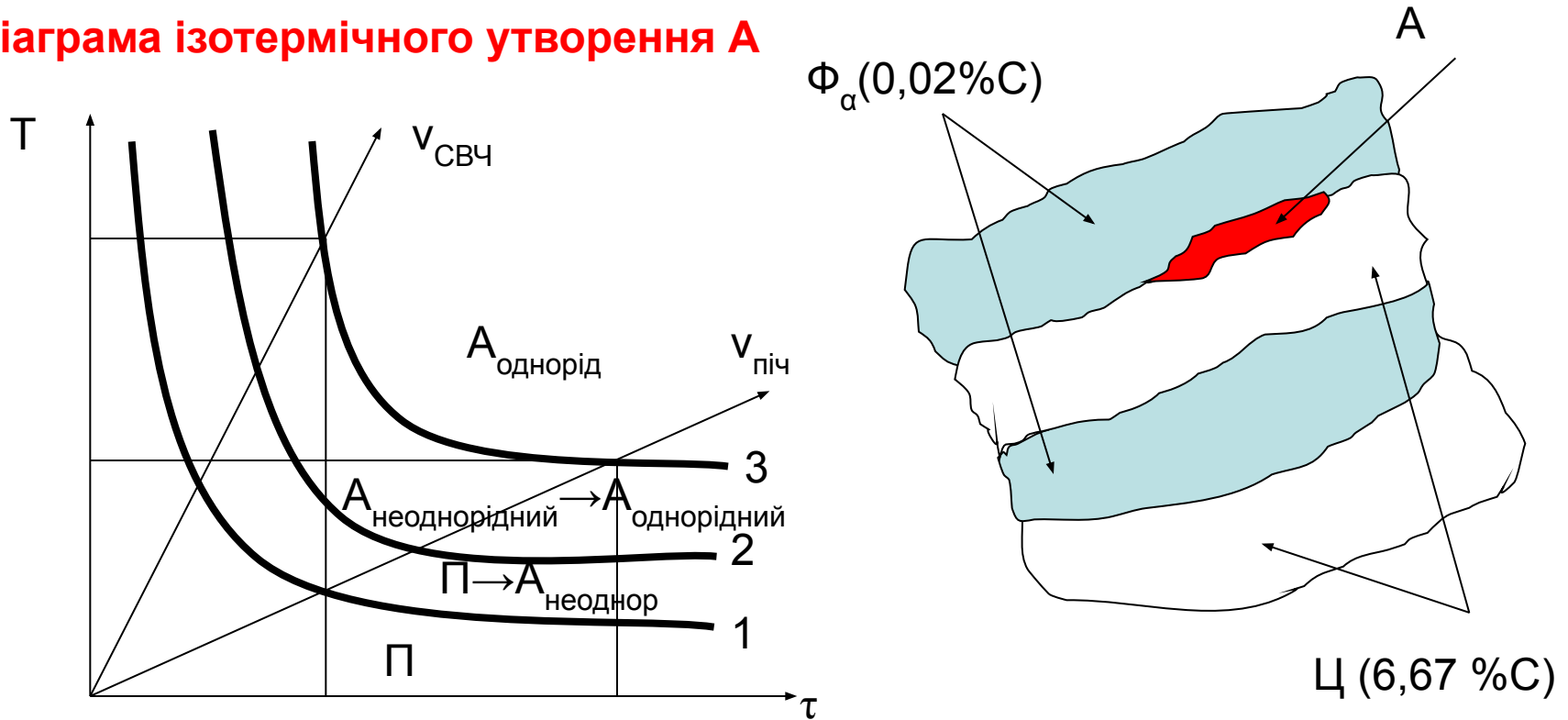


Теорія і практика термічної обробки та поверхневого зміцнення

1. Утворення аустеніту в сталі при нагріванні.
2. Характеристика діаграми ізотермічного перетворення аустеніту.
3. Особливості перлітного, бейнітного і мартенситного перетворення.
4. Перетворення при відпусканні загартованої сталі.
5. Загальна характеристика та призначення основних видів термічної обробки.
6. Способи поверхневого зміцнення.

1. Утворення аустеніту в сталі при нагріванні.

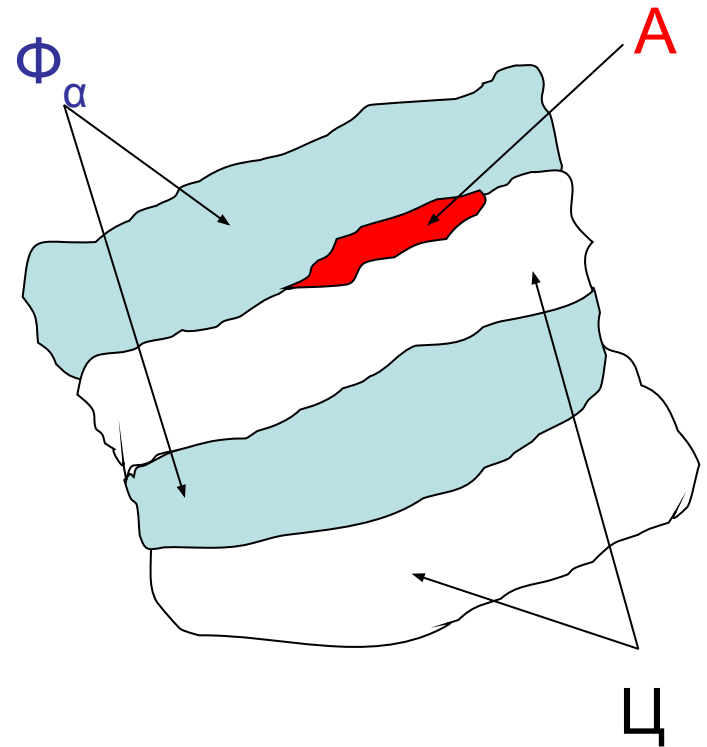
Діаграма ізотермічного утворення А



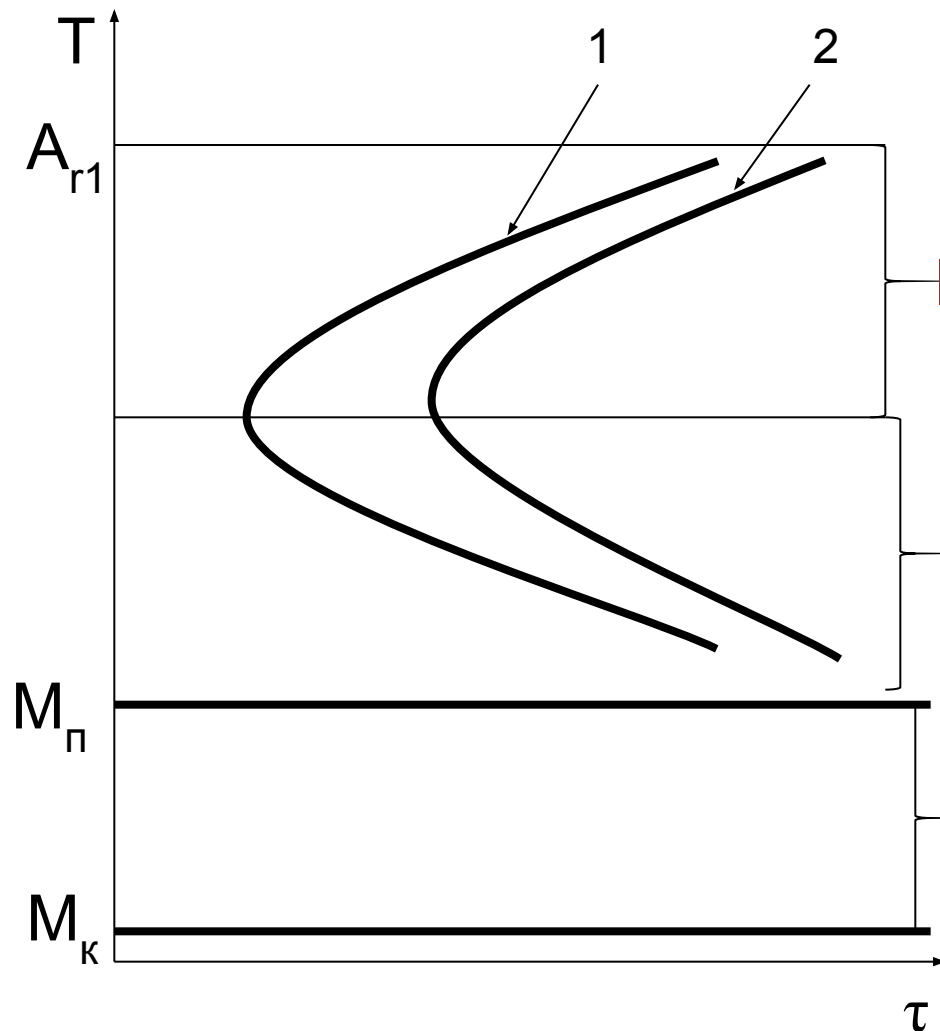
- 1) чим більше швидкість нагріву, тим при більш високих температурах відбувається перетворення;
- 2) чим більше швидкість нагріву, тим скоріше відбувається перетворення.

Механізм утворення аустеніту при нагріванні

- Процес утворення А при нагріванні має дифузійний характер
- Складається з двох процесів:
 1. Поліморфного $\alpha \rightarrow \gamma$ перетворення в Fe, тобто перебудови ОЦК решітки на ГЦК
 2. Розчинення Ц у γ -Fe



2. Характеристика діаграми ізотермічного перетворення аустеніту.



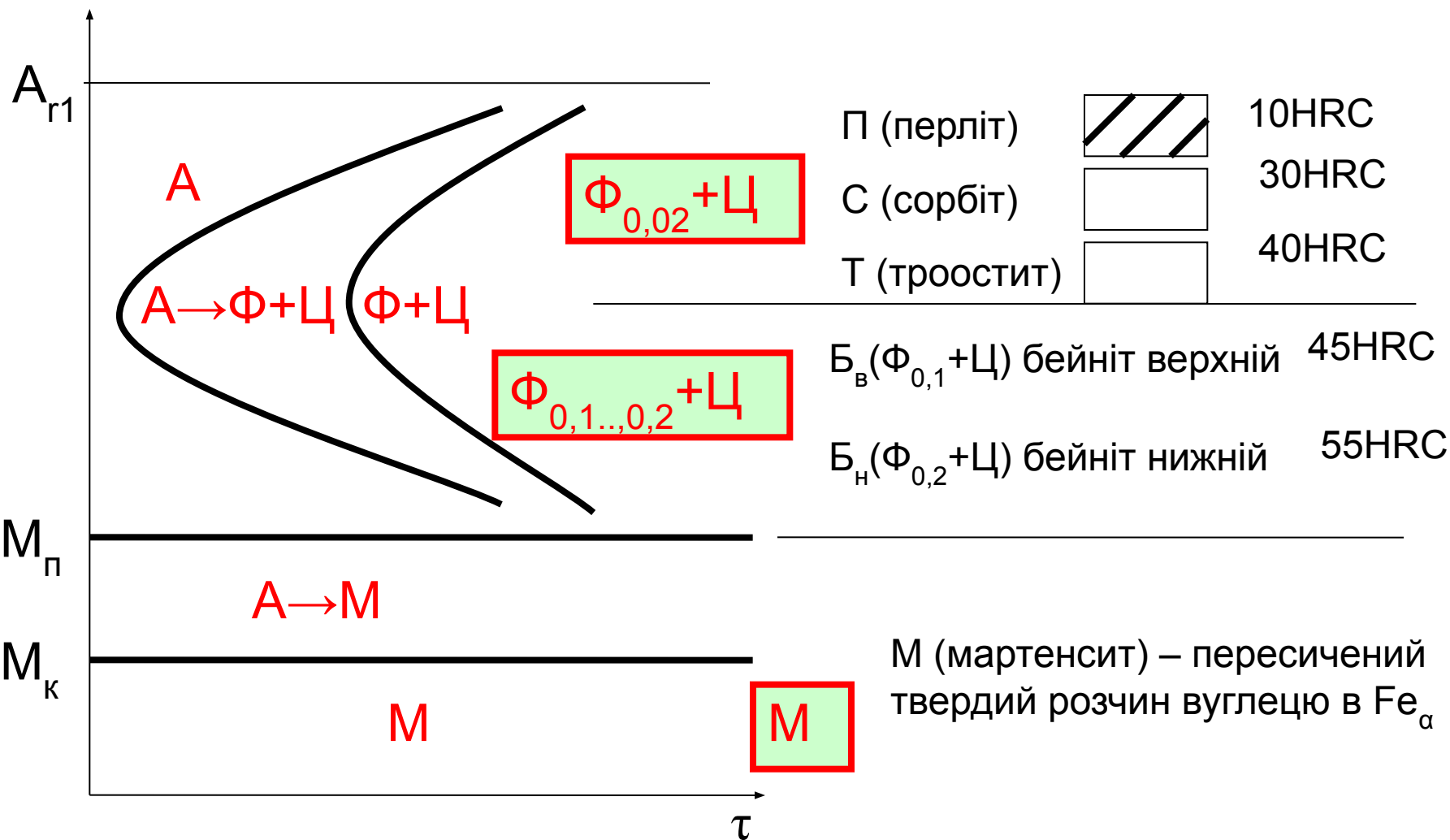
Значення областей діаграми

- I – область **перлітного** перетворення (дифузійне)
- II – область **бейнітного** (проміжного) перетворення (дифузійно-зсувне)
- III – область **мартенситного** перетворення (зсувне)

Значення ліній діаграми

- 1 – лінія, яка показує температуру і час початку розпаду аустеніту
- 2 – лінія, яка показує температуру і час кінця розпаду аустеніту
- M_n – температура початку мартенситного перетворення
- M_k – температура кінця мартенситного перетворення

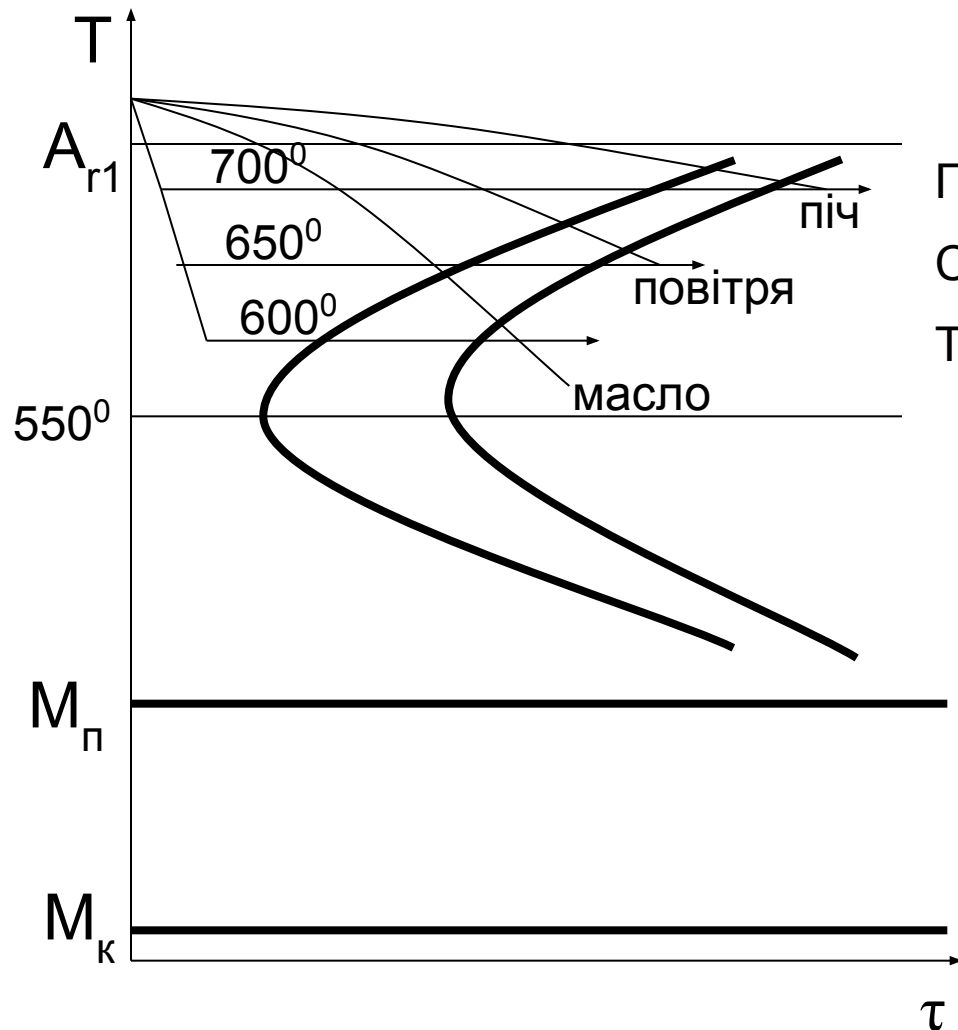
Фазовий склад продуктів перетворень



Причина зростання твердості

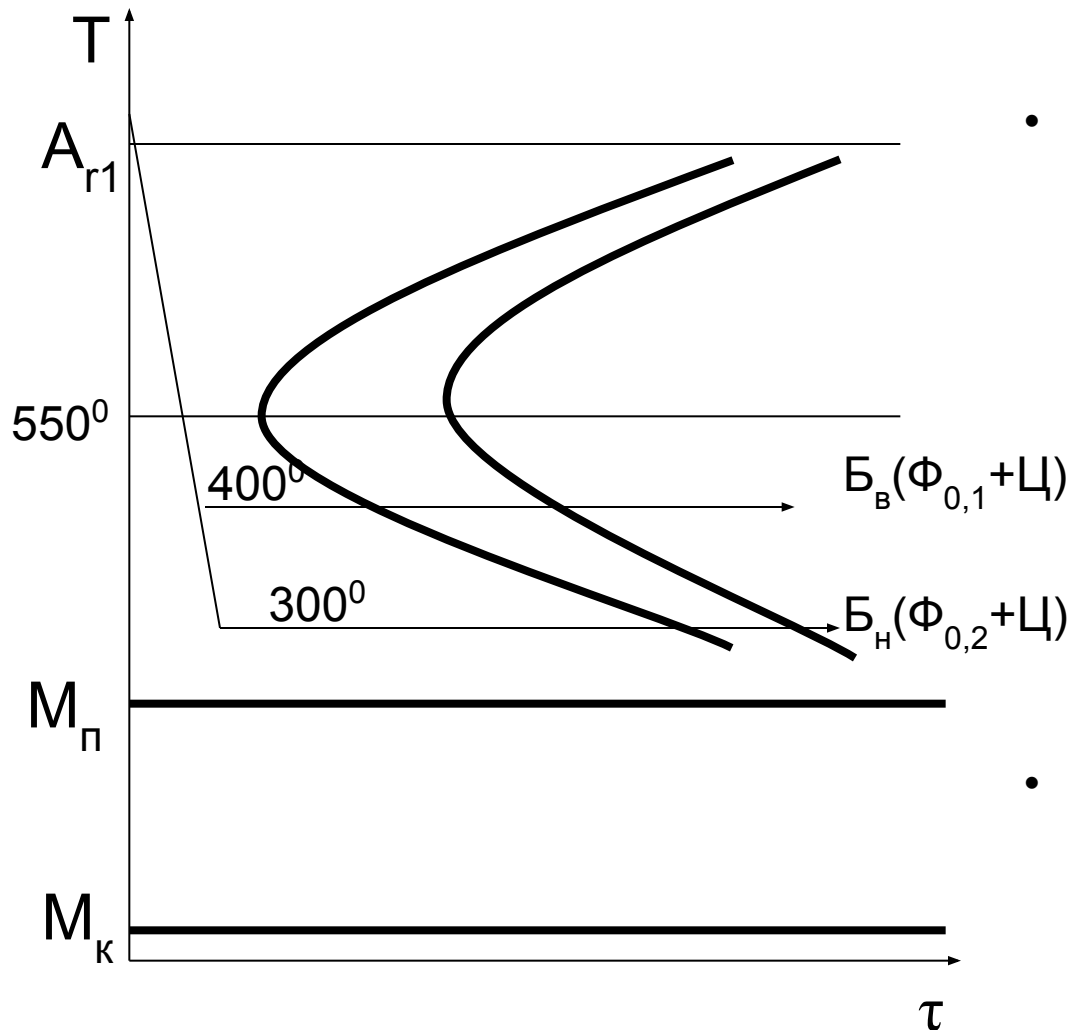
- **Перлітних структур:** подрібнення структури
- **Бейнітних структур:** часткове викривлення кристалічної решітки заліза внаслідок пересичення на вуглець в 5...10 разів
- **Мартенситу:** значне викривлення кристалічної решітки заліза через значне пересичення на вуглець

Основні особливості перлітного перетворення



- Має **дифузійний** характер і складається з двох процесів:
 - Поліморфного $\gamma \rightarrow \alpha$ перетворення в Fe, тобто перебудови ГЦК решітки на ОЦК
 - Виділення C із α -Fe
- У вуглецевих сталях може відбуватись як при **безперервному охолодженні**, так і при **сталій** температурі

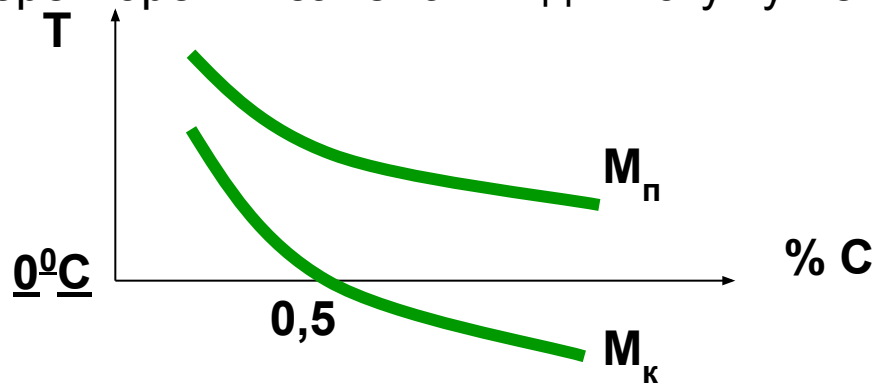
Основні особливості бейнітного перетворення



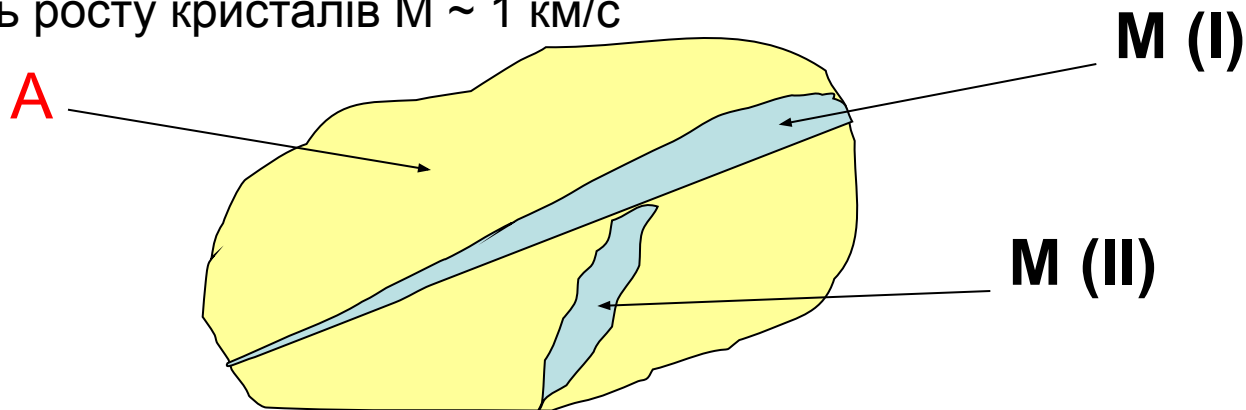
- Має **дифузійно-зсувний** характер і складається з двох процесів:
 - Поліморфного $\gamma \rightarrow \alpha$ перетворення в Fe, тобто перебудови ГЦК решітки на ОЦК
 - Часткового виділення Ц із α -Fe, через що має місце утворення частково пересиченого фериту
- У **вуглецевих** сталях може відбуватись **тільки** при **сталій** температурі

Основні особливості мартенситного перетворення

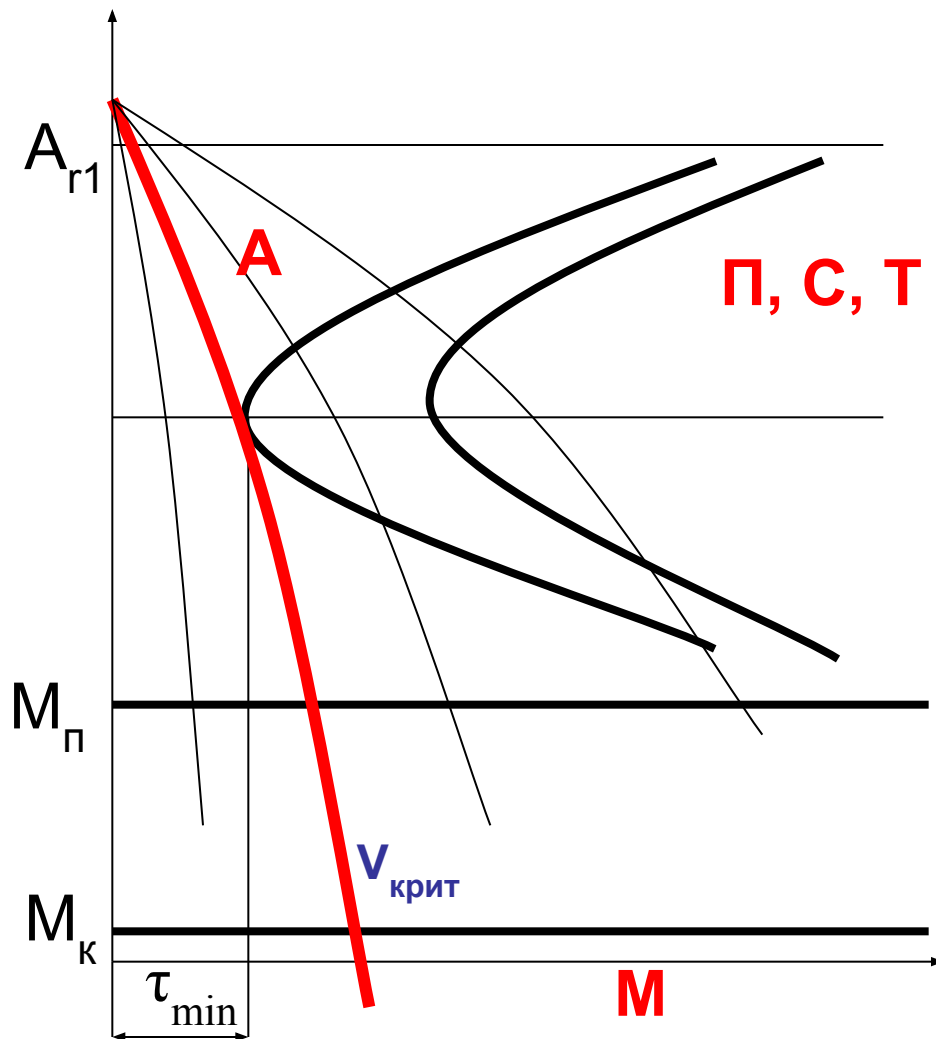
- Перетворення **бездифузійне (зсувне)** та відбувається в інтервалі температур $M_p \rightarrow M_k$
- Температури перетворення залежать від вмісту вуглецю в сталі



- Швидкість росту кристалів $M \sim 1 \text{ км/с}$



Перетворення при безперервному охолодженні



У вуглецевій сталі при безперервному охолодженні можуть мати місце **перлітне** та **мартенситне** перетворення

Критична швидкість охолодження $V_{крит}$ – це мінімальна швидкість охолодження, при якій весь аустеніт перетворюється на мартенсит

τ_{min} – час мінімальної стійкості аустеніту проти розпаду

4. Перетворення при відпусканні загартованої сталі.

- Перше: $t < 200^{\circ}\text{C}$

$M_{\text{гартування}} \rightarrow M_{\text{відпуску}}$: зникає крихкість, а **твердість** залишається на тому ж рівні

- Друге : $200^{\circ}\text{C} < t < 300^{\circ}\text{C}$

$A_{\text{залишковий}} \rightarrow M_{\text{відпуску}}$: у високовуглецевих сталях дещо зростає твердість та розміри (на 3 %)

- Третє : $350^{\circ}\text{C} < t < 450^{\circ}\text{C}$

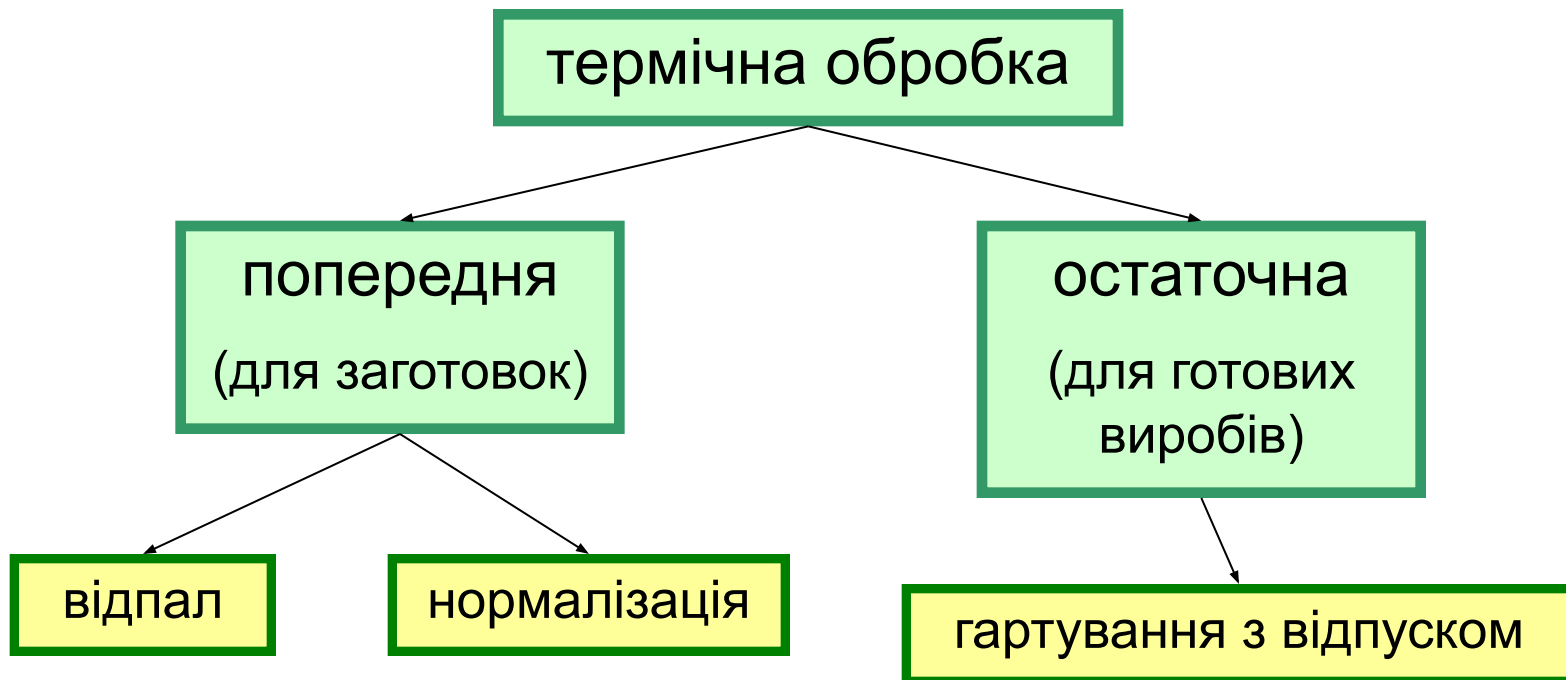
$M_{\text{відпуску}} \rightarrow T_{\text{зернистий}}(\text{Ф+Ц})$: знижується міцність та зростає **пружність**

- Четверте : $500^{\circ}\text{C} < t < 600^{\circ}\text{C}$

$T_{\text{зернистий}} \rightarrow C_{\text{зернистий}}$: відбувається коалесценція (укрупнення) карбідів, міцність ще знижується, але значно зростає **в'язкість**

5. Загальна характеристика та призначення основних видів термічної обробки.

Термічна обробка – це сукупність технологічних операцій нагрівання, витримування та охолодження, яку призначають з метою зміни механічних властивостей матеріалів.



Відпал знімає напруження в структурі, викликані попередньою обробкою, знижує твердість та готує сталь до подальшої обробки. Охолодження у **печі**.

Відпал

I роду

(підвищення температури лише **прискорює** процеси, які йдуть мимовільно)

дифузійний

усуває ліквацию
1000...1200°C

для зняття напружень

160...700°C

рекристалізаційний

знімає наклеп
(0,3...0,4) $T_{\text{плавл}}$

II роду

(підвищення температури **викликає** необхідні фазові перетворення)

повний

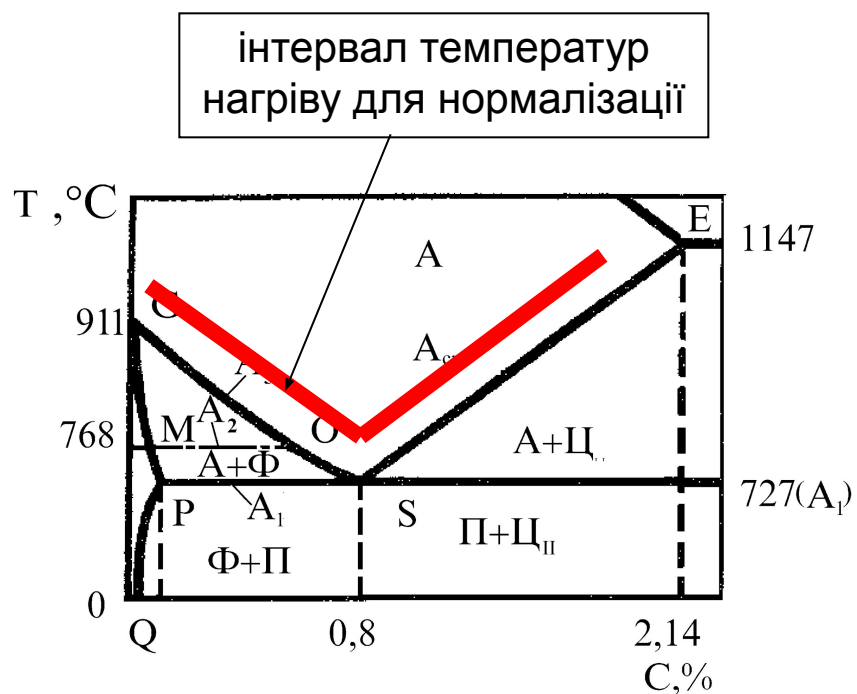
$A_{c3} + 30...50^\circ\text{C}$
(добретектоїдні сталі)

неповний

$A_{c1} + 30...50^\circ\text{C}$
(на зернистий перліт)
(евтект. та заевт.сталі)

ізотермічний (сталі із стійким A)
у двох печах: у I – вище, а у II -
нижче відповідних критичних точок

Нормалізація знімає напруження в структурі, викликані попередньою обробкою, знижує твердість та готує сталь до подальшої обробки. Охолодження **на повітрі**, що є перевагою перед відпалом для доевтектоїдних сталей.



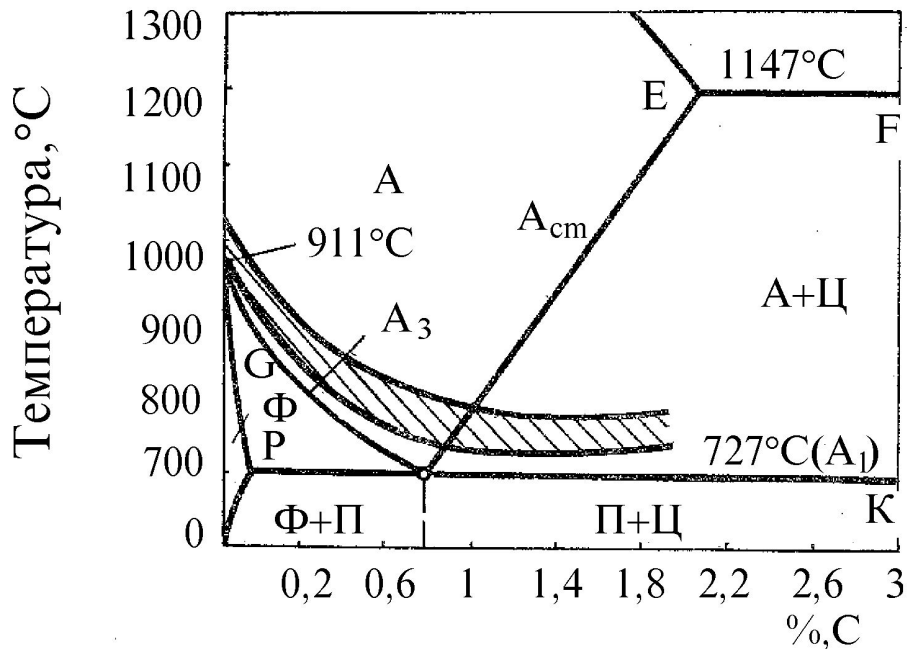
При нормалізації **всі** сталі нагрівають до **аустенітного** стану. При цьому можна змінити розмір зерна і отримати **дрібніше** зерно, ніж при **відпалі**. В результаті міцність дещо зростає.

Температури нагріву:

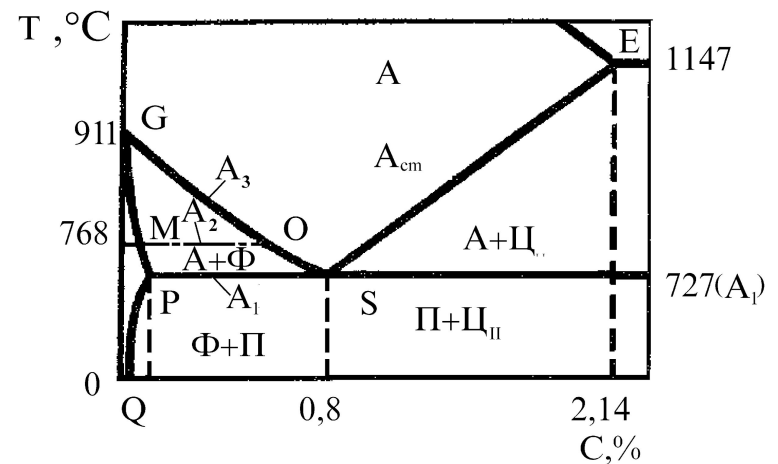
- доевтектоїдні сталі $A_{c3} + 30 \dots 50^\circ\text{C}$
- евтектоїдні сталі $A_{c1} + 30 \dots 50^\circ\text{C}$
- заевтектоїдні сталі $A_{cm} + 30 \dots 50^\circ\text{C}$

Гартування сталі

Повне ($A_{c3} + 30...50^{\circ}\text{C}$) –
для доевтектоїдних
сталей ($\%C < 0,8$)



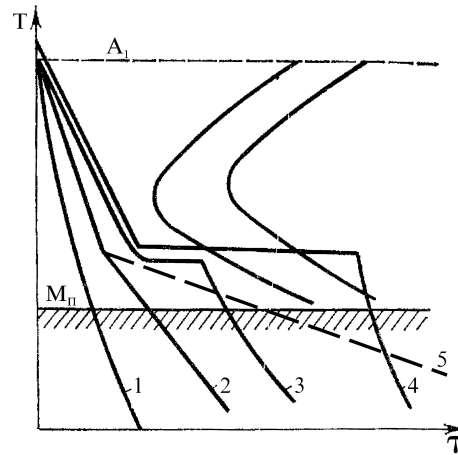
Неповне ($A_{c1} + 30...50^{\circ}\text{C}$)
– для евтектоїдних та
заевтектоїдних сталей
($\%C \geq 0,8$)



Мета – **зміцнення** сталі.

Гартівні середовища: для вуглецевих доевтектоїдних сталей з $\%C < 0,5$ - вода, для інших з метою попередження напружень і виникнення тріщин використовують різні **способи** гартування.

Способи гартування сталі



мартенсит

1. Гартування в одному середовищі
2. Гартування у двох середовищах (переривчасте)
3. Ступінчасте гартування
4. Ізотермічне гартування

Ф+Ц

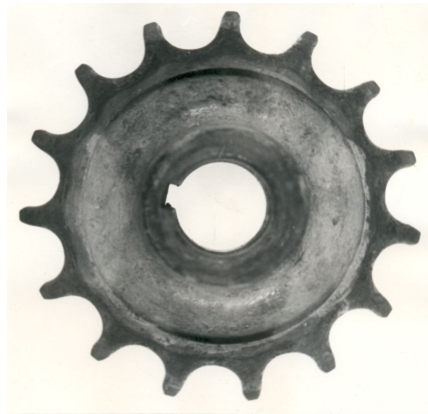
Види відпуску та їх призначення

Відпуск завершує термічну обробку виробів і надає їм кінцевих властивостей, через що розрізняють **три** види відпуску:

- **низький** ($150...200^{\circ}\text{C}$) – знімає крихкість та **зберігає твердість** (різальний та вимірювальний інструмент, поверхні тертя після поверхневого гартування або цементовані та загартовані поверхні)
- **середній** ($300...450^{\circ}\text{C}$) – надає **пружність** (пружини та ресори)
- **високий** ($500...600^{\circ}\text{C}$) – надає **в'язкість** при достатній міцності

6. Способи поверхневого зміцнення.

Конструктивна міцність багатьох деталей машин залежить від стану матеріалу в поверхневих шарах деталей. Саме для надання в першу чергу високої зносостійкості такі вироби піддають поверхневому зміцненню.



а



б

Профілі зубців зірочок ланцюгових передач:

а – після половини терміну експлуатації;

б – після повного терміну роботи.

В залежності від:

- вимог до властивостей поверхні
 - умов роботи деталі
 - матеріалу, з якого виготовлено деталь
- використовують:



Види поверхневого гартування

```
graph TD; A[Види поверхневого гартування] --> B[з нагрівом струмом високої частоти]; A --> C[з нагрівом полум'ям пальника]; A --> D[з лазерним нагрівом];
```

з нагрівом струмом
високої частоти

з нагрівом полум'ям
пальника

з лазерним нагрівом

Поверхнєве гартування з нагрівом струмом високої частоти

- можливість механізації та автоматизації процесу

Нагрів СВЧ ґрунтується на тому, що у виробі, який вміщено в індуктор з червоної міді, яким іде СВЧ, виникають *вихрові струми*, що супроводжується виділенням тепла.

Генератори СВЧ

лампові

(з частотою 104...107 Гц)
шар від часток міліметрів
до 2...4 мм (деталі
невеликого розміру)

машинні

(з частотою 500...104 Гц)
шар 2 ... 10 мм
(великі деталі).

Основні переваги:

- Індукційне гартування характеризується високою швидкістю обробки (швидкість нагріву сягає 500 К/с, що на 2...4 порядки більше швидкості пічного нагріву)
- економічність процесу при масовому виробництві однотипних деталей,
- можливість механізації та автоматизації процесу

Поверхнєве гартування з нагрівом полум'ям пальника

Для поверхневого гартування **крупногабаритних** виробів та в умовах **ремонтного** господарства використовують поверхнєве гартування з нагрівом **полум'ям пальника**.

Газокиснєве полум'я з температурою 2000...3000⁰С спрямовують на потрібну ділянку поверхні. Шар глибиною 2...4 мм розігрівається до температур, вищих за A_{c3} . Потім на розігріту ділянку крізь отвори в охолоджуючій частині наконечника пальника вибризкується вода.

Недоліки:

неточне регулювання глибини та температури загартованого шару;
можливість значного перегріву.

Поверхнєве гартування з лазерним нагрівом

Переваги:

- швидкість лазерного нагріву становить $10^4 \dots 10^6$ К/с, що на 2...4 порядки вище швидкості індукційного, внаслідок чого приповерхнєві внутрішні шари залишаються холодними;
- після припинення нагріву відбувається охолодження поверхневого шару за рахунок відведення тепла в сусідні холодні шари, тобто **гартівне середовище не потрібне**;
- під час лазерного нагріву утворюється дуже дрібне аустенітне зерно і залишаються нерозчинені частки карбідів, що зумовлює підвищену міцність і зносостійність поверхневого шару (звичайно до 1 мм завтовшки);
- завдяки надто малому часу перебування сталі при високій температурі окисленість поверхні зводиться до мінімуму.

Недолік: складність обладнання та коштовість обробки

Поверхнєве змцнення наклепом

Поверхнєве змцнення **наклепом** використовується як **заклучна** операція пiсля механiчної обробки (або пiсля механiчної i термiчної обробки).

Наклеп роблять :

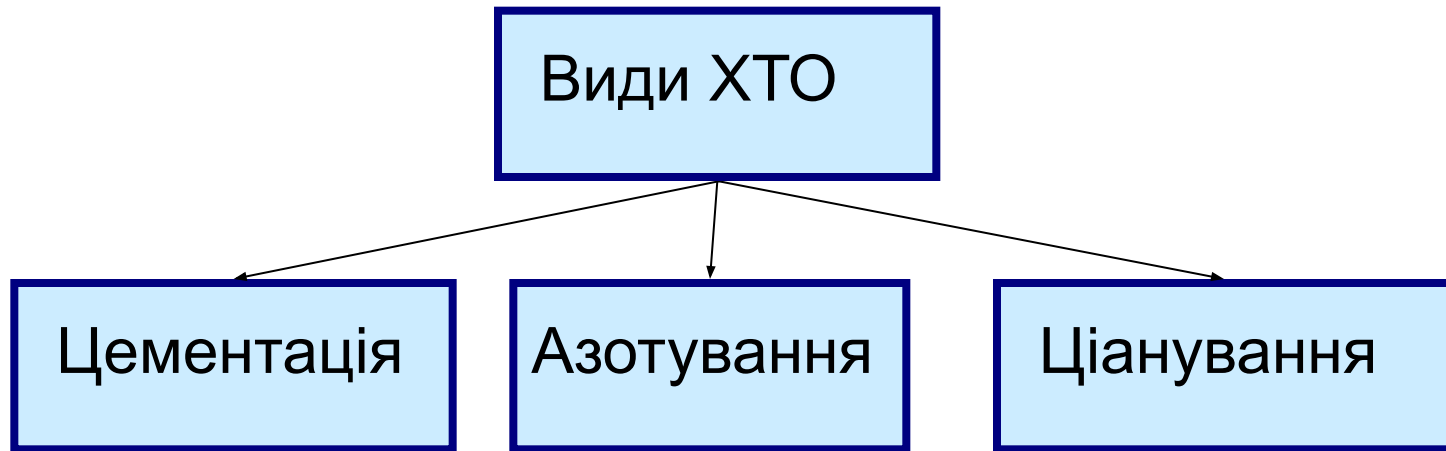
- стальним або чавунним **дробом** в середньому на глибину до 0,5 мм,
- накаткою **роликом** до 5 мм
- **чеканкою** до 15 мм.

Всi цi методи пiдвищують твердiсть i стiйкiсть стальних поверхонь проти спрацювання, а головне, значно пiдвищують **границю витривалостi** i термiн служби деталей, що працюють пiд дiєю змiнних i ударних навантажень (пружини, ресори, шийки колiнчастих валiв та iн.).

Пiдвищення механiчних властивостей пов'язане з утворенням **напружень стиску** в поверхневих шарах, а загальне змцнення - через зростання густини дислокацiй в поверхнi при пластичнiй деформацiї.

Хіміко-термічна обробка

Сутність: насичення робочих поверхонь виробів певними елементами з метою надання поверхневому шару необхідних властивостей.

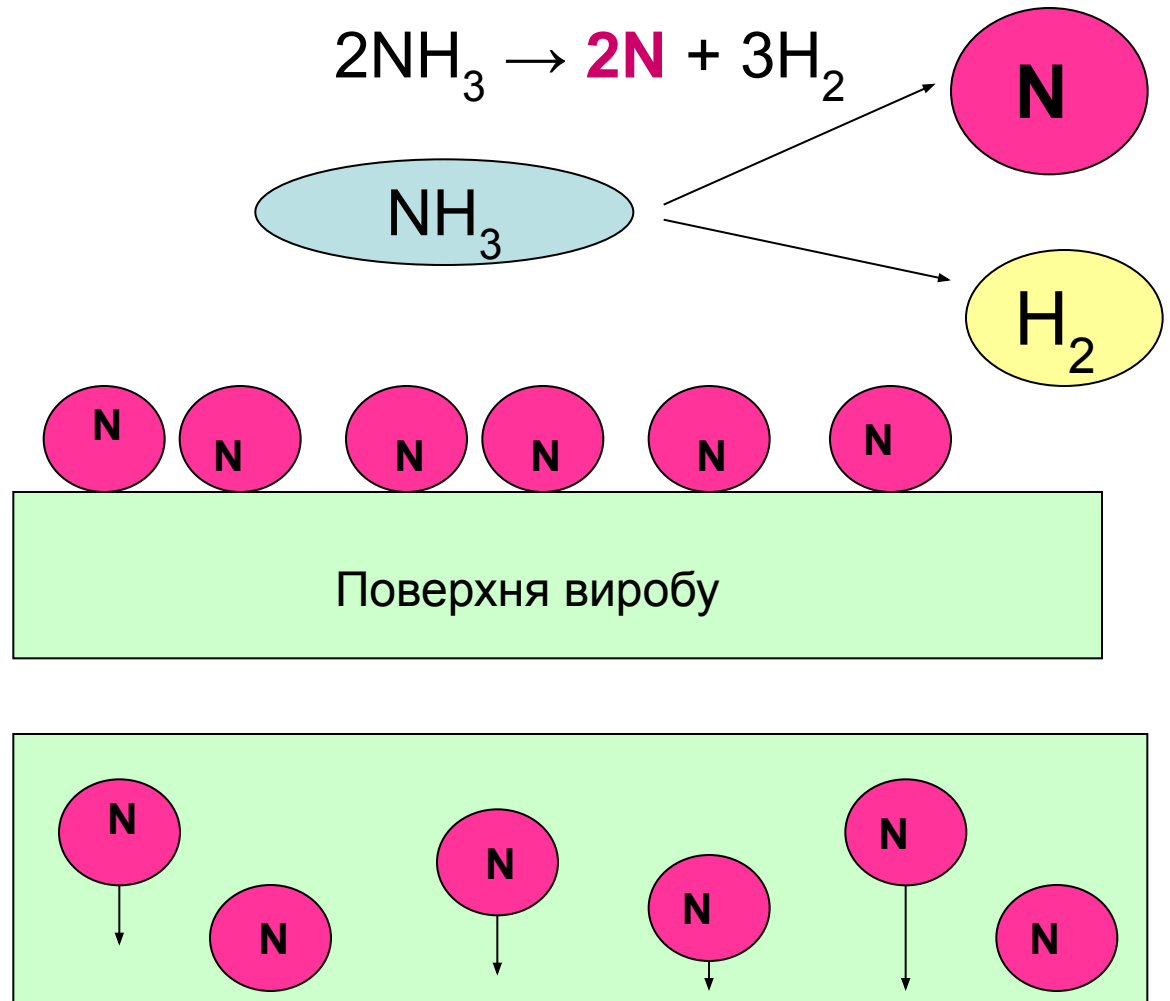


Умови:

- розчинення насичуючого елемента в матеріалі деталі у твердому стані;
- наявність насичуючого елемента у активному атомарному стані

Основні процеси при ХТО

- Дисоціація
(розпад молекул з утворенням активних атомів потрібного елемента)
- Абсорбція
(налипання активних атомів на поверхню виробу та встановлення міжатомних зв'язків)
- Дифузія
(проникнення атомів насичуючого елемента у глибину виробу)



Цементація

(поверхнєве насичення вуглецем)

у газовому
карбюризаторі
(природний газ)

у твердому
карбюризаторі
(сода + вугілля)

у рідкому
карбюризаторі
(розплави солей)

Мета: підвищення твердості та зносостійкості поверхні

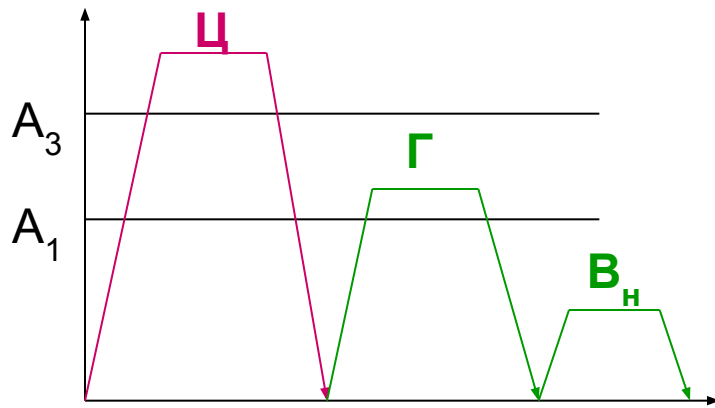
Основні параметри процесу:

- температура 880...920⁰C
- глибина шару 0,4...2,0 мм
- швидкість процесу: газова – 0,15 мм/год; тверда – 0,1 мм/год

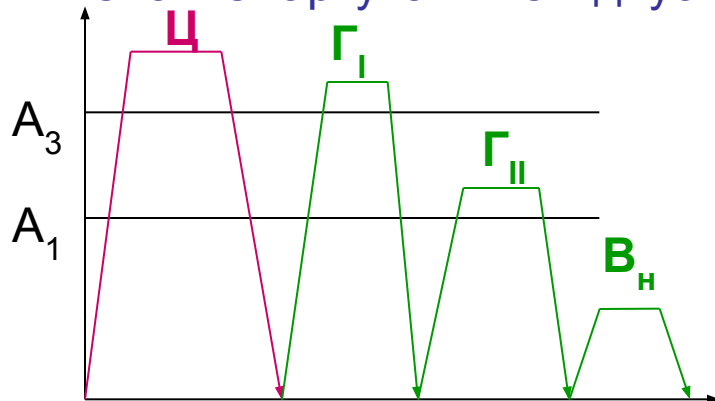
Роль термічної обробки при цементації

Призначення: формує кінцеві властивості поверхневого шару

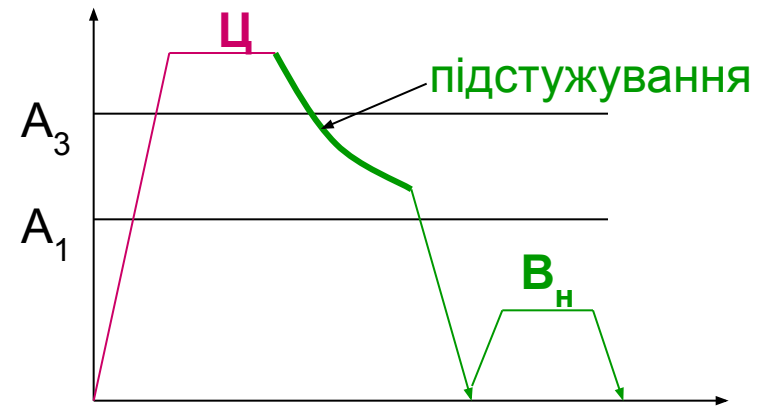
Стандартна термічна обробка: гартування (неповне або поверхневе з нагрівом СВЧ) з наступним низьким відпуском



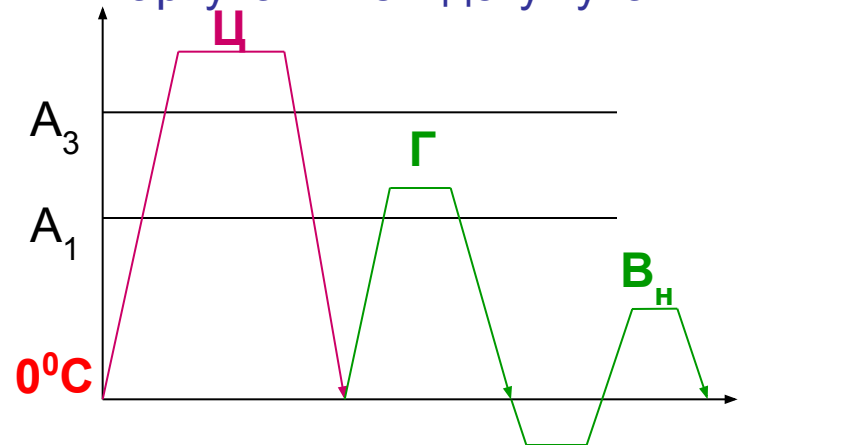
Неповне гартування з відпуском



Подвійне гартування



Гартування з підстижуванням



Гартування з обробкою холодом

Азотування

(поверхнєве насичення азотом)

Мета: підвищення твердості, червоностійкості та корозійної стійкості поверхні

Основні параметри процесу:

- температура: 500...600⁰C (твердість, теплостійкість), 700⁰C (корозійна стійкість)
- глибина шару 0,2...0,4 мм
- швидкість процесу 0,01 мм/год (газове)

Термічна обробка проводиться до азотування: повне гартування з високим відпуском

Ціанування

(поверхнєве насичення вуглецем і азотом)

у газовому
середовищі
(нітроцементация)

у твердому
середовищі

у рідкому
середовищі

Основні параметри процесу:

- температура: високотемпературне ціанування - $^{\circ}\text{C}$; низькотемпературне ціанування - $^{\circ}\text{C}$
- глибина шару
- швидкість процесу

Термічна обробка:

- при високотемпературному процесі проводиться після ціанування або нітроцементациї – неповне гартування з наступним низьким відпуском
- при низькотемпературному процесі проводиться до ціанування – неповне гартування з високим відпуском