИСТЕМІ "ЗАЛІЗО-ВУГЛЕЦЬ"

Залізо (Fe) - метал сріблясто-білого кольору з  $T_{пл} - 1539^{\circ}\text{C}$ . Має дві поліморфні модифікації:  
 -  $\alpha$  - залізо ( $\text{Fe}_{\alpha}$ ) з об'ємно-центрованою кубічною (ОЦК) граткою, що існує до  $911^{\circ}\text{C}$  і вище  $1392^{\circ}\text{C}$ ;  
 -  $\gamma$ - залізо ( $\text{Fe}_{\gamma}$ ) з гранецентрованою кубічною граткою, що існує в інтервалі  $911^{\circ}\text{C}-1392^{\circ}\text{C}$ .

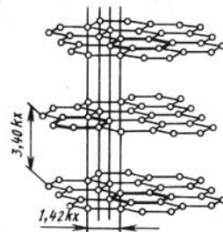
Іноді високотемпературну модифікацію заліза з ОЦК - граткою позначають як  $\delta$  - залізо ( $\text{Fe}_{\delta}$ ).

До температури  $768^{\circ}\text{C}$  (Точка Кюрі) залізо феромагнітне (магнітне), а вище - стає парамагнітним (не магнітне). Прийнято позначати парамагнітне залізо з ОЦК - граткою як  $\beta$ -залізо ( $\text{Fe}_{\beta}$ ).



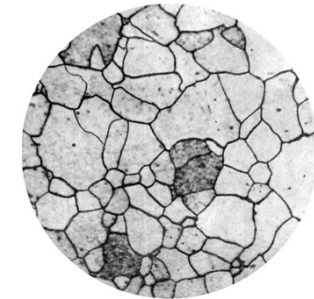
### КОМПОНЕНТИ І ФАЗИ В СИСТЕМІ "ЗАЛІЗО-ВУГЛЕЦЬ"

Вуглець - неметал, зазвичай існує у вигляді модифікації графіту, але може знаходитися у вигляді метастабільною модифікації - алмазу.  $T_{пл} - 4500-5000^{\circ}\text{C}$ . Вуглець із залізом утворює рідкий розчин, твердий розчин впровадження на основі  $\alpha$ -заліза та  $\gamma$ -заліза.



### КОМПОНЕНТИ І ФАЗИ В СИСТЕМІ "ЗАЛІЗО-ВУГЛЕЦЬ"

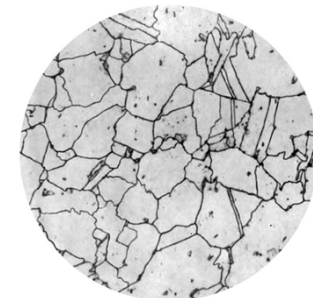
**Ферит (Ф)** - твердий розчин впровадження вуглецю в  $\alpha$ -залізі. Розчинність вуглецю в  $\alpha$ -залізі при кімнатній температурі до 0,005%; найбільша розчинність - 0,02% при  $727^{\circ}\text{C}$ . Ферит має незначну твердість (НВ 80-100) і міцність ( $\sigma_B=250$  МПа), але високу пластичність ( $\delta=50\%$ ).



Ферит:  $\times 500$ . Структура (світлі зерна  $\alpha$ -заліза, яке може містити в твердому розчині до 0,006% вуглецю)

### КОМПОНЕНТИ І ФАЗИ В СИСТЕМІ "ЗАЛІЗО-ВУГЛЕЦЬ"

**Аустеніт (А)** - твердий розчин впровадження вуглецю в  $\gamma$ -залізі. У залізобуглецевих сплавах він може існувати тільки при високих температурах. Гранична розчинність вуглецю в  $\gamma$ -залізі 2,14% при температурі  $1147^{\circ}\text{C}$  і 0,8% - при  $727^{\circ}\text{C}$ . Аустеніт має твердість НВ 160-200 і дуже пластичний ( $\delta = 40-50\%$ ).



Аустеніт:  $\times 500$ . Світлі зерна з характерними двійниками кристала твердого розчину вуглецю та інших елементів в  $\gamma$ -залізі

### КОМПОНЕНТИ І ФАЗИ В СИСТЕМІ "ЗАЛІЗО-ВУГЛЕЦЬ"

Цементит ( $\text{C}$ ,  $\text{Fe}_3\text{C}$ ) - хімічна сполука заліза з вуглецем - карбід заліза  $\text{Fe}_3\text{C}$  містить 6,67% С.  $T_{\text{пл}}$  - 1260 ° С. Він дуже твердий (НВ ~ 800), крихкий і практично не пластичний.

Фаза цементиту має п'ять структурних форм:

цементит первинний (Ц1) - утворюється з рідкого металу;

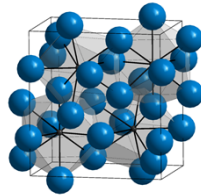
цементит вторинний (Ц2) - утворюється з аустеніту;

цементит третинний (Ц3) - утворюється з фериту при

охлажденні сплавів;

цементит ледебуріта;

цементит перліту.



### КОМПОНЕНТИ І ФАЗИ В СИСТЕМІ "ЗАЛІЗО-ВУГЛЕЦЬ"



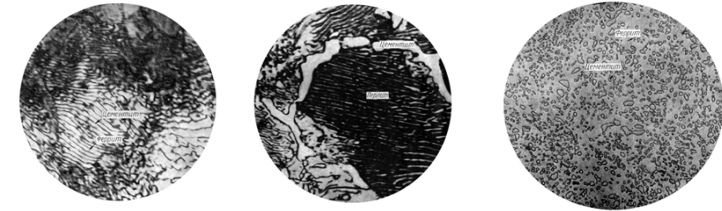
Цементит: а - первинний (масивні вclusions в заевтектонічних чавунах),  $\times 200$ ; б - вторинний в невідпаленій (заевтектонічній) сталі  $\times 1000$  (світла сітка  $\text{Fe}_3\text{C}$ , який може містити в твердому розчині залізо, марганець, хром та інші елементи); в - третинний (дрібні вclusions і сітка в технічному залізі),  $\times 1500$

### КОМПОНЕНТИ І ФАЗИ В СИСТЕМІ "ЗАЛІЗО-ВУГЛЕЦЬ"

На додаток до фаз у вигляді твердих розчинів на діаграмі є області існування механічних сумішей:

**перліт** (П) - механічна суміш (евтектоїд) фериту і цементиту, що містить 0,8% С. При кімнатній температурі зернистий перліт має межу міцності  $\sigma_{\text{в}} = 800$  МПа; відносне подовження  $\delta = 15\%$ ; твердість НВ 160;

Евтектоїд - це механічна суміш двох фаз, що утворюється з твердого розчину (а не з рідкого металу, як евтектика).



Перліт: а - пластинчастий,  $\times 2000$  (евтектоїд, що складається з тонких пластинок цементиту, розташованих на феритній основі); б - мікроструктура перліту і цементиту вторинного; в - зернистий,  $\times 2000$ , (евтектоїд, що складається із дрібних зерняток цементиту, розташованих на феритній основі).

### КОМПОНЕНТИ І ФАЗИ В СИСТЕМІ "ЗАЛІЗО-ВУГЛЕЦЬ"

**Ледебурит (Л)** - механічна суміш (евтектика) аустеніту і цементиту в інтервалі температур 1147 - 727°С або перліту і цементиту при температурах нижче 727°С, що містить 4,3% вуглецю. Ледебурит має твердість НВ 600-700 і велику крихкість.

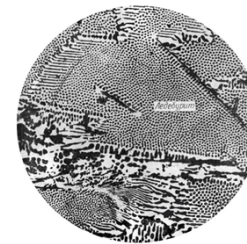
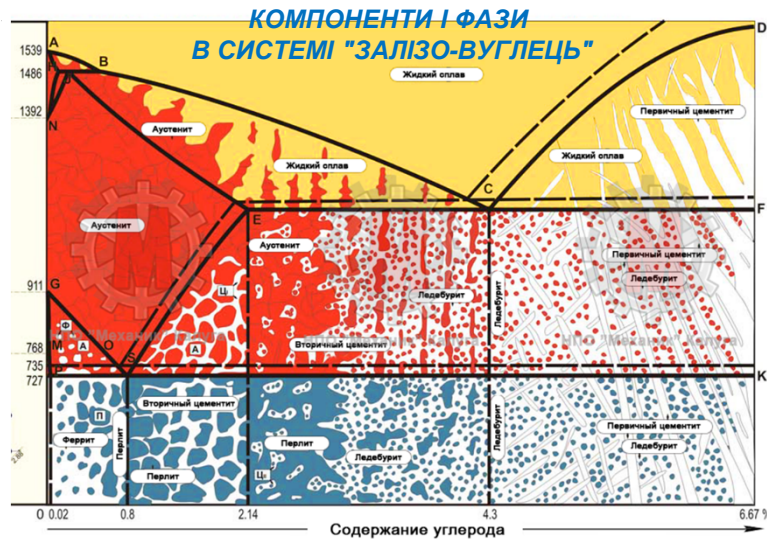


Рис. 10. Ледебурит;  $\times 500$ , (евтектика з характерних округлих темних вclusions перліту, розташованих в світлій цементитній основі).

Ледебурит аустенітний (ЛА) - евтектична суміш фаз А і Ц. Утворюється при температурі 1147 ° С (лінія ECD).

Ледебурит перлітний (ЛП) - евтектична суміш фаз П і Ц. Утворюється з ЛА при температурі  $< 727$  ° С в результаті розпаду аустеніту.



**КОМПОНЕНТИ І ФАЗИ  
В СИСТЕМІ "ЗАЛІЗО-ВУГЛЕЦЬ"**

ABCD - лінія ліквідусу показує температури початку затвердіння сплавів. При температурах вище температур, визначених цією лінією, всі сплави знаходяться в рідкому стані, що представляє собою розчин вуглецю в залізі (рідка фаза).

ANJECF - лінія солідусу. При температурах нижче температур, визначених цією лінією, всі сплави знаходяться в твердому стані.

AV - лінія температур початку виділення з рідкого розчину кристалів фериту.

BC і CD лінії температур початку первинної кристалізації аустеніту (BC) і цементиту (CD).

AH - лінія температур закінчення затвердіння сплавів, що утворюють ферит. По ній визначають склад фериту, кристалізується при температурах, які визначаються лінією AV.

JE - лінія солідусу аустеніту, початок кристалізації якого визначається лінією ABC.

HJB - лінія температур перитектичного перетворення при +1499 °C.

Перитектичне перетворення відрізняється від евтектичного. Якщо при евтектичному перетворенні з рідкої фази одночасно кристалізуються дві тверді фази, то при перитектичному перетворенні кристалізується лише одна фаза, що утворюється за рахунок твердої фази, що раніше виділилася, і рідкої частини сплаву певного складу (точка c).

**КОМПОНЕНТИ І ФАЗИ  
В СИСТЕМІ "ЗАЛІЗО-ВУГЛЕЦЬ"**

HN - лінія граничної розчинності вуглецю в δ-залізі. У той же час ця лінія показує початок переходу в γ-залізо при охолодженні або кінець цього перетворення при нагріванні.

JN - лінія кінця переходу γ-заліза в α-залізо при охолодженні або початку цього перетворення при нагріванні.

ECF - лінія евтектичного перетворення. Вона позначає температуру утворення евтектики (ледебурита) і температуру кінця первинної кристалізації сплавів, що містять вуглецю більше 2,14%.

GS і ES - лінії температур початку вторинних перетворень (перекристалізації). Лінія ES також є лінією граничної розчинності вуглецю в γ-залізі в інтервалі температур від +1147 до 727 °C.

PG - лінія температур кінця первинної перекристалізації аустеніту в ферит (лінія зміни розчинності вуглецю в фериті).

PSK - лінія евтектоїдного перетворення аустеніту складу, що відповідає складу в точці S (C = 0,8%) при температурі 727 °C.

PQ - лінія температур початку кристалізації третинного цементиту з фериту (лінія змінної розчинності вуглецю в фериті при температурі від 727 °C до кімнатної).

**КОМПОНЕНТИ І ФАЗИ  
В СИСТЕМІ "ЗАЛІЗО-ВУГЛЕЦЬ"**

На діаграмі позначені також наступні області і відповідні їм фази:

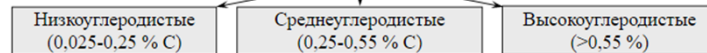
- 1) область вище лінії ABC - однорідний рідкий сплав заліза з вуглецем;
- 2) AVH - рідкий сплав і δ-ферит;
- 3) BCEJ - рідкий сплав і аустеніт;
- 4) DCF - рідкий сплав і цементит (первинний);
- 5) AHN - δ-ферит;
- 6) HJN - δ-ферит і аустеніт;
- 7) NJESG - аустеніт;
- 8) EFKS - аустеніт і цементит (вторинний);
- 9) GSP - аустеніт і ферит;
- 10) QPG - ферит;
- 11) PKLQ - ферит і цементит (вторинний і третинний).

## ВИЗНАЧЕННЯ СПЛАВІВ І ЧАВУНІВ

Залежно від вмісту вуглецю залізовуглецеві сплави ділять на дві групи:

- Сталі: а) доєвтектоїдні ( $0,8\% > C > 0,02\%$ );  
 б) евтектоїдні ( $C \approx 0,8\%$ );  
 в) заєвтектоїдні ( $2,14\% > C > 0,8\%$ );

По содержанию углерода

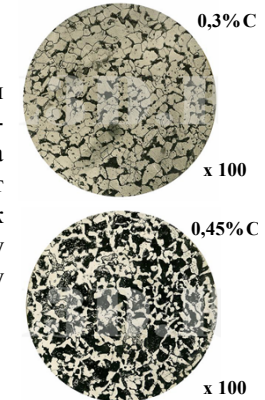


2. Чавуни: а) доєвтектичні ( $4,3\% > C > 2,14\%$ );  
 б) евтектичні ( $C \approx 4,3\%$ );  
 в) заєвтектичні ( $6,67\% > C > 4,3\%$ ).

## ВИЗНАЧЕННЯ СПЛАВІВ І ЧАВУНІВ

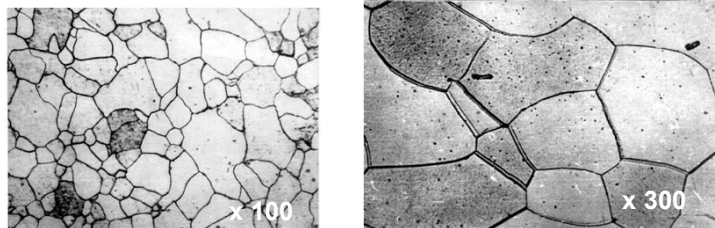
Сталлю називається сплав заліза з вуглецем, в якому вуглецю міститься не більше 2,14%. Це теоретичне визначення. На практиці в сталях, як правило, не міститься вуглецю понад 1,5%.

Доєвтектоїдні сталі - сплави з вмістом вуглецю від 0,02% до 0,8%, структура - ферит і перліт. Зерна фериту на програвленому шліфі світлі, а перліт виглядає у вигляді темних ділянок неоднорідного будови. При досить великому збільшенні видно, що будова перліту пластинчаста.



## СПЛАВИ З ВМІСТОМ ВУГЛЕЦЮ МЕНШ НІЖ 0,02% C

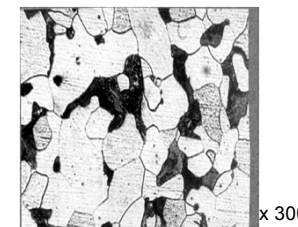
Технічне залізо містить від 0,006 (т. Q на діаг.стану.) До 0,02% вуглецю (т. P).



Твердість по Брінеллю 80-100 НВ

Його мікроструктура являє собою ферит і третинний цементит по межах зерен фериту, які спостерігаються під мікроскопом при великих збільшеннях. Виділення третинного цементиту по межах зерен дуже шкідливі, так як знижують міцність і ударну в'язкість

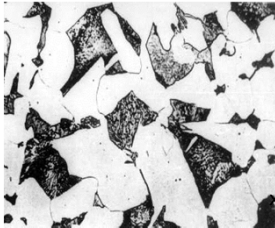
## Структура низьковуглецевої доєвтектоїдної сталі (0,2% вуглецю)



Твердість по Брінеллю 110-120 НВ

- Світлі (білі) ділянки твердого розчину фериту (Ф) і темні - перліту (П) пластинчастої будови.
- Структурні складові: ферит і перліт (Ф + П).
- фази: ферит ( $\alpha$ -фаза) і цементит (карбід заліза  $Fe_3C$ )

### Структура середньовуглецевої доевтектоїдної сталі марки 45 (0,45% вуглецю)



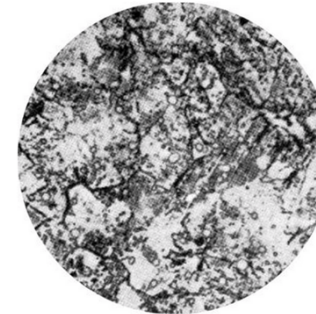
- З ростом вмісту вуглецю збільшується кількість темної перлітної структурної складової.
- Структурні складові: ферит і перліт (Ф + П).
- фази: ферит ( $\alpha$ -фаза) і цементит (карбід заліза  $Fe_3C$ )

Твердість по Бринеллю  
140-160 НВ

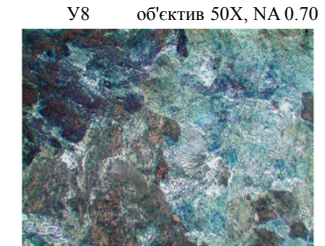
### КЛАСИФІКАЦІЯ СТАЛЕЙ ЗА СТРУКТУРОЮ В РІВНОВАЖНОМУ СТАНІ

Евтектоїдні сталі - сплави з вмістом вуглецю 0.8%, структура - перліт.

Перліт складається з пластинчастих кристалів фериту і цементиту.

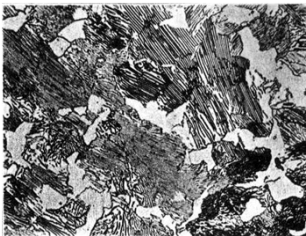


Структура евтектоїдної сталі:  
×1500



Особливості структури:  
евтектоїдна - пластинчастий перліт.

### Структура доевтектоїдної сталі з 0,6% вуглецю



х300

Твердість по Бринеллю  
160-170 НВ

Основна структурна складова - перліт з невеликими ділянками фериту. З ростом частки перлітної складової зростає і загальна твердість сталі.

Структурні складові:

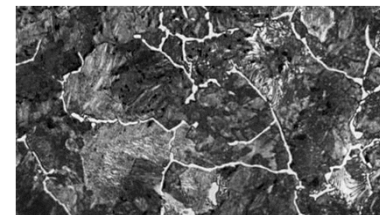
ферит і перліт (Ф + П).

фази:

ферит ( $\alpha$ -фаза) і цементит (карбід заліза  $Fe_3C$ )

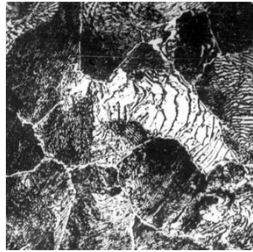
### Класифікація сталей за структурою в рівноважному стані

Заевтектоїдна сталь характеризується надмірним вмістом цементиту, який може виділятися по межах зерен перліту. Цементитна сітка є значним дефектом заевтектоїдної сталі, що призводить до зниження її міцності і в'язкості.



Структура заевтектоїдної сталі:  
перліт (темний) і вторинний цементит (свігла сітка)

## Структура заевтектоїдної сталі марки У12 (1,2% вуглецю)

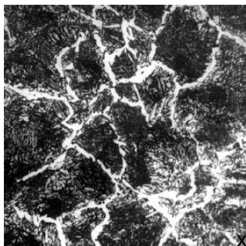


x 300

- Структура складається з пластинчастого перліту (П), оточеного світлою сіткою надлишкового цементиту (Ц), що виділився на межі колишнього аустенітного зерна.
- Структурні складові:
- перліт і цементит вторинний (П + ЦII).
- Фази: ферит і цементит (карбід заліза  $Fe_3C$ ).

Твердість по Бринеллю  
200-220 НВ

## Структура заевтектоїдної сталі з 1,3% вуглецю



x 300

- Структура відрізняється від попередньої більшою товщиною цементитної сітки.
- Структурні і фазові складові ті ж, що і вище.

Твердість по Бринеллю  
200-220 НВ

## КЛАСИФІКАЦІЯ СТАЛЕЙ

### По содержанию легирующих элементов



При введенні в вуглецеві сталі спеціальних легуючих добавок (Cr, Mn, Ni, Si, W, Mo, Ti, Co, V та ін.) досягається значне поліпшення їх фізико-механічних властивостей (наприклад, підвищення межі текучості без зниження пластичності і ударної в'язкості і т.д.).

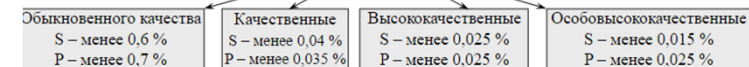
Марка легованої якісної сталі складається з поєднання букв і цифр, що позначають її хімічний склад. Легуючі елементи мають такі позначення: хром (Х), нікель (Н), марганець (Г), кремній (С), молібден (М), вольфрам (В), титан (Т), тантал (ТТ), алюміній (Ю), ванадій (Ф), мідь (Д), бор (Р), кобальт (К), ніобій (Б), цирконій (Ц), селен (Е), рідкоземельні метали (Ч).

Приклад: 03X16H15M3B - високолегована якісна сталь, яка містить 0.03% С, 0.16% Cr, 0.15% Ni, до 0.3% Mo, до 1.0% Nb.

## КЛАСИФІКАЦІЯ СТАЛЕЙ

Якість сталі характеризується сукупністю властивостей, які визначаються процесом виробництва, хімічним складом, вмістом газів і шкідливих домішок (сірки і фосфору).

### По качеству



За призначенням - сталі загального призначення, конструкційні, інструментальні, спеціальні.

Сталі загального призначення - завжди вуглецеві звичайної якості. Застосовуються для виробництва машин, верстатів, будівельних металлоконструкцій, предметів широкого споживання.

Сталі звичайної якості позначають буквами Ст і цифрами від 0 до 6, наприклад Ст.2, Ст.3.

Букви Ст означають сталь, цифри від 0 до 6 - умовний номер марки сталі в залежності від хімічного складу.



## КЛАСИФІКАЦІЯ СТАЛЕЙ

**Конструкційні сталі** застосовуються для виготовлення деталей машин і механізмів (зубчасті колеса, штоки, вали). Це якісні вуглецеві і низьколеговані сталі.

Маркуються двозначним числом, що вказує вміст вуглецю в сотих частках відсотка. Наприклад: сталь 20 (0,2% C), сталь 45 (0,45% C).

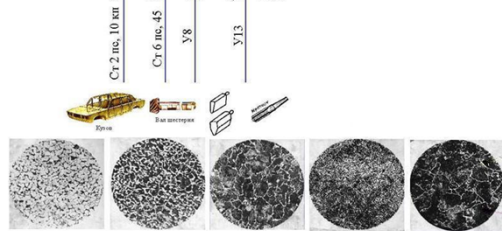
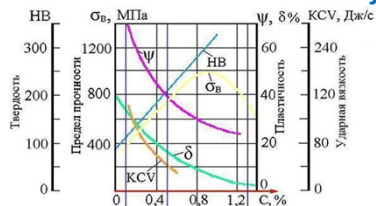
**Інструментальні сталі** використовують для виробництва ріжучого, вимірювального і штампового інструменту. Інструментальні сталі завжди якісні і високоякісні. Вони можуть бути як вуглецевими, так і легованими.

Інструментальні якісні вуглецеві сталі маркуються буквою У (вуглецева інструментальна сталь) і числом, що вказує вміст вуглецю в десятих частках відсотка.

Наприклад: сталь У8 (0,8% C), сталь У13 (1,3% C).

Спеціальні сталі розроблені для особливих умов експлуатації: при підвищеній і зниженій температурі, в агресивному середовищі. Це завжди високоякісні і особливо високоякісні високолеговані сталі. До них відносяться жаростійкі і жароміцні сталі, нержавіючі сталі, криогенні сталі і ін.

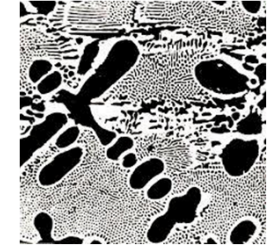
## Зміна мікроструктури і властивостей сталей зі збільшенням кількості вуглецю



Изменение структуры при увеличении содержания углерода, а следовательно количества перлита и цементита в стали

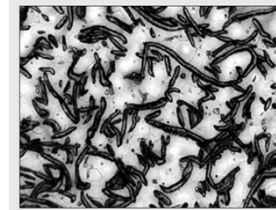
## КЛАСИФІКАЦІЯ ЧАВУНІВ

Залежно від стану і вмісту вуглецю в чавуні розрізняють: білі і сірі.



У **білому чавуні** (таку назву він отримав за кольором зламу) вуглець хімічно пов'язаний з залізом у вигляді цементиту  $Fe_3C$ . Білий чавун має високу твердість, крихкість і погану оброблюваність різанням. Основна маса білого чавуну йде на переробку в сталь і для отримання ковких чавунів.

У **сірому чавуні** (сірий злам) вуглець знаходиться у вільному стані у вигляді графітових включень. Сірий чавун відрізняється від білого меншою твердістю і крихкістю, а також хорошою оброблюваністю різанням. Хороші ливарні властивості сірого чавуну грають важливу роль при отриманні виливків.

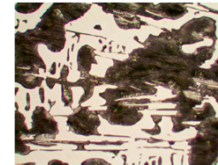


Структура серого чугуна, x100

## КЛАСИФІКАЦІЯ ЧАВУНІВ

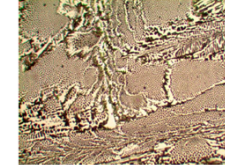
Залежно від вмісту вуглецю чавун називається **доевтектичним** (2,14-4,3% C), **евтектичним** (4,3%) або **заевтектичним** (4,3-6,67%). Склад сплаву впливає на структуру матеріалу.

Объектив 50X, NA 0.70



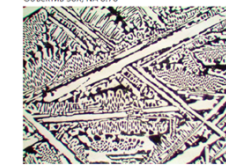
Структура перліту - темні ділянки + ледобурит (перліт + цементит) і вторинний цементит.

Объектив 50X, NA 0.70



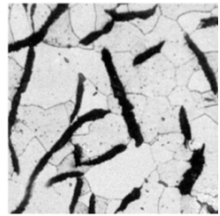
мікроструктура - ледобурит (перліт і цементит).

Объектив 50X, NA 0.70



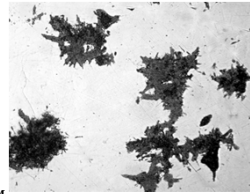
складається з первинного цементиту, який утворився при кристалізації чавуну - світлі голки - ледобурит, що представляє суміш перліту і цементиту.

### КЛАСИФІКАЦІЯ ЧАВУНІВ

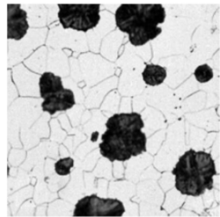


*За формою графітових включень розрізняють:*

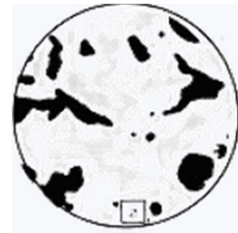
чавун сірий з пластинчастим графітом (а),



чавун високоміцний з кулястим графітом (б),



чавун ковкий з пластівчастим графітом (в),



чавун з вермікулярним (червподібним) графітом (г)

### КЛАСИФІКАЦІЯ ЧАВУНІВ

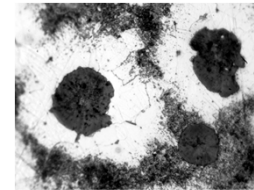
За хімічним складом чавун підрозділяють на нелегований і легований.

Нелегований чавун містить залізо, вуглець і звичайні домішки - кремній, марганець, сірку і фосфор.

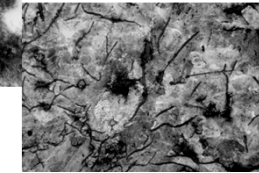
Легований чавун має більш складний хімічний склад: в якості легуючих елементів використовуються нікель, хром, молібден, мідь і інші елементи, а також кремній і марганець в кількості, що перевищує їх домішкові зміст.

### КЛАСИФІКАЦІЯ ЧАВУНІВ

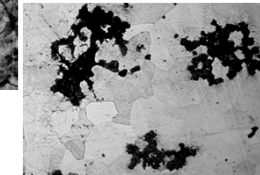
За типом структури металевої основи чавун буває: чавун феритний, чавун перлітний, чавун ферритно-перлітний



чавун феритний



чавун перлітний



чавун ферритно-перлітний

### КЛАСИФІКАЦІЯ ЧАВУНІВ

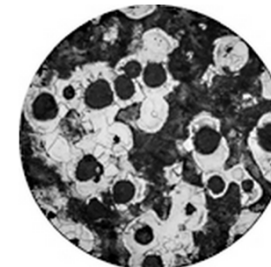
*За призначенням розрізняють чавун: сірий, ковкий, високоміцний.*

Високоміцний чавун має кулясті графітні включення.

Маркується високоміцний чавун літерами ВЧ і цифрами, що показують межу міцності в десятих частках мегапаскаля.

Наприклад, чавун ВЧ 60 має  $\sigma = 600$  МПа.

Застосовуються високоміцні чавуни для виготовлення відповідальних деталей - зубчастих коліс, валів та ін.



ВЧ 60-5. Високоміцний чавун на ферритно-перлітній металевій основі. Модифікування магнієм. Глобулярні включення графіту (чорний) оточені шаром фериту (світлий) в темній перлітній матриці

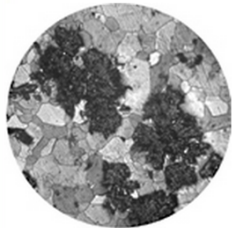
### КЛАСИФІКАЦІЯ ЧАВУНІВ

Ковкий чавун має пластівчасті графітні включення. Його отримують з білою чавуну шляхом графітизучого відпалу, який полягає в тривалій (до 2 діб) витримці при температурі 950-970 ° С.

З ковкого чавуну виготовляють деталі складної форми: картери заднього моста автомобілів, гальмівні колодки, трійники, кутники тощо.

Маркується ковкий чавун літерами КЧ і двома числами, що показують межу міцності в десятках частках мегапаскаля і відносно подовження в%.

Так, чавун КЧ 45-7 має  $\sigma_B = 450$  МПа і  $\delta = 7\%$ .



КЧ 35-10 (ферит, графіт пластівчастий). Ковкий чавун на ферритній металевій основі. Пластівчасті включення графіту (темно-сірі) в ферритній матриці.

### КЛАСИФІКАЦІЯ ЧАВУНІВ

**Сірий чавун.** У структурі сірого чавуну є графіт, кількість, фігура і розподіл якого можуть змінюватися в широких межах

Позначаються індексом СЧ (сірий чавун) і числом, яке показує значення межі міцності, помножене на 10- СЧ15.



СЧ 15 (ферит, графіт крабоподібний) Сірий чавун на ферритній металевій основі. Темні включення крабоподібного(пластинчастого) графіту в ферритній матриці.

## Лекція 1.4.

### ВИРОБНИЦТВО ЧАВУНУ І СТАЛІ

1. Виробництво залізобуглецевих сплавів
2. Виплавка чавуну
3. Виробництво сталі
4. Процес виробництва.

### ВИРОБНИЦТВО ЗАЛІЗОБУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ

Для виплавки чавуну в доменних печах використовують залізні руди, паливо, флюси.

Підготовка руд до доменної плавки здійснюється для підвищення продуктивності доменної печі, зниження витрати коксу і поліпшення якості чавуну. Метод підготовки залежить від якості руди.

Дроблення і сортування руд по крупності служать для отримання шматків оптимальної величини, здійснюються за допомогою дробарок і класифікаторів.

Збагачення руди засноване на відмінності фізичних властивостей мінералів, що входять до її складу:

а) промивання - відділення щільних складових від порожньої пухкої породи;

б) гравітація (відсадження) - відділення руди від порожньої породи при пропущенні струменя води через дно вібруючого сита: порожня порода витісняється в верхній шар і несеться водою, а рудні мінерали опускаються;

в) магнітна сепарація - подрібнену руду піддають дії магніту, що притягує залізовмісні мінерали і відокремлює їх від порожньої породи.

## ВИРОБНИЦТВО ЧАВУНУ

*Сировина:* залізна руда.

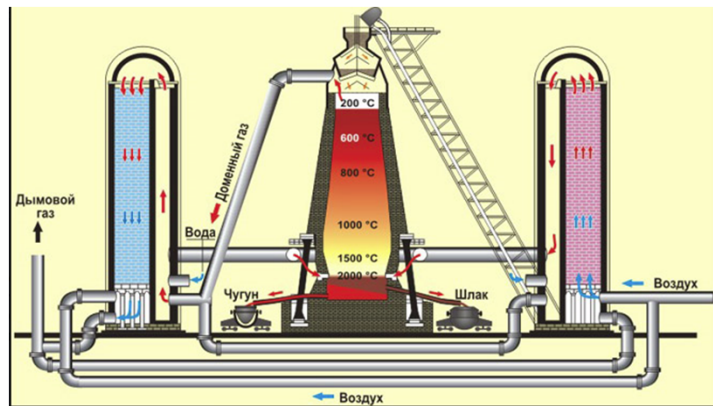
*Допоміжні матеріали:* кокс (іноді природний газ), повітря, збагачене киснем, флюси (вапняк, доломіт).

*Основний хімічний процес:* оксид заліза, що міститься в руді (III) відновлюється оксидом вуглецю (II). Кокс згорає до оксиду вуглецю (IV), при цьому виділяється теплота, необхідна для розплавлення заліза, шлаків, а також проведення самої реакції. Оксид вуглецю (IV) відновлюється коксом до оксиду вуглецю (II).

*Побічні процеси:* одночасно відновлюються оксиди інших елементів, що містяться в залізній руді: тугоплавка домішка, що міститься в руді (оксид кремнію), видаляється у вигляді шлаку взаємодією з оксидом кальцію. Оксид кальцію утворюється при розкладанні вапняку або доломіту.

*Особливості технологічного процесу:* чавун отримують в спеціальних печах - домнах. У верхню частину домни подають послідовно сировину і допоміжні матеріали, в нижню (горн) продувають противотоком повітря, попередньо нагріте в регенераторі за рахунок спалювання колошникового газу. Виробництво безперервне (проте засипання шихти і випуск чавуну провадяться періодично), використовуються теплота реакції і принцип протитоку.

## ВИРОБНИЦТВО ЧАВУНУ



## ВИРОБНИЦТВО ЧАВУНУ

*Основний продукт:* чавун.

*Склад:* сплав заліза, що містить більше 2,5% C; 0,3 - 5% Si; до 1% Mn; 0,1% S і 0,2% P, іноді легуючі метали (Al, Cr, Ni і ін.).

*Властивості:* найдешевший металевий матеріал, характеризується гарними ливарними і антифрикційними властивостями, зносостійкістю, здатністю гасити вібрації. Розрізняють переробний, ливарний і легований чавун. Легований чавун відрізняється жаростійкістю і корозійною стійкістю.

*Застосування:* переробний чавун - для виробництва сталі; ливарний - для виготовлення поршнів, циліндрів, гальмівних барабанів, шестерень, деталей автомобілів (задній міст, картер, маточини і ін.); легований - для виготовлення дверцят мартенівських печей, колосників, деталей парових котлів, пічної арматури, футерованих плит, газотурбінних установок. Побічні продукти: шлак, колошниковий газ.

*Утилізація побічних продуктів:* шлак використовують при виробництві графіту, щебеню, цементу, шлакової вати, колошниковий газ - для обігріву повітрянагрівачів.

## ДОМЕННАЯ ПЕЧЬ

### КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПЕЧИ:

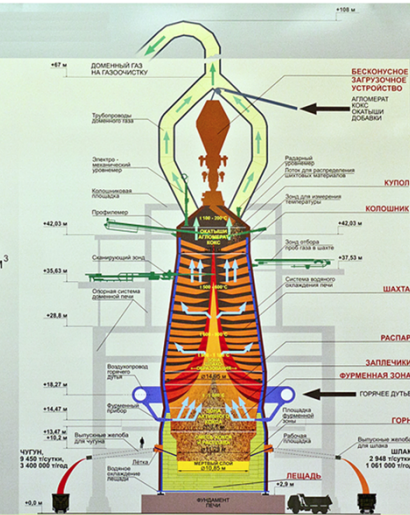
рабочий объем ..... 3 561 м<sup>3</sup>  
вес печи в загруженном состоянии .... 12 337 т

### ПОТРЕБНОСТЬ ПЕЧИ В СУТКИ:

агломерат ..... 11 765 т  
окашки ..... 3 175 т  
кокс ..... 2 996 т  
природный газ ..... 283 500 м<sup>3</sup>  
пылеугольное топливо ..... 1 512 т  
горячее дутье (воздух) ..... 9 355 000 м<sup>3</sup>  
персонал печи в смену ..... 56 чел.

### РАСХОД СЫРЬЯ И ТОПЛИВА НА 1 т ПРОДУКЦИИ:

агломерат ..... 1 245 кг  
окашки ..... 336 кг  
кокс ..... 317 кг  
природный газ ..... 30 м<sup>3</sup>  
пыле-угольное топливо ..... 160 кг  
горячее дутье ..... 990 м<sup>3</sup>  
температура горячего дутья ..... 1 250 С°  
содержание кислорода ..... 28%



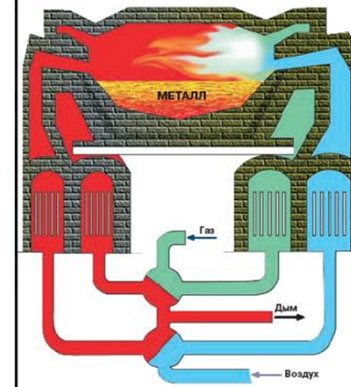
Ragulin Vitaly | dervishv.livejournal.com

### ВИРОБНИЦТВО СТАЛІ

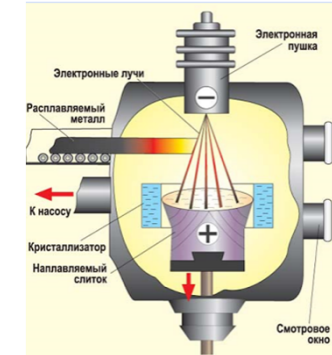
*Сировина:* чавун, металобрухт, оксиди заліза.  
*Допоміжні матеріали:* повітря, збагачене киснем, добавки (наприклад, оксид кальцію, феромарганець).  
*Основний хімічний процес:* елементи, що містяться в рідкому чавуні (вуглець, кремній, марганець, фосфор і сірка) окислюються киснем. Оксид заліза (II) теж бере участь в окисленні домішок. Оксиди кремнію і фосфору з вапном утворюють шлак.  
*Побічні процеси:* для видалення утворюється оксиду заліза (II), додають феромарганець (так званий розкислювач).  
*Оксид марганцю (II) переходить в шлак.*

### ВИРОБНИЦТВО СТАЛІ

2) Мартенівський спосіб. Домішки окислюють в мартенівських печах, пропускаючи попередньо нагріте в регенераторах повітря і топкові гази над розплавленим чавуном. Виробництво періодичне.



Виплавка сталі в електронно-променевої печі.

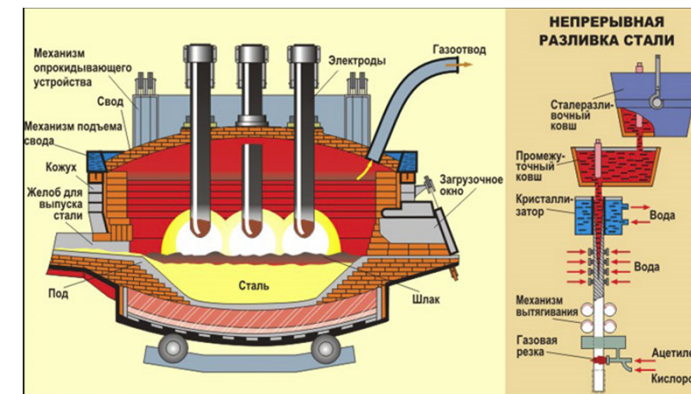
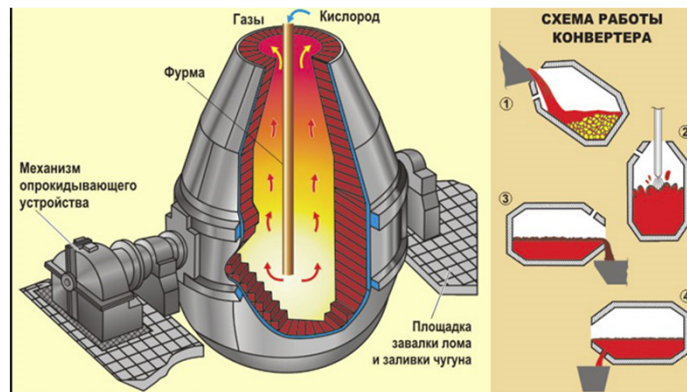


### ВИРОБНИЦТВО СТАЛІ

*Особенности технологического процесса:*  
 1) кислородно-конверторный способ. Окисления домішок проводять в спеціальних апаратах -- конверторах продування повітря через розплавлений чавун (нижня дугтя) або кисню над розплавом (верхне дугтя);

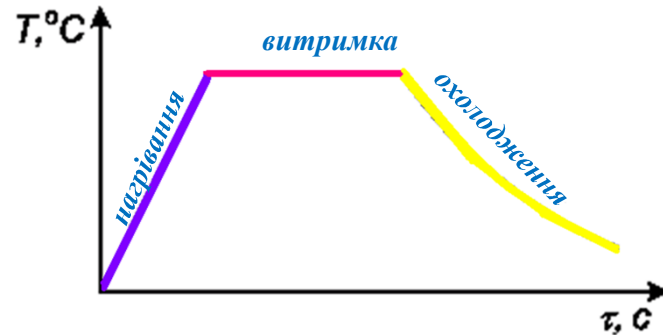
### ВИРОБНИЦТВО СТАЛІ

Виплавка сталі в електрпечі.





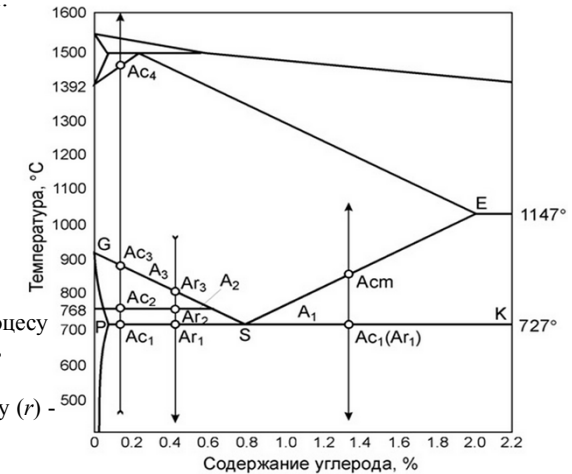
**Термічна обробка** являє собою сукупність операцій **нагрівання**, **витримки** та **охолодження**, які виконуються в певній послідовності при певних режимах, з метою зміни внутрішньої будови сплаву і отримання потрібних властивостей (представляється у вигляді графіка в осях температура - час)



**Термічна обробка** сталі заснована на **фазових перетвореннях**, що відбуваються **при нагріванні** її вище критичних температур і **охолодженні з різними швидкостями**.

Гартуваче середовище	швидкість охолодження, °C/с, в інтервалі температур	
	650...550	300...200
Вода при температурі, °C		
18	600	270
25	500	270
50	100	270
75	30	200
Мильна вода	30	200
Емульсія масла в воді	70	200
Вода, насичена уголексиною	150	200
10%-ний водний розчин при 18 °C:		
едкого натра	1200	300
поваренної солі	1100	300
5%-ний розчин марганцевокислого калія	800	270
Содей	450	100
Керосин	160, 180	40, 60
Масло індустріальне	120	25
Спокойний воздух	3	1
Сжатый воздух	30	10

**Температури**, при яких відбуваються **фазові і структурні перетворення** в сплавах системи Fe-C (**критичні точки**), позначають б. А.



При позначенні процесу нагрівання додають букву (c) -  $Ac1$ , охолодження - букву (r) -  $Ar1$ .

$Ac_1$  - лінія  $PSK$  (727 °C) - перетворення перліту в аустеніт  $P \rightarrow A$ , відбувається при нагріванні вище критичної температури  $Ac_1$ , мінімальною вільною енергією володіє аустеніт.

$Ar_1$  - перетворення аустеніту в перліт

$Fe\gamma \rightarrow [Fe\alpha + Fe_3C]$ ;

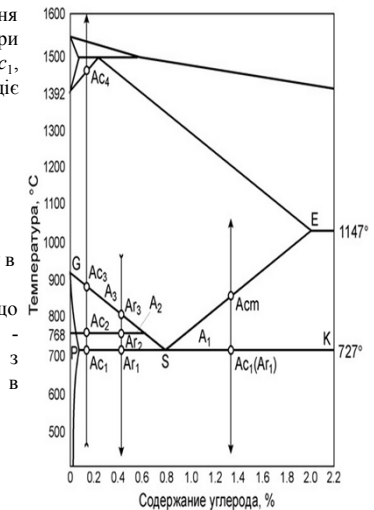
$Ac_2$  - лінія, відповідна точці Кюрі (768 °C) перетворення магнітного фериту в немагнітний  $Fe\alpha \rightarrow Fe\beta$ ;

$Ar_2$  - перетворення немагнітного фериту в магнітний  $Fe\beta \rightarrow Fe\alpha$ ;

$Ac_3$  - лінія  $GS$  (змінна температура, що залежить від вмісту вуглецю в сплаві) - відповідна початку виділення фериту з аустеніту або кінця перетворення фериту в аустеніт  $\Phi \rightarrow A$ ,  $Fe_3C (II) \leftrightarrow Fe\gamma$ ;

$Ar_3$  - поява перших кристалів  $Fe\alpha$  з  $Fe\gamma$ ;

$A_{cm}$  - лінія  $SE$  - змінна температура, залежить від вмісту вуглецю в сплаві, - початок виділення  $P_{II}$  (іноді позначається  $A_3$ ).

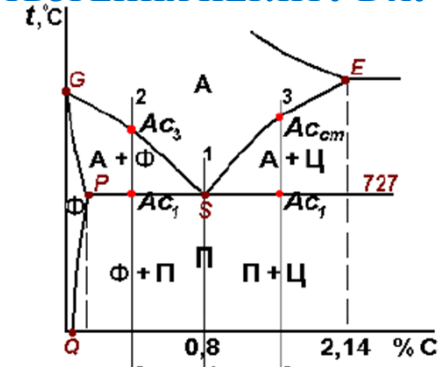


При нагріванні і охолодженні перетворення відбуваються при різних температурах. У *структурних перетвореннях* в сталі, *основними є три структури*, а перехід їх з однієї в іншу *характеризує основні перетворення*.

Ці структури:

- аустеніт* - твердий розчин вуглецю в  $\gamma$ -залізі ( $\text{Fe}\gamma$ );
- мартенсит* - твердий розчин вуглецю в  $\alpha$ -залізі ( $\text{Fe}\alpha$ );
- перліт* - евтектоїдна суміш фериту і карбиду [ $\text{Fe}\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ ].

## ПЕРЕТВОРЕННЯ ПЕРЛІТУ В АУСТЕНІТ



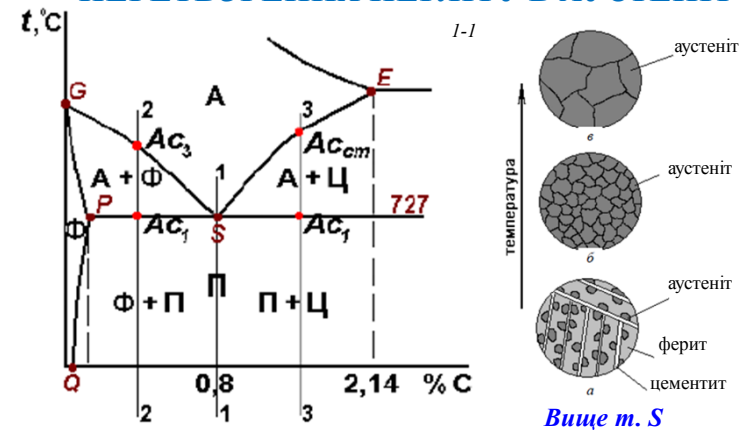
При температурі  $A_{c1} = 727^\circ\text{C}$  починається перетворення  $\text{П} \rightarrow \text{А}$ . При переході критичної температури  $A_{c1}$ , перетворення супроводжує два паралельних процеси: поліморфне перетворення  $\alpha\text{-Fe}$  (ОЦК)  $\rightarrow$   $\gamma\text{-Fe}$  (ГЦК) і розчинення цементиту в  $\gamma\text{-Fe}$ .

При термічній обробці сталі відбуваються

*чотири основних перетворення:*

- 1) *перліту в аустеніт* вище точки  $A_1$ : мінімальною вільною енергією володіє аустеніт.  
 $\alpha + \text{Fe}_3\text{C} \rightarrow \gamma$ , або  $\text{П} \rightarrow \text{А}$ ;
- 2) *аустеніту в перліт* нижче точки  $A_1$ : мінімальною вільною енергією володіє перліт.  
 $\gamma \rightarrow \alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ , або  $\text{А} \rightarrow \text{П}$ ;
- 3) *аустеніту в мартенсит*: відбувається при швидкому охолодженні нижче температури нестабільної рівноваги.  
 $\gamma \rightarrow \text{М}$ , або  $\text{А} \rightarrow \text{М}$ ;
- 4) *мартенситу в перліт*: відбувається при будь-яких температурах, тому що вільна енергія мартенситу більше, ніж вільна енергія перліту.  
 $\text{М} \rightarrow \alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ , або  $\text{М} \rightarrow \text{П}$ .

## ПЕРЕТВОРЕННЯ ПЕРЛІТУ В АУСТЕНІТ

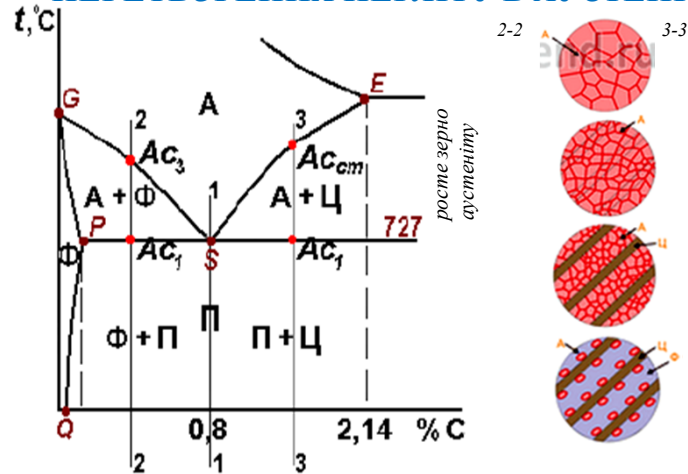


*Вище м. S*

*Стимул перетворення* - різниця у вільній енергії нової і старої фази: при підвищених температурах  $\gamma$ -залізо володіє меншим запасом вільної енергії і є рівноважною фазою.



### ПЕРЕТВОРЕННЯ ПЕРЛІТУ В АУСТЕНІТ



### ІЗОТЕРМІЧНЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ ПЕРЛІТУ

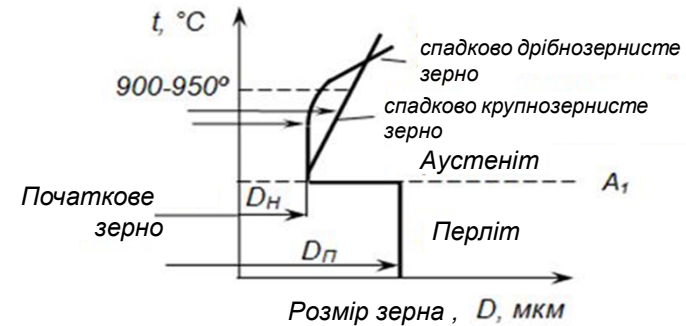


Схема росту зерна аустеніту спадково дрібнозернистої і крупнозернистої евтектоїдної сталі

### ІЗОТЕРМІЧНЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ ПЕРЛІТУ

При закінченні перетворення перліту в аустеніт утворюється велика кількість малих аустенітних зерен. Розмір цих зерен характеризує так звану величину початкового зерна аустеніту.

Подальший нагрів після закінчення перетворення викликає зростання аустенітних зерен.

**Зростання зерна** – процес, що мимовільно протікає, так як при цьому зменшується сумарна поверхня зерен (зменшується поверхнева енергія), висока температура забезпечує лише достатню його швидкість.

**початкове зерно** - розмір аустенітного зерна в момент закінчення перліто-аустенітного перетворення;

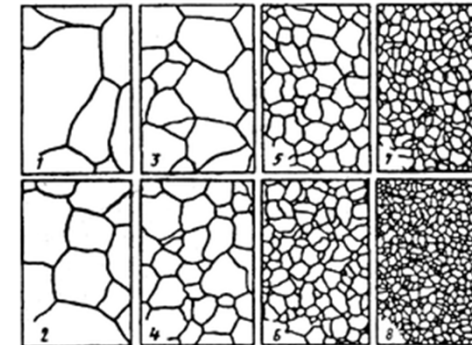
**дійсне зерно** - зерно аустеніту, отримане в даних конкретних умовах нагріву;

**спадкове зерно** – зерно аустеніту, що характеризує схильність зерна до зростання при високих температурах.

### ІЗОТЕРМІЧНЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ ПЕРЛІТУ

Для визначення величини спадкового зерна, зразки нагрівають до  $930^{\circ}\text{C}$  і потім визначають розмір зерна.

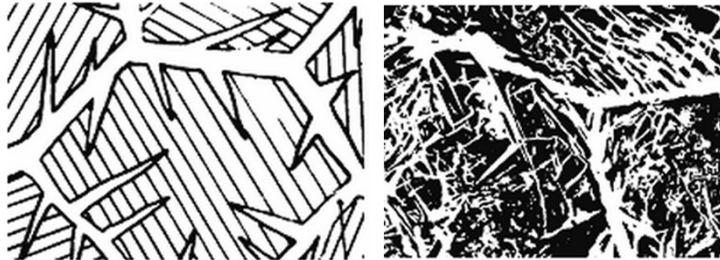
Природну зернистість сталей оцінюють балами спеціально розробленої шкали зернистості (ГОСТ 5639-82).



### ІЗОТЕРМІЧНЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ ПЕРЛІТУ

Нагрівання доєвтектоїдної сталі до температури, що значно перевищує  $A_{c3}$ , (1100-1200°C) і подальше охолодження, призводить до утворення структури, що складається з великих голок надлишкового фериту, що прорізають великі зерна перліту.

Така структура названа Відманштетовою структурою.



### ІЗОТЕРМІЧНЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ ПЕРЛІТУ

Неправильний режим нагріву може привести:

**Перегрів.** Нагрівання доєвтектоїдної сталі значно вище температури  $A_3$  призводить до **інтенсивного зростання зерна** аустеніту. При охолодженні **ферит** виділяється у вигляді **пластинчастих або голчастих кристалів**. Така структура називається Відманштетова структура і характеризується зниженими механічними властивостями.

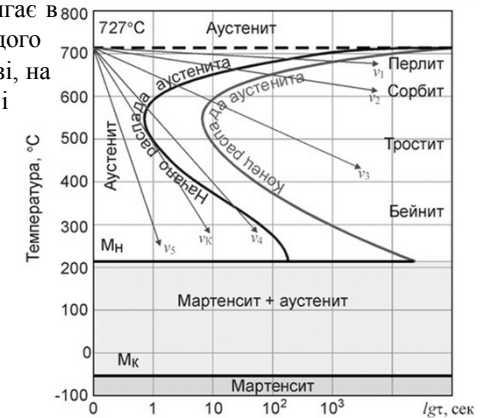
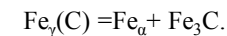
**Перегрів можна виправити** повторним нагріванням до оптимальних температур з наступним повільним охолодженням.

**Перепал** має місце, коли температура нагріву наближається до температури плавлення. При цьому спостерігається окислення кордонів зерен, що різко знижує міцність сталі. Злам такої сталі кам'яно подібний.

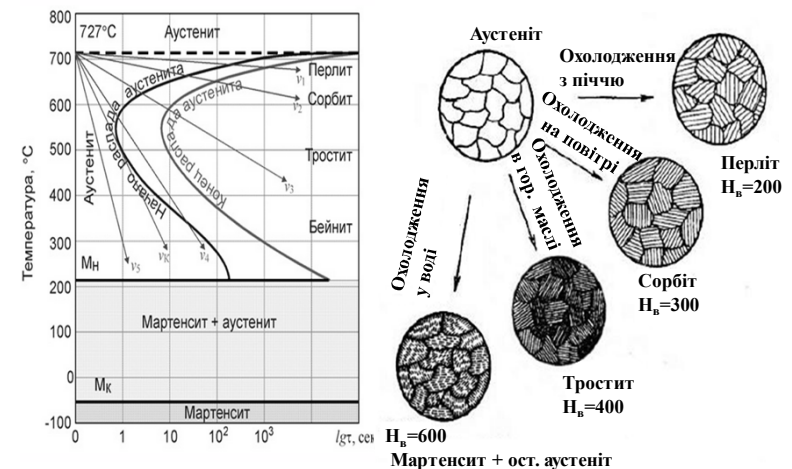
**Перепал - невідправний брак.**

### ПЕРЕТВОРЕННЯ $A \rightarrow P$ ПРИ ПОВІЛЬНОМУ ОХОЛОДЖЕННІ

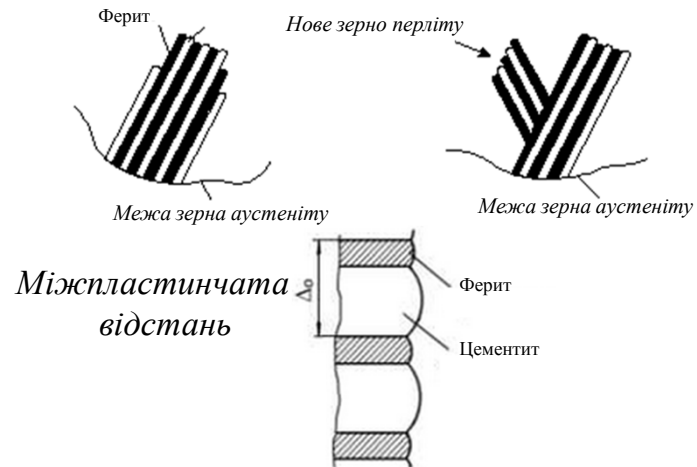
Перетворення  $A \rightarrow P$  полягає в розпаді аустеніту – твердого розчину вуглецю в  $\gamma$ -залізі, на майже чисте  $\alpha$ -залізо і цементит:



### ПЕРЕТВОРЕННЯ $A \rightarrow P$ ПРИ ПОВІЛЬНОМУ ОХОЛОДЖЕННІ



### ПЕРЕТВОРЕННЯ $A \rightarrow П$ ПРИ ПОВІЛЬНОМУ ОХОЛОДЖЕННІ

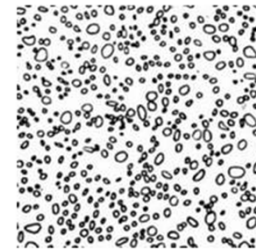


### ПЕРЕТВОРЕННЯ $A \rightarrow П$ ПРИ ПОВІЛЬНОМУ ОХОЛОДЖЕННІ

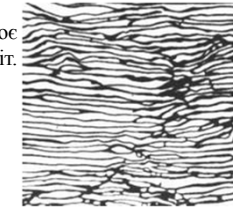
Таким чином, перліт, сорбіт і тростит - це структури з однаковою природою ( $\Phi + \Psi$ ), що відрізняються між собою ступенем дисперсності частинок  $\Phi$  і  $\Psi$ .

Перліт може мати зернисту і пластинчасту будову.

Однорідний аустеніт утворює пластинчастий перліт.



Неоднорідний аустеніт при всіх ступенях переохолодження перетворюється в зернистий перліт.



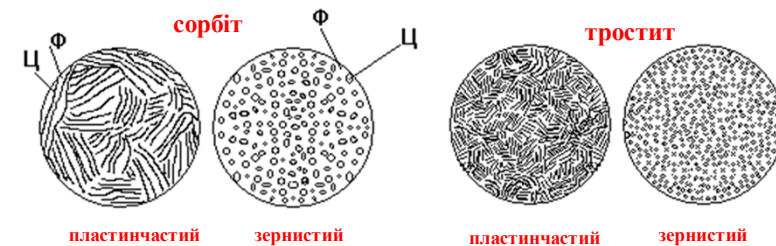
### ПЕРЕТВОРЕННЯ $A \rightarrow П$ ПРИ ПОВІЛЬНОМУ ОХОЛОДЖЕННІ

Продукти перлітного перетворення за величиною зерна (або по дисперсності структури) умовно поділяють:

Структура	Температура утворення, °C	Міжпластинчата відстань, мкм	Твердість, НВ
перліт	> 670	0,5–0,7	170–230
сорбіт	590–640	0,3–0,4	230–330
тростит	550–580	0,1–0,2	330–400

### ПЕРЕТВОРЕННЯ $A \rightarrow М$ ПРИ ВИСОКІЙ ШВИДКОСТІ ОХЛАДЖЕННЯ

Залежно від температури і часу перетворення можуть виникнути структури сорбіту та троститу. Вони мають зернисту, а не пластинчасту будову, на відміну від сорбіту та троститу, отриманих при розпаді переохолодженого аустеніту.



### ПРОМІЖНЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ

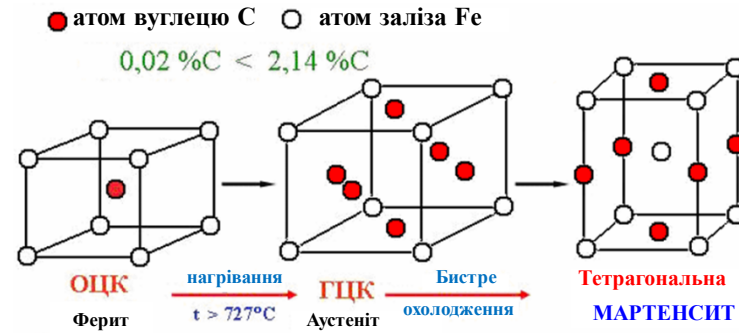
Механізм перетворення полягає в тому, що *всередині аустеніту відбувається перерозподіл атомів вуглецю і ділянки аустеніту*, збагачені вуглецем *перетворюються в цементит*.

Дисперсність кристалів фериту і цементиту залежать від температури перетворення.

При температурі 550 °С –  $\Delta_0 = 0,12 \cdot 10^{-3}$  - *верхній бейніт*. Структура характеризується недостатньою міцністю, при низьких відносному подовженні ( $\delta$ ) і ударній в'язкості.

При температурі 300°С –  $\Delta_0 = 0,08 \cdot 10^{-3}$  - *нижній бейніт*. Структура характеризується високою міцністю в поєднанні з пластичністю і в'язкістю.

### ПЕРЕТВОРЕННЯ A → M ПРИ ВИСОКІЙ ШВИДКОСТІ ОХЛАЖДЕННЯ



### ПЕРЕТВОРЕННЯ A → M ПРИ ВИСОКІЙ ШВИДКОСТІ ОХЛАЖДЕННЯ

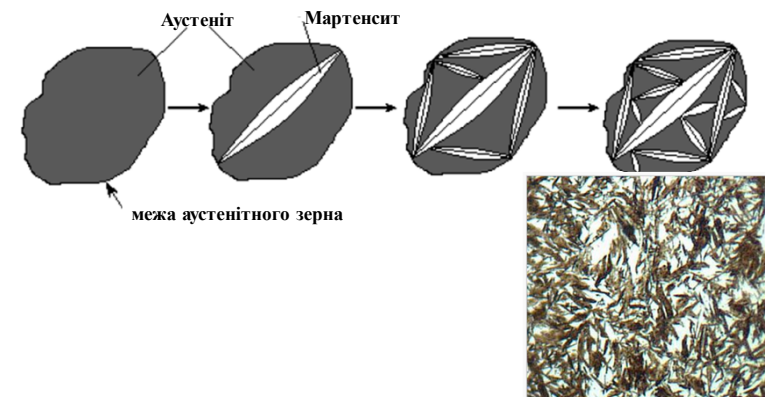
Дане перетворення має місце при високих швидкостях охолодження, коли дифузійні процеси пригнічуються. Супроводжується поліморфним перетворенням в  $\gamma$ -Fe в  $\alpha$ -Fe.

При швидкому охолодженні сталі *аустеніт переохолоджується* до температур, де *дифузія* атомів практично *відсутня*. Наявність *поліморфізму* викликає *зворотне перетворення* кристалічної решітки сталі з ГЦК в ОЦК (Fe- $\gamma$  → Fe- $\alpha$ ).

При цьому ОЦК решітка спотворюється, перетворюючись в тетрагональну, тобто приймає форму прямокутної призми.

### ПЕРЕТВОРЕННЯ A → M ПРИ ВИСОКІЙ ШВИДКОСТІ ОХЛАЖДЕННЯ

Мартенситний кристал має форму пластини, схожу на опуклу лінзу.



### ***ПЕРЕТВОРЕННЯ $A \rightarrow M$ ПРИ ВИСОКІЙ ШВИДКОСТІ ОХЛАЖДЕННЯ***

Мартенсит має дуже високу твердість: при вмісті вуглецю 0,8% вона становить 65 HRC (670 HB), а відносно подовження і ударна в'язкість близькі до нуля.

Мартенсит є крихкою структурою, пластично не деформується і ріжучим інструментом не обробляється.

### ***ПЕРЕТВОРЕННЯ $A \rightarrow M$ ПРИ ВИСОКІЙ ШВИДКОСТІ ОХЛАЖДЕННЯ***

Мартенсит є нерівноважною структурою. Атоми вуглецю, впроваджені в кристалічну решітку  $\alpha$ -заліза, створюють внутрішні напруги. Тому мартенсит має підвищений запас внутрішньої енергії. При нагріванні мартенситу вуглець виділяється з  $\alpha$ -твердого розчину, утворюючи при цьому цементит  $Fe_3C$ .

Мартенсит розпадається на ферито-цементитну суміш.

### ***ПЕРЕТВОРЕННЯ $A \rightarrow M$ ПРИ ВИСОКІЙ ШВИДКОСТІ ОХЛАЖДЕННЯ***

Мартенсит гартування - нерівноважна структура, що зберігається при низьких температурах. При загартуванні виникають великі внутрішні напруги в результаті об'ємних змін: мартенсит має більший обсяг, ніж аустеніт. Розрізняють чотири основних перетворення, що відбуваються при нагріванні загартованої сталі.

**I перетворення.** В інтервалі температур **80–200°C** в окремих ділянках вихідного мартенситу відбувається виділення найтонших пластин карбиду заліза, так званий  $\epsilon$ -карбід, за складом близький до  $Fe_2C$ . В результаті утворюється структура відпущений мартенсит.

**II перетворення.** В інтервалі температур **200–300°C** залишковий аустеніт переходить в відпущений мартенсит. При цьому відбувається зменшення тетрагонального мартенситу і при температурах ближче до 300°C починається відокремлення і зростання частинок карбиду.

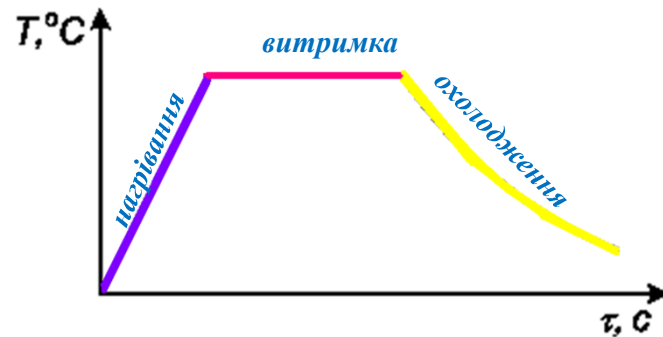
**III перетворення.** В інтервалі температур **300–400°C** карбідні частинки повністю відокремлюються, набувають будови  $Fe_3C$  і починають рости. Утвориться високодисперсна суміш фериту і цементиту, що називається тростит відпустку.

## ***Лекція 1.6.***

### ***ОСНОВНІ ВИДИ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ СТАЛІ***

1. Класифікація ТО
2. Відпал
3. Загартування
4. Відпуск

**Термічна обробка** являє собою сукупність операцій **нагрівання**, **витримки** та **охолодження**, які виконуються в певній послідовності при певних режимах, з метою зміни внутрішньої будови сплаву і отримання потрібних властивостей (представляється у вигляді графіка в осях температура - час)



### КЛАСИФІКАЦІЯ ВИДІВ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ



### ВІДПАЛ

**Відпал** є знеміцнюючою ТО.

**Відпал металів** – один з видів ТО, який полягає в нагріві (до визначеної температури, витримці і охолодженні (зазвичай повільному)).

При відпалі структури сплаву переходять у більш рівноважні стани, відбуваються рекристалізація, гомогенізація за складом.

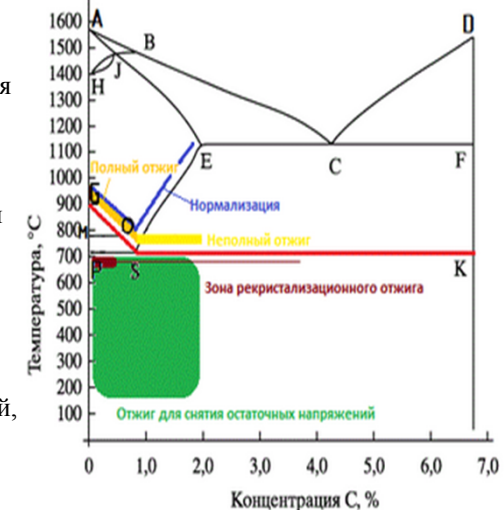
Відпалюванням сталі та інших сплавів досягають: зниження твердості, покращення оброблюваності різанням тиском, однорідності сплаву, поліпшення структури сплаву (за формою або розміром елементів), зняття внутрішніх напруг.

### Відпалом I роду

називають нагрівання сталі з нерівноважною в результаті попередньої обробки структурою до (або нижче) температури фазового перетворення.

**Мета:** Перевести сталь в більш стійкий, рівноважний стан.

### ВІДПАЛ



**ВІДПАЛ**

Приклад:




– рекристалізаційний відпал (низький) для зняття наклепу; пом'якшувальний відпал для поліпшення оброблюваності різанням.

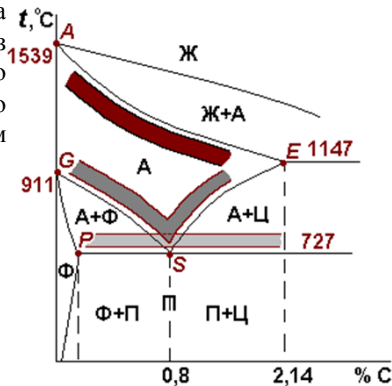
– рекристалізаційний відпал сталі полягає в нагріві до температур близько лінії PSK і витримці 0,5–1,5 год на ній. Відбувається рекристалізація фериту, що підвищує пластичність сталі і полегшує обробку тиском.

– пом'якшувальний відпал (відпал металів для зняття залишкових напруг) запобігає зміни розмірів і форми виробів з часом. Виконують нагріванням до температур 160–700°C з наступним повільним охолодженням. Застосовують для виливків, зварних виробів, пластично-деформованих деталей, оброблених деталей різанням;

**ВІДПАЛ**

**Відпалом II роду** називають нагрівання сталі вище лінії фазових перетворень (**GSK у разі відпалу сталі**), витримці, повільному охолодженні (на повітрі або разом з піччю, з відкритою або закритою дверцятами, з повністю або частково вимкненим нагріванням)

-  – неповний відпал;
-  – повний відпал і нормалізація;
-  – дифузійний відпал.



**ВІДПАЛ**

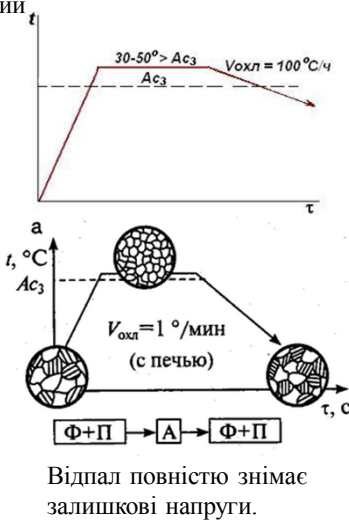
**Мета:** Отримати стійкий, рівноважний стан.

**Різновиди:**

1) **Повний відпал** доєвтектоїдних сталей виконується з метою повної фазової перекристалізації.

Таким чином, якщо структура була дефектна (великі зерна, зерна спотвореної форми тощо), то при повному відпалі вона виправляється, виходить однорідною і дрібнозернистою.

Сталь після відпалу має добрі пластичні властивості і низьку твердість. Це забезпечує хорошу оброблюваність сталі різанням і тиском.



Відпал повністю знімає залишкові напруги.

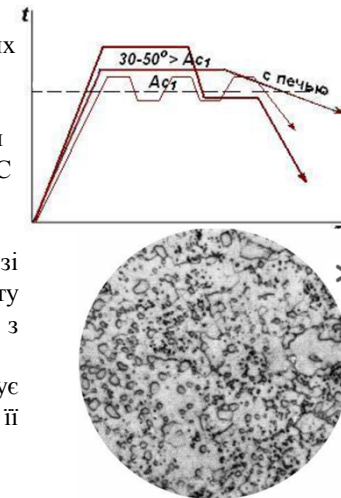
**ВІДПАЛ**

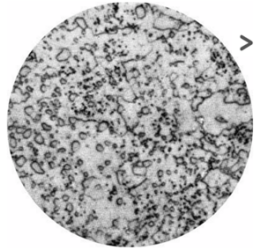
**Різновид:**

**Неповний відпал** заєвтектоїдних (інструментальних) сталей виконується з метою отримання структури зернистого перліту. Для цього сталь нагрівають на 30-50 °C вище критичної точки  $A_{c1}$  (тобто лінії PSK).

Інструментальні сталі зі структурою зернистого перліту м'якше і пластичніше, ніж з пластинчастим перлітом.

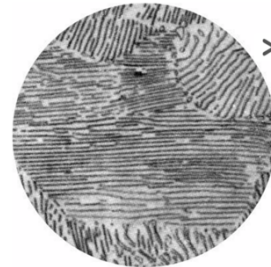
Цей спосіб відпалу підвищує оброблюваність сталі і покращує її структуру перед загартуванням.



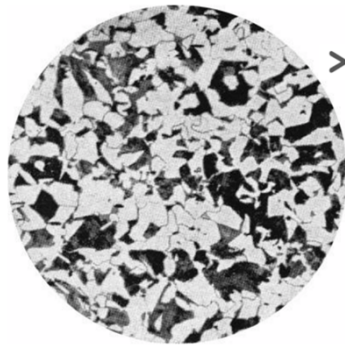
**ВІДПАЛ**

Відпал на зернистий перліт при 700° С протягом 2 год, охолодження на повітрі. Твердість 236 НV.

Термообробка: 845° С протягом 10 хв, Охолодження протягом 20 год до 500° С . Твердість НV 255

**ВІДПАЛ**

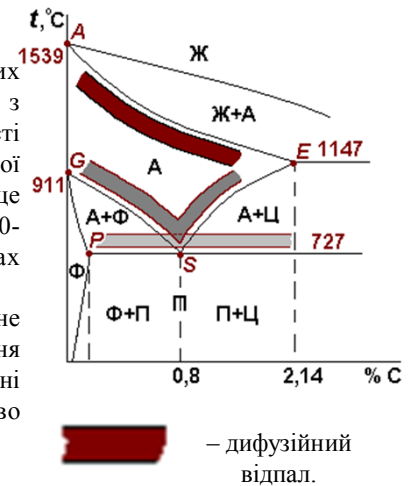
При неповному відпалі доєвтектоїдної сталі феритної складової структури не змінюється, так як ферит зберігається при нагріванні. Тому повного виправлення структури не відбувається.



Термообробка: 900° С протягом 5 хв, охолодження протягом 36 хв до 500° С. Твердість 189 НV.  
Поздовжній шліф. 60% фериту, 40% перліту. Феритні зерна шостого-сьомого балу

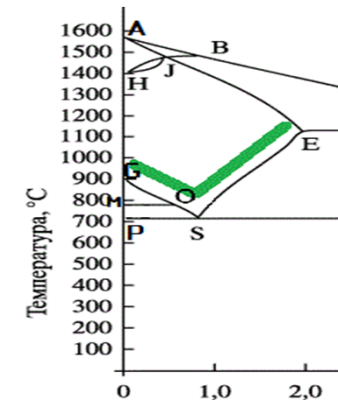
**ВІДПАЛ**

**Дифузійний відпал** сталевих виливків і поковок виконують з метою усунення неоднорідності литої або деформованої структури. Для сталей це найчастіше температури 1000-1200 ° С. При цих температурах робиться тривала витримка (8-15 год), а потім - повільне охолодження. Вирівнювання складу сталі покращує механічні властивості, особливо пластичність.

**ВІДПАЛ****Нормалізація.**

Нормалізація є різновидом відпалу II роду з прискореним охолодженням.

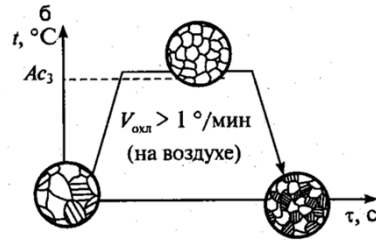
**Нормалізація** полягає в нагріванні сталі до температур на 50-70 °С вище лінії GSE і в охолодженні на повітрі після невеликої витримки. При нормалізації виходить більш дрібна перлитна структура, ніж при повному відпалі.





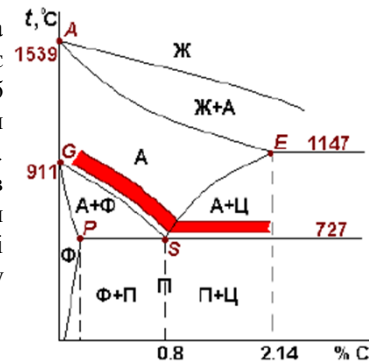
## ВІДПАЛ

Може утворитися сорбіт – більш дрібна структура, ніж перліт, ферито-цементитна суміш. Для доєвтектоїдних сталей нормалізація часто замінює повний відпал як більш продуктивна і економічна операція. Після нормалізації сталь твердіше і міцніше, ніж після повного відпалу. Мікроструктура теж відрізняється від рівноважної: ферит утворює сітку навколо ділянок перліту.



## ЗАГАРТУВАННЯ

**Загартування** – це зміцнююча ТО, що таким чином змінює структуру сталі, щоб максимально підвищити твердість і міцність. Загартування сталі полягає в нагріві її до температури утворення аустеніту, витримці при цій температурі і наступному швидкому охолодженні.



## ЗАГАРТУВАННЯ

**Мета:** отримання нерівноважної структури – пересиченого твердого розчину вуглецю в  $\alpha$ -залізі – мартенситу. **Практична мета** – отримання максимальної твердості, можливої для даної марки сталі. Швидке охолодження при загартуванні необхідно, щоб вуглець не встиг виділитися з твердого розчину – аустеніту – і залишився в решітці заліза після охолодження. Щоб загартувати сталь, необхідно **правильно вибрати температуру нагріву і швидкість охолодження. При виборі температури нагріву** діє наступне правило: доєвтектоїдні сталі нагріваються під загартування **на 30-50 °C вище критичної точки  $A_{c3}$** , а заєвтектоїдні – **на 30-50 °C вище точки  $A_{c1}$** .



Загартування з однофазної (**аустенітної**) області, з **температур вище  $A_{c3}$** , називається **повним**. Так гартують доєвтектоїдні (конструкційні) сталі.

Для заєвтектоїдної сталі такий високий нагрів не потрібен, так як вище точки  $A_1$ , але нижче лінії  $SE$  структура складається з аустеніту і цементиту. Загартування з **двофазної області**, де присутні аустеніт і цементит, або аустеніт і ферит, називається **неповним**.

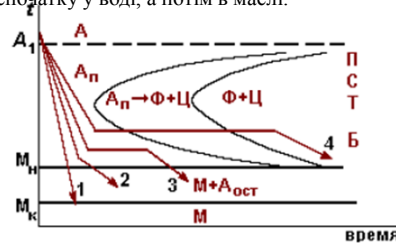
Такому гартуванню піддають заєвтектоїдні (інструментальні) сталі.

### ЗАГАРТУВАННЯ

За способом охолодження розрізняють:

1) Безперервне загартування (загартування в одному середовищі, крива 1). Це найбільш простий спосіб, але при цьому в деталі з'являються великі внутрішні напруги.

2) Загартування у двох середовищах, або переривчасте загартування (крива 2). При цьому спосіб сталі швидко охолоджується в інтервалі температур 750–400 °С, а потім деталь переноситься в інше, більш м'яке, охолоджувальне середовище, і в мартенситному інтервалі охолодження відбувається уповільнено. Це призводить до зменшення внутрішніх напружень і знижує ймовірність появи тріщин. Прикладом такого гартування може бути процес з охолодженням спочатку у воді, а потім в маслі.



### ЗАГАРТУВАННЯ

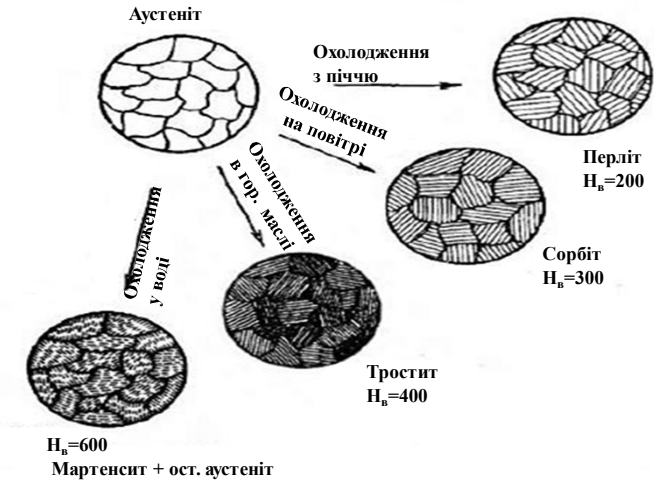
3) Ступінчасте загартування (крива 3), при якому нагріту деталь занурюють в рідке середовище з температурою на 20–30°С вище точки  $M_n$ . В якості рідких середовищ для ступінчастого загартування використовують розплави луг, селітри, легкоплавких металів.

4) Ізотермічне загартування (крива 4). Воно суттєво відрізняється від інших способів. Тут витримка в охолоджуючому середовищі при температурі бейнітного перетворення триває до повного розпаду аустеніту. У всіх попередніх випадках при загартовуванні відбувається утворення мартенситної структури, а в цьому випадку – бейніти.



Ступінчасте і переривчасте загартування зменшують напруги гартування. Ступінчасте і ізотермічне загартування частіше застосовують для легованих сталей.

### ЗАГАРТУВАННЯ



### ЗАГАРТУВАННЯ

Можливі **дефекти загартування**:

- перегрів** – крупне зерно;
- перепал** – окислення меж зерен, дуже крупне зерно;
- недогрів** – у доевтектоїдних сталей гарт з інтервалу  $A_{c1}$ - $A_{c3}$  призводить до двофазної структури (мартенсит + ферит) з низькими механічними властивостями;
- викривлення і тріщини** – викликаються внутрішніми напругами.

### ЗАГАРТУВАННЯ

З технологією загартування тісно пов'язано два важливих поняття.

**Загартованість** – це здатність сталі отримувати високу твердість при загартуванні. **Загартованість** залежить від вмісту вуглецю в сталі і характеризується максимальною можливою твердістю (HRC) для даної марки.

**Прокалюваність** – це здатність сталі отримувати загартований шар певної глибини.

### ВІДПУСК

Загартована сталь дуже тверда, але вона крихка, у неї низька пластичність і великі внутрішні напруги. В такому стані виріб не працездатний, не надійний в експлуатації.

Для зменшення внутрішніх напружень і підвищення пластичності після загартування завжди слідує ще одна операція, яка називається відпуск.

### ЗАГАРТУВАННЯ

При нагріванні сталі на повітрі її поверхня забарвлюється в різні кольори, звані кольорами мінливості (каління).

Температура, °С	Цвета каления
530 - 580	Темнокоричневый
580 - 650	Коричнево - красный
650 - 730	Темнокрасный
730 - 770	Темновишневый
770 - 800	Вишневый
800 - 830	Светловишневый
830 - 900	Светлокрасный
900 - 1050	Оранжевый
1050 - 1150	Темножелтый
1150 - 1250	Светложелтый
1250 - 1300	Яркобелый

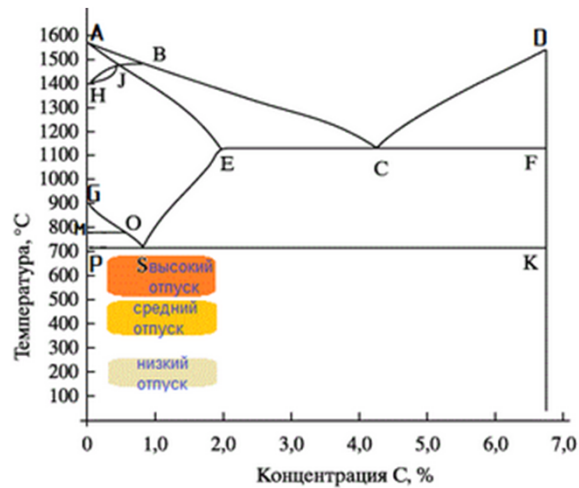
### ВІДПУСК

**Відпуск** – це обробка до температур нижче критичних з подальшим охолодженням, зазвичай на повітрі.

**Мета відпуску** – створення необхідного комплексу експлуатаційних властивостей сталі, отримання більш стійкої, ніж після загартування, структури, зменшення внутрішніх напружень.

**Відпуск** – остання операція в технологічному ланцюзі термообробки сталі, тому отримана при відпуску структура повинна забезпечувати властивості, необхідні при роботі деталі. В процесі відпуску **відбувається розпад мартенситу** за рахунок виділення з нього вуглецю, тим більш повний, чим більша температура і час витримки. Тому зменшуються внутрішні напруги і щільність дислокацій.

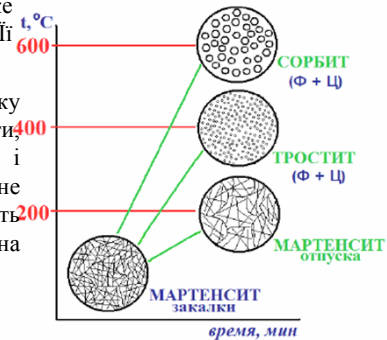
Залишковий аустеніт при відпуску перетворюється в мартенсит.

**ВІДПУСК****ВІДПУСК**

При низькотемпературному (або низький) відпуску (150-200 °С) з мартенситу виділяється частина надлишкового вуглецю з утворенням дрібних карбідних частинок. Але оскільки швидкість дифузії тут ще мала, деяка частина вуглецю в мартенситі залишається.

Така структура являє собою маловуглецевий мартенсит і дуже дрібні карбідні частинки. Її називають відпущений мартенсит.

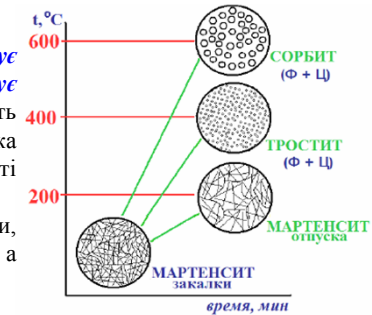
В результаті низького відпуску зменшуються внутрішні напруги, трохи збільшується в'язкість і пластичність, твердість майже не знижується. Деталі можуть працювати в умовах, де потрібна висока твердість і зносостійкість.

**ВІДПУСК**

**Середньотемпературний (або середній) відпуск** проводиться при більш високих температурах – 300-450 °С. При цьому з мартенситу вже виділяється весь надлишковий вуглець з утворенням цементитних частинок. Тетрагональне спотворення кристалічної решітки заліза знімається, вона стає кубічною. Мартенсит перетворюється в ферито-цементитну суміш з дуже дрібними, у вигляді голочок, частками цементиту, яка називається **троситом відпуски**.

Середній відпуск **зменшує внутрішні напруги, збільшує в'язкість**, при цьому міцність залишається високою, а межа текучості і межа витривалості досягають максимуму.

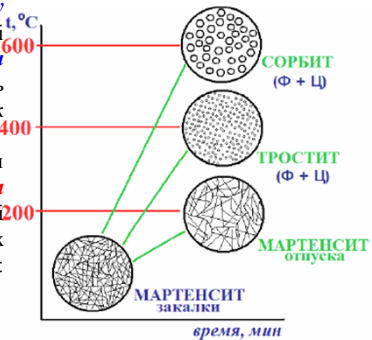
Такого відпуску піддають ресори, пружини та інші пружні елементи, а також штампового інструменту.

**ВІДПУСК**

В інтервалі 500-650 °С швидкість дифузійних процесів вже настільки зростає, що при розпаді мартенситу утворюється ферито-цементитна суміш з більш великими, сферичної форми, зернами цементиту. Такий відпуск називається **високотемпературним (або високим)**; одержувана структура – **сорбіт відпуску**.

В результаті **високого відпуску** **сильно зростають в'язкість і пластичність** сталі, внутрішні **напруги знімаються** майже повністю, твердість і міцність знижуються, але все ж залишаються досить високими.

Гартування з високим відпуском називається **термічним поліпшенням сталі**. Такій обробці піддають деталі машин, що працюють в умовах знакозмінних і ударних навантажень: вали, важелі, шестерні та ін.



**ВІДПУСК**  
за кольорами мінливості (каління)

Температура, °C	Цвета отпуска (побежалости)
220	Светложелтый
240	Соломенно - желтый
255	Коричнево - желтый
265	Красно - коричневый
275	Пурпурно - красный
285	Фиолетовый
295	Синий
315	Светлосиний
330	Серый

**ЗАГАРТУВАННЯ**

При нагріванні сталі на повітрі її поверхня забарвлюється в різні кольори, звані кольорами мінливості (каління).

Температура, °C	Цвета каления
530 - 580	Темнокоричневый
580 - 650	Коричнево - красный
650 - 730	Темнокрасный
730 - 770	Темновишневый
770 - 800	Вишневый
800 - 830	Светловишневый
830 - 900	Светлокрасный
900 - 1050	Оранжевый
1050 - 1150	Темножелтый
1150 - 1250	Светложелтый
1250 - 1300	Яркобелый

**ВІДПУСК**  
за кольорами мінливості (каління)

220	
240	
255	
265	
275	
285	
295	
315	
330	



### **ПОВЕРХНЕВЕ ЗМІЦНЕННЯ**

Для деяких деталей при експлуатації необхідна висока твердість і зносостійкість поверхні у поєднанні з хорошою в'язкістю в серцевині.

Це стосується деталей, що працюють в умовах зносу з одночасною дією динамічних навантажень (наприклад, шестірні, пальці, що скріплюють ланки траків гусеничних машин).

У таких випадках піддають зміцненню не всю деталь, а тільки тонкий (кілька мм) поверхневий шар.

**Поверхнєве загартування** – це нагрівання до гартовних тільки температур поверхневого шару деталі з наступним швидким охолодженням і утворенням мартенситної структури лише в цьому шарі.

Здійснюють таке загартування швидким нагріванням поверхні, при якому серцевина не встигає прогріватися за рахунок теплопровідності. При такому нагріванні температура по перерізу деталі різко падає від поверхні до центру.

Після охолодження в перерізі деталі виходять три характерні зони з різною структурою і властивостями.

