

МЕХАНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

**Кафедра «Матеріали та технологія виготовлення виробів
транспортного призначення»**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до лабораторних робіт
з дисципліни**

«МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТА ТКМ»

Розділ «Матеріалознавство»

Харків 2009

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до
друку на засіданні кафедри МТВ 3 грудня 2007 р., протокол № 8.

Рекомендуються для студентів механічного факультету
денної форми навчання.

Укладачі:

проф. Л.А. Тимофєєва,
доценти Г.Л. Комарова,
Н.М. Можарова,
асист. І.І. Федченко

Рецензент

доц. Е.С.Геворкян

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторних робіт
з дисципліни

«МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТА ТКМ»

Розділ «Матеріалознавство»

Відповідальний за випуск Тимофєєва Л.А.

Редактор Ібрагімова Н.В.

Підписано до друку 22.01.08 р.

Формат паперу 60x84 1/16 . Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 2,75. Обл.-вид.арк. 3,0.

Замовлення № Тираж 100. Ціна

Видавництво УкрДАЗТу, свідоцтво ДК № 2874 від. 12.06.2007 р.
Друкарня УкрДАЗТу,
61050, Харків - 50, пл. Фейєрбаха, 7

Міністерство транспорту та зв'язку України
Українська державна академія залізничного транспорту

механічний факультет

Кафедра «Матеріали та технологія виготовлення виробів
транспортного
призначення»

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни
«Матеріалознавство та ТКМ»
Розділ «Матеріалознавство»
для студентів механічного факультету денної форми навчання

Харків 2008

Методичні вказівки для лабораторних робіт з дисципліни «Матеріалознавство та ТКМ» розділ «Матеріалознавство» для студентів механічного факультету денної форми навчання були розглянуті та рекомендовані до друку на засіданні кафедри МТВ 03 грудня 2007року, протокол №8.

Призначені для студентів механічного факультету денної форми навчання, для самостійної підготовки при виконанні лабораторних робіт.

Укладачі:

професор Л.А.Тимофєєва

доцент Г.Л.Комарова

доцент Н.М.Можарова

асистент І.І.Федченко

Рецензент доцент Геворкян Е.С.

ВСТУП

Мета лабораторних робіт – закріплення практичних знань з теорії сплавів, структури і властивостей конструкційних матеріалів.

У даних методичних вказівках описано шість лабораторних робіт, розрахованих на поглиблення знань і структуроутворення сплавів, установлення взаємозв'язку структури і властивостей конструкційних матеріалів. У кожній лабораторній роботі зазначається мета, зміст, порядок виконання і контрольні питання. Викладач повідомляє тему лабораторних занять заздалегідь. Студент повинен повторити необхідний теоретичний матеріал. До початку роботи викладач перевіряє підготовленість студентів шляхом опитування.

Після виконання роботи студент подає викладачу звіт, який містить номер і назву роботи, її мету, короткий зміст, таблиці з результатами вимірювань і обчислень, графіки і висновки щодо проведеної роботи.

Лабораторна робота 1

МАКРОСКОПІЧНИЙ МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ

(2 години)

1.1 Мета роботи

- 1 Засвоїти методи макродослідження металів і сплавів.
- 2 Вивчити макроструктуру литого, деформованого і термообробленого сплавів, а також звареного шва.
- 3 Визначити ліквіацію сірки в сталі чи чавуні методом відбитків за Бауманом.
- 4 Дослідити злами металів.

1.2 Загальні теоретичні положення

Макроскопічний аналіз полягає у вивченні будови металів та сплавів неозброєним оком, а також за допомогою лупи чи бінокулярного мікроскопа. При збільшенні до 30 називається макроскопічним методом дослідження чи макроаналізом. Будівля металів, досліджувана за допомогою макроаналізу, називається макроструктурою.

Макроаналіз дозволяє встановити:

- 1) дефекти, що порушують суцільність металу (усадкову дірчастість, газові міхури, порожнечі, тріщини в литому, катаному чи кованому металі, звареному шві);
- 2) кристалічну будову литих сплавів (форму кристалічних утворень, їхню величину і переважну орієнтацію);
- 3) дендритну і зональну ліквідацію вуглецю і шкідливих домішок (сірки і фосфору) у сталях;
- 4) неоднорідність будови сплавів, створену обробкою тиском;
- 5) за видом зламу – характер руйнування (в'язкий чи крихкий) або встановити причину поломки деталі.

Приготування макрошліфів

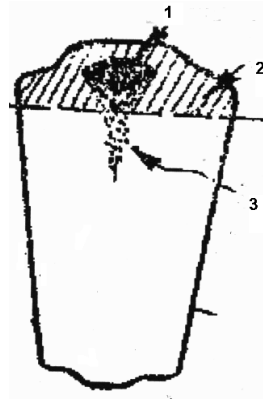
Зразок, підготовлений для макроаналізу, має назву *макрошліф*, якщо він являє собою переріз деталі – *темплет*.

Поверхню деталі чи заготівлі, яку необхідно піддати макроаналізу, шліфують наждаковим папером, послідовно переходячи від грубого номера до тонкого, щоразу макрошліф повертають на 90°. Шліфування ведуть поки чистота поверхні не буде відповідати необхідній. Потім макрошліф знежирюють бензином чи спиртом і травлять, змочуючи поверхню спеціальними хімічними реактивами, котрі обирають у залежності від складу сплаву і мети дослідження. Після травлення поверхню макрошліфа нейтралізують содовим розчином чи промивають водою і висушують. Мета травлення – приглушити металевий блиск, розтравити краї тріщин і інших дефектів, виявити межі кристалітів.

Для виявлення волокнистої будови металу застосовують метод глибокого травлення. Волокна металу добре виявляються травленням у реактиві такого складу: 85 г HCl + 53 г H₂SO₄ на 1000 см³ H₂O.

Макроструктура металів

При затвердінні зливка відбувається усадка металу. У верхній частині утворюється *усадкова раковина* (рисунок 1.1). Навколо метал забруднений шлаком, газами та іншими домішками. Ця частина зливка відрізається та йде на переплавлення. Вона називається *прибутком*. Іноді домішки залишаються у зливку.



- 1 – усадкова раковина;
- 2 – прибуткова частина;
- 3 – усадкові дірчастості

Рисунок 1.1 – Схема зливка з усадковою раковиною

При куванні, прокатуванні домішки порушують суцільність металу (рисунок 1.2, а, б).

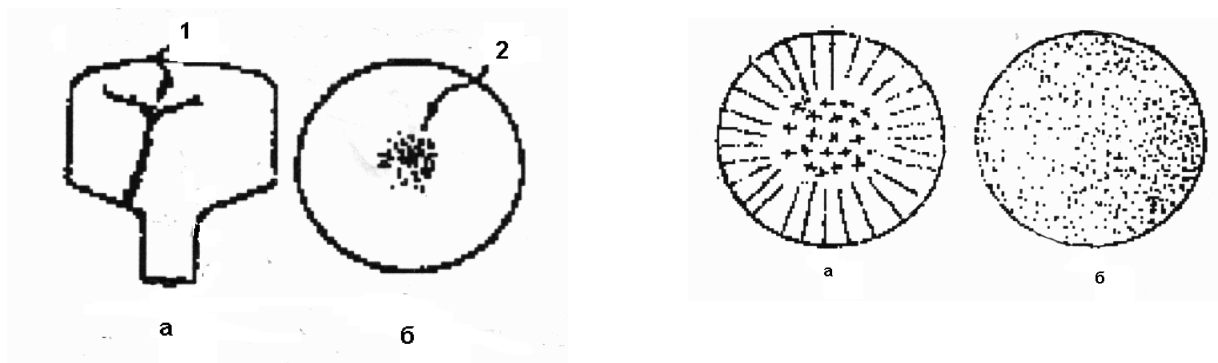


Рисунок 1.2 – Схема порушення суцільності металу

В процесі остигання у металі виникають деревоподібні кристали – *дендрити*. Дендритна структура не забезпечує високі механічні властивості.

Для подрібнювання кристалів зливки кують, прокатують, відпалюють.

Обробка металів тиском (прокатування, волочіння) призводить до появи волокнистої структури. Якщо волокна повторюють контури деталі, то таке їх розташування називається *правильним* (рисунок 1.3, а), а якщо вони виходять на робочу поверхню – *неправильним* (рисунок 1.3, б).

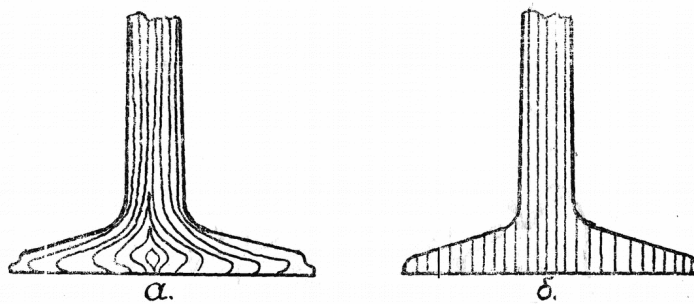


Рисунок 1.3 – Макроструктура клапана

При зварюванні металів відбувається мікрOMETалургійний процес, порушення якого викликає зниження міцності зварних швів. Внаслідок цього можуть з'явитися такі дефекти: непровар, шлакові включення, пори (рисунок 1.4).

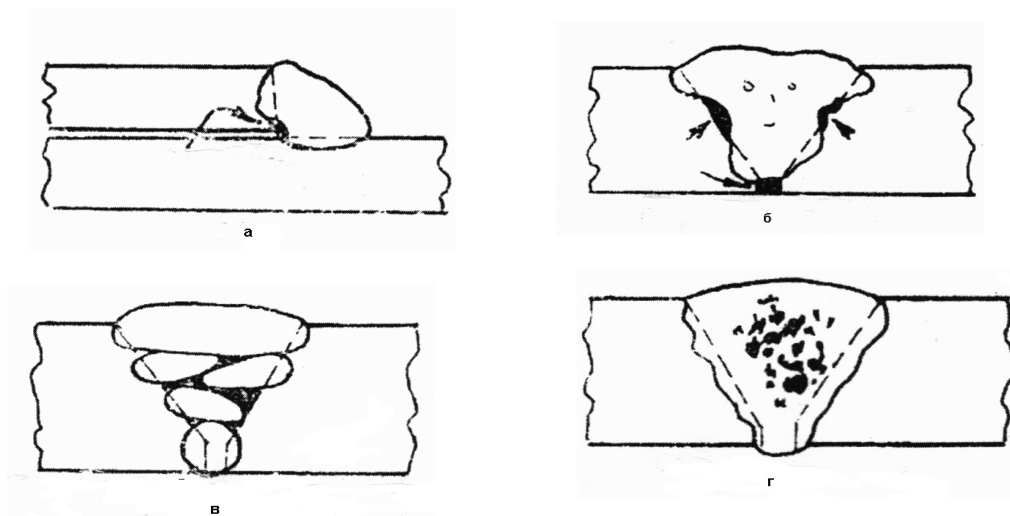
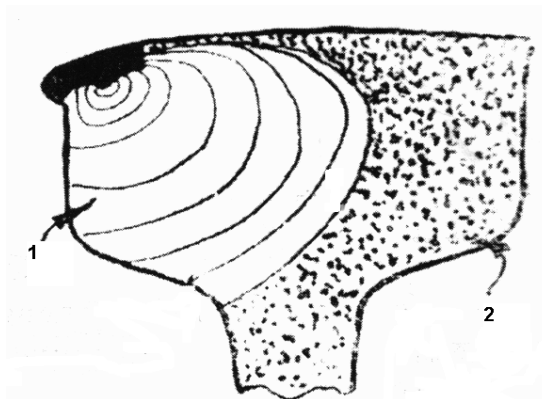


Рисунок 1.4 – Макроструктура зварних швів

Злами бувають крихкі, в'язкі та утомні. Крихкі злами проходять по межах кристалів і мають зернисту будову. В'язкі (волокнисті) протікають за тілом зерен. Злам від утоми виникає при знакозмінному навантаженні. Гладка, притерта поверхня зламу характеризує розвиток тріщини від утоми, шорстка – зону долому (рисунок 1.5).



1 – втомний злам;
2 – зона долому

Рисунок 1.5 – Схема утомного зламу та зони долому

Розподіл домішок у сталях

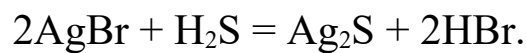
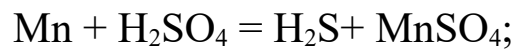
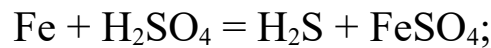
Нерівномірний розподіл домішок у сплаві називається *ліквацією*. У сталях, крім вуглецю, є марганець, кремній, сірка, фосфор. Сірка і фосфор – шкідливі домішки. Сірка викликає червоноламкість, а фосфор – холодноламкість. Сірка знаходиться у сульфідах марганцю та заліза, розташовується по межах зерен і з залізом утворює легкоплавку суміш – *евтектику*, температура плавлення 980°C . При нагріванні під кування до $1100 - 1200^{\circ}\text{C}$ евтектика плавиться, зв'язок між зернами слабшає і сталь стає ламкою. Таке явище називається *червоноламкістю* сталі. Лікваційні виділення фосфорних сполучень, що викликають ламкість сталі при низьких температурах, – *холодноламкість*.

При затвердінні зливків сірка розташовується у центральній частині, утворюючи неоднорідність, яка називається *зональною ліквіацією*.

Визначення ліквіації S по Бауману

Готують шліф, але не труять, а тільки знежирюють і висушують. На підготовлену поверхню накладають фотографічний папір емульсією вниз, що попередньо змочують протягом 10 хв у 5-10 % водному розчині H_2SO_4 . Накладаючи фотопапір на макрошліф, обережно ліквідують пухирці повітря і витримують близько 3-5 хв, потім його знімають з макрошліфа, промивають водою, закріплюють у 25 % розчині гіпосульфїту, знову промивають і висушують. Сірчисті включення Fe і Mn, розташовані на поверхні макрошліфа, реагують із сірчаною кислотою, що залишилася на фотопапері.

Протікають такі реакції:



1.3 Порядок виконання роботи

1 Вивчити макроструктуру литих, прокатаних металів і зварених швів.

2 Вивчити дефекти сталей у зламах і види зламів.

3 Накреслити досліджені макроструктури зразків і описати їх.

4 Виготовити макрошліф і визначити ліквіацію сірки за методом Баумана.

5 Приклеїти відбиток і описати характер розподілу сірчаних включень.

1.4 Контрольні питання

1 Що таке макроструктура?

- 2 Якими методами визначається макроструктура?
- 3 Що дозволяє установити макроаналіз?
- 4 Як приготувати макрошліф?
- 5 Які відомості про метал можна одержати, використовуючи метод травлення?
- 6 Які особливості макроструктури можна виявити за допомогою травлення?
- 7 Які відомості можна одержати, вивчаючи вид зламу?
- 8 Який злам називається миттєвим?
- 9 Який вигляд має злам при крихкому руйнуванні?
- 10 Який вигляд має злам при в'язкому руйнуванні?
- 11 Що таке ліквіація?
- 12 Як визначити ліквіацію сірки методом Баумана?

Лабораторна робота 2

ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ МЕТАЛІВ

(2 години)

2.1 Мета роботи

- 1 Ознайомитися з методами визначення твердості металів.
- 2 Вивчити пристрій приладів і методику вимірювання твердості металів способами Брінелля і Роквелла.
- 3 Визначити на приладах Брінелля і Роквелла твердість різних металів (вуглецевої сталі, твердого сплаву).

2.2 Загальні теоретичні положення

Твердість є однією з характеристик механічних властивостей матеріалу. Вона обумовлюється природою речовини, залежить від хімічного складу і структури. За значенням твердості судять про якість матеріалу, правильність вибору та виконання тієї чи іншої термічної обробки.

Твердість – властивість матеріалу протистояти проникненню в нього іншого, більш твердого тіла (індентор).

Найбільш твердим з існуючих на сьогоднішній день матеріалів є ультратвердий фулерит (приблизно в 1,17-1,52 р. твердіший за алмаз). Однак цей матеріал доступний тільки в мікроскопічних кількостях. Найтвердішою з розповсюджених речовин є алмаз (10 одиниць за шкалою Мооса).

Для вимірювання твердості існує декілька методів:

- вдавлювання;
- дряпання;
- відскакування кульки (спосіб Шора).

Для визначення твердості за способом вдавлювання користуються пресами Бринелля, Роквелла, Віккерса.

Метод Бринелля

Твердість визначається за діаметром відбитка, що залишається металевією кулькою (загартованою сталевією кулькою діаметром 10, 5 чи 2,5 мм), яка вдавлюється у поверхню та виражається числом твердості *НВ* (*Н* – твердість, від англ. hardness, *В* – найменування шкали) (рисунок 2.1).

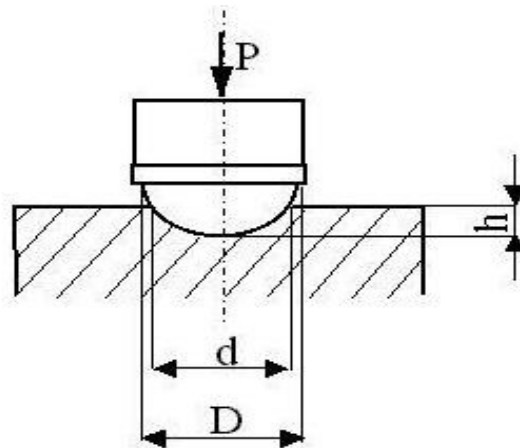


Рисунок 2.1 – Схема вдавлювання кульки на приладі Бринелля

При випробуванні твердості за Бринеллем діаметр кульки підбирається в залежності від товщини випробуваного зразка

металу, а прикладене навантаження – у залежності від твердості випробуваного матеріалу.

Для вибору діаметра кульки, прикладеного навантаження і тривалості витримки застосовують співвідношення, наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Вибір діаметра кульки, навантаження і витримки

| Матеріал | Інтервал твердості в числах | Мінімальна товщина випробуваного зразка, мм | Співвідно- шення між наванта- женням Р і діаметром кульки D | мм Діаметр кульки D, | Наванта- ження Р, кг | Витримка під наванта- женням, с |
|--------------------------|--------------------------------|---|--|----------------------|-------------------------|--|
| Чорні метали | 140-450 | від 6 до 3 | $P=30D^2$ | 10,0 | 3000 | 10 |
| | | від 4 до 2 | | 5,0 | 750 | |
| | | менше 2 | | 2,5 | 187,5 | |
| | <140 | більше 6 | $P=10D^2$ | 10,0 | 1000 | 10 |
| | | від 6 до 3 | | 5,0 | 250 | |
| | | менше 3 | | 2,5 | 62,5 | |
| Кольо- рові метали | >130 | від 6 до 3 | $P=30D^2$ | 10,0 | 3000 | 30 |
| | | від 4 до 2 | | 5,0 | 750 | |
| | | менше 2 | | 2,5 | 187,5 | |
| | 35-130 | від 9 до 3 | $P=10D^2$ | 10,0 | 1000 | 30 |
| | | від 6 до 9 | | 5,0 | 250 | |
| | | менше 3 | | 2,5 | 62,5 | |
| | 8-35 | більше 6 | $P=2,5D^2$ | 10,0 | 250 | 60 |
| | | від 6 до 3 | | 5,0 | 62,6 | |
| | | менше 3 | | 2,5 | 15,6 | |

Метод Бринелля застосовуємо тільки до HB 450 і при товщині не менше 0,5 - 1,00 мм.

Між числами твердості за Бринеллем і межею міцності металів існує наближена залежність

$$\sigma_B = k \cdot HB \text{ кгс/мм}^2, \quad (2.1)$$

де σ_B – тимчасовий опір розриву, МПа;

HB – твердість за Бринеллем, МПа;

k – коефіцієнт, обумовлений дослідним шляхом (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 – Значення коефіцієнтів для різних матеріалів

| Матеріал | Значення k |
|---------------------|--------------|
| сталь, HB≤175 | 0,34 |
| сталь, HB>175 | 0,34 |
| алюміній відпалений | 0,40 |
| дуралюміній | 0,37 |
| мідь холоднокатана | 0,35 |
| мідь відпалена | 0,48 |

Для середньовуглецевих сталей $\sigma_B = 0,347 \text{ HB}$.

Для сірого чавуну $\sigma_a = \frac{\text{HB} - 40}{6} \text{ Н/мм}^2$.

Порядок визначення твердості на приладі

1 У залежності від матеріалу і товщини зразка (виробу) за таблицею 2.1 визначають діаметр необхідної для випробування кульки, навантаження і тривалість витримки під навантаженням.

2 Поверхню випробуваного зразка зачищають напилком.

3 Зачищений зразок встановлюють на столику приладу. Обертанням маховика за годинниковою стрілкою зразок піднімають до кульки доти, поки точка на шпинделі не збігається з рисою на голівці приладу. У такому положенні надягнута на шток пружина віджимається і створює попереднє навантаження, що дорівнює 100 кг.

При виборі місця випробування на зразку керуються таким положенням: відстань від центра відбитка до краю зразка має бути не менше $2,5d$, а відстань між центрами двох сусідніх відбитків – не менше $4d$ (рисунок 2.2).

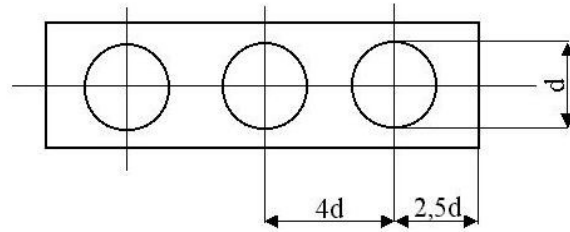


Рисунок 2.2 – Вибір місця випробування на зразку

4 Натисканням на кнопку увімкнути двигун. При ввімкненні електродвигуна навантаження прикладається плавно. Після додавання навантаження і заданої витримки перемикач автоматично змінює напрямок обертання електродвигуна. Після зняття навантаження електродвигун автоматично вимикається. Тривалість витримки встановлюється поворотом лімба.

5 Спеціальною лупою – мікроскоп Бринелля (рисунок 2.3) вимірюють діаметр відбитка. За розрахунковий діаметр відбитка приймають середнє арифметичне результатів вимірювання в двох взаємно перпендикулярних напрямках. Для одержання більш достовірного числа твердості випробування повторюють тричі і за результат приймають середнє арифметичне з трьох випробувань.

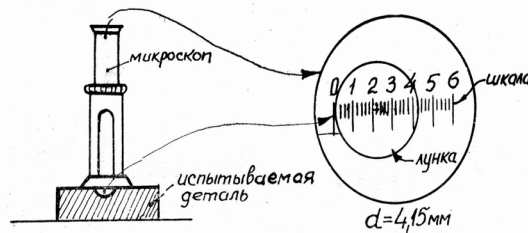


Рисунок 2.3 – Схема заміряння діаметра лунки

Виміривши відбиток кульки, число твердості НВ знаходять за таблицею 2.3.

Таблиця 2.3 – Значення твердості в залежності від діаметра відбитка

| Діаметр відбитка, мм | Число твердості при навантаженні Р, кгс | | |
|----------------------|---|---------|---------|
| | | $30D^2$ | $10D^2$ |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|------|-----|------|------|
| 2,90 | 444 | - | - |
| 2,95 | 430 | - | - |
| 3,00 | 415 | - | 34,6 |
| 3,05 | 401 | - | 33,4 |
| 3,10 | 388 | 129 | 32,3 |
| 3,15 | 375 | 125 | 31,3 |
| 3,20 | 363 | 121 | 30,3 |
| 3,25 | 352 | 117 | 29,3 |
| 3,30 | 340 | 114 | 28,4 |
| 3,35 | 332 | 110 | 27,6 |
| 3,40 | 321 | 107 | 26,7 |
| 3,45 | 311 | 104 | 25,9 |
| 3,50 | 302 | 101 | 25,2 |
| 3,55 | 293 | 97,7 | 24,5 |

Продовження таблиці 2.3

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|------|-----|------|------|
| 3,60 | 286 | 95 | 23,7 |
| 3,65 | 277 | 92,3 | 23,1 |
| 3,70 | 269 | 89,7 | 22,4 |
| 3,75 | 262 | 87,2 | 21,8 |
| 3,80 | 255 | 84,9 | 21,2 |
| 3,85 | 248 | 82,6 | 20,7 |
| 3,90 | 241 | 80,4 | 20,1 |
| 3,95 | 235 | 78,3 | 19,6 |
| 4,00 | 229 | 76,3 | 19,1 |
| 4,05 | 223 | 74,3 | 18,6 |
| 4,10 | 217 | 72,4 | 18,1 |
| 4,15 | 212 | 70,6 | 17,6 |
| 4,20 | 207 | 68,8 | 17,2 |
| 4,25 | 202 | 67,1 | 16,8 |
| 4,30 | 196 | 65,5 | 16,4 |
| 4,35 | 192 | 63,9 | 16,0 |
| 4,40 | 187 | 62,4 | 15,6 |
| 4,45 | 183 | 60,9 | 15,2 |
| 4,50 | 179 | 59,5 | 14,9 |
| 4,55 | 174 | 58,1 | 14,5 |
| 4,60 | 170 | 56,8 | 14,2 |
| 4,65 | 166 | 55,5 | 13,9 |
| 4,70 | 163 | 54,3 | 13,6 |

| | | | |
|------|-----|------|------|
| 4,75 | 159 | 53,0 | 13,3 |
| 4,80 | 156 | 51,9 | 13,0 |
| 4,85 | 153 | 50,7 | 12,7 |
| 4,90 | 149 | 49,6 | 12,4 |
| 4,95 | 146 | 48,6 | 12,2 |
| 5,00 | 143 | 47,5 | 11,9 |
| 5,05 | 140 | 46,5 | 11,6 |
| 5,10 | 137 | 45,5 | 11,4 |
| 5,15 | 134 | 44,6 | 11,2 |
| 5,20 | 131 | 43,7 | 10,9 |
| 5,25 | 128 | 42,8 | 10,7 |
| 5,30 | 126 | 41,9 | 10,5 |
| 5,35 | 123 | 41,0 | 10,3 |
| 5,40 | 121 | 40,2 | 10,1 |
| 5,45 | 118 | 39,4 | 9,86 |

Продовження таблиці 2.3

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|------|------|------|------|
| 5,50 | 116 | 38,6 | 9,66 |
| 5,55 | 114 | 37,9 | 9,46 |
| 5,60 | 111 | 37,1 | 9,27 |
| 5,65 | 109 | 36,4 | 9,10 |
| 5,70 | 107 | 35,7 | 8,93 |
| 5,75 | 105 | 35,0 | 8,80 |
| 5,80 | 103 | 34,3 | 8,59 |
| 5,85 | 101 | 33,7 | 8,43 |
| 5,90 | 99,2 | 33,1 | 8,26 |
| 5,95 | 97,3 | 32,4 | 8,11 |
| 6,00 | 95,5 | 31,8 | 7,96 |

Діаметри відбитків у таблиці 2.3 дані для кульки $D=10$ мм.

При визначенні твердості кулькою діаметром $D=10$ мм під навантаженням $P=3000$ кгс із витримкою $t=10$ с перед числом твердості за Бринеллем дописують тільки символ НВ, наприклад, НВ 400. За інших умов до числа твердості за Бринеллем дописують індекси, що позначають ці умови, наприклад, НВ 5/250/30-200 означає число твердості за Бринеллем 200, отримане при випробуванні кулькою $d=5$ мм під навантаженням $P=250$ кгс, прикладеної протягом $t=30$ с.

Для визначення твердості за Бринеллем застосовують твердоміри як ручні, так й автоматичні.

Недоліки методу Бринелля:

- метод можна застосовувати тільки для порівняно м'яких матеріалів, інакше сама кулька буде здавлена. Як альтернатива можливе застосування кульок з карбіду вольфраму (WC);

- через великий розмір кульки метод не застосується для тонких зразків.

Перевагою методу Бринелля є те, що він – один із найстаріших методів, існує багато технічної документації, де твердість матеріалів зазначена відповідно до цього методу.

Метод Роквелла

Визначають твердість металів вдавненням у випробуваний зразок (виріб) сталеві кульки діаметром 1/16" (1,59 мм) чи алмазного конуса з кутом при вершині 120° під дією двох послідовно прикладених навантажень: попереднього $P_0=10$ кгс і загального P , що дорівнює сумі попереднього P_0 і основного P_1 навантажень (рисунок 2.4).

Твердість, виміряна за цим методом, є безрозмірною величиною та позначається HR, (HRB, HRC, HRA в залежності від того, за якою шкалою на приладі вона вимірялась).



Рисунок 2.4 – Індикатор преса Роквелла

Сталеву кульку застосовують для випробування кольорових металів і відпалених сталей твердістю HB 230, а алмазний конус – для випробування сталей, підданих термічній чи хіміко-термічній обробці, а також для випробування сплавів твердістю HB 700, навантаження в останньому випадку береться 60 кгс. Товщина зразка повинна бути не менше 10-кратної глибини відбитка. Відстань між центрами відбитків або від центра відбитка до краю зразка повинна складати не менше 3 мм.

Цифри на шкалі розташовані в порядку, зворотному руху стрілки в момент додатка навантаження. Тому зі збільшенням заглиблення наконечника в поверхню випробуваного зразка прилад показує меншу твердість (рисунок 2.5).

Загальне навантаження Р при визначенні твердості вдавненням сталевий кульки складає 100 кгс, а при вдавненні алмазного конуса – 150 чи 60 кгс (таблиця 2.4).

Таблиця 2.4 – Навантаження при визначенні твердості

| Вид наконечника | Позначення шкали на приладі Роквелла | Навантаження, кгс | Позначення твердості | Приблизна твердість HB, МПа | Допустимі межі шкали |
|-----------------|--------------------------------------|-------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------|
| Алмазний конус | A | 60 | HRA | >7000 | >70 |
| Сталева кулька | B | 100 | HRB | 600-2300 | 25-100 |
| Алмазний конус | C | 150 | HRC | 2300-7000 | 20-67 |



Рисунок 2.5 – Прес Роквелла

Порядок визначення твердості на приладі

1 У залежності від передбачуваної твердості випробуваного зразка вибирають наконечник – сталева кулька чи алмазний конус.

2 Зразок ретельно зачищають. При виборі на зразку місця випробування необхідно стежити, щоб відстань від центра відбитка до краю зразка чи до центра іншого відбитка була не менше 3 мм.

3 Обертанням маховика за годинниковою стрілкою піднімають зразок до зіткнення його поверхні з наконечником. При подальшому підніманні зразка починають обертатися обидві стрілки індикаторного приладу (велика і мала). Обертанням маховика зразок піднімають доти, доки мала стрілка не стане проти нанесеної на циферблаті точки. Після цього циферблат індикаторного приладу повертають за торований обідок до стикання великої стрілки з нульовим розподілом шкали.

4 Натискають кнопку і відбувається плавне додавання навантаження. Одночасно з опусканням вантажів повертається велика стрілка індикаторного приладу. При цьому стрілка повертається у зворотному напрямку і зупиняється проти числа твердості, що відповідає твердості випробуваного зразка.

При випробуванні алмазним конусом число твердості підраховують за шкалою С і позначають: при навантаженні

150 кгс – HRC, а при навантаженні 60 кгс – HRA. При випробуванні сталеву кулькою при навантаженні 100 кгс число твердості підраховують за шкалою В і позначають HRB.

Для одержання більш достовірних результатів випробування повторюють тричі і за число твердості приймають середнє арифметичне з трьох випробувань.

Метод Віккерса

Твердість визначається за розміром відбитка, що залишається чотирикутною алмазною пірамідкою, яка вдавлюється в поверхню. Твердість обчислюється як відношення зусилля, прикладеного до пірамідки, до площі відбитка (причому площа відбитка береться як площа частини поверхні піраміди, а не як площа квадрата); одиниця твердості – кгс/мм². Твердість, виміряна за цим методом, позначається HV (рисунок 2.6).

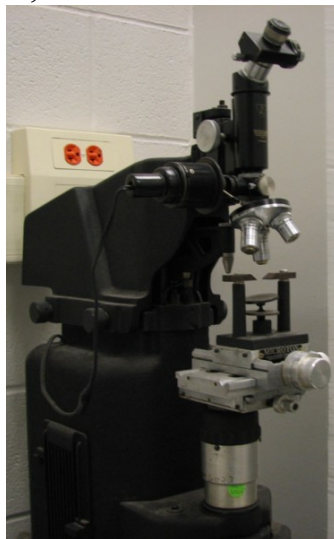


Рисунок 2.6 – Прес Віккерса

Метод Шора

Твердість визначається за висотою відскакування сталеві кульки від поверхні досліджуваного металу або за глибиною введення алмазної голки під дією пружини. Твердість позначається HSD.

Шкала Мооса

Шкала Мооса (мінералогічна шкала твердості) – набір еталонних мінералів для визначення відносної твердості методом

дряпання. Як еталони прийняті 10 мінералів, розташованих у порядку зростаючої твердості. Запропонована в 1811 році німецьким мінералогом Фрідріхом Моосом.

Значення шкали від 1 до 10 відповідають 10 досить розповсюдженим мінералам від тальку до алмазу. Твердість мінералу вимірюється шляхом пошуку найтвердішого еталонного мінералу, що він може подряпати; і/або найм'якшого еталонного мінералу, що дряпає даний мінерал. Наприклад, якщо мінерал дряпається апатитом, але не флюоритом, то його твердість перебуває в діапазоні від 4 до 5 умов. од.

Призначено цій метод для грубої порівняльної оцінки твердості матеріалів. Випробований матеріал або дряпає еталон і його твердість за шкалою Мооса вище, або дряпається еталоном і його твердість нижче за еталон. Таким чином, шкала Мооса інформує тільки про відносну твердість мінералів. Наприклад, корунд (9) в 2 рази твердіше за топаз (8), але при цьому майже в 4 рази м'якший за алмаз (10).

2.3 Порядок виконання роботи

1 Описати методи вимірювання твердості на приладах Бринелля і Роквелла.

2 Навести результати вимірювань твердості різних металів на приладі Бринелля.

3 Підрахувати приблизне значення бокової межі міцності σ_b за знайденою твердістю зразка для кожного випробуваного матеріалу.

4 Навести результати вимірювань твердості різних зразків на приладі Роквелла.

2.4 Контрольні питання

- 1 Що характеризує твердість?
- 2 Які існують методи визначення твердості?
- 3 У чому полягає метод вимірювання твердості за Бринеллем?
- 4 Як визначити твердість металів методом Бринелля?
- 5 Як підібрати діаметр кульки і навантаження при визначенні твердості за Бринеллем?
- 6 Який порядок визначення твердості за Бринеллем?

- 7 Яка існує залежність між твердістю і межами міцності?
- 8 У чому недолік методу Бринелля?
- 9 Для яких об'єктів застосовується метод Роквелла?
- 10 Як позначаються величини твердості?
- 11 Як визначити твердість металів методом Роквелла?
- 12 В яких випадках застосовують шкали А, В, С при вимірюванні твердості за Роквеллом?
- 13 Який порядок визначення твердості за Роквеллом?

Лабораторна робота 3

ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСУ КРИСТАЛІЗАЦІЇ, ПОБУДОВА КРИВИХ ОХОЛОДЖЕННЯ І ДІАГРАМИ СТАНУ СВИНЕЦ-ОЛОВО (4 години)

3.1 Мета роботи

- 1 Вивчити процес кристалізації краплі розчину хлористого амонію.
- 2 Побудувати криві охолодження металів і сплавів термічним методом.
- 3 Побудувати діаграму стану свинець-олово. Вивчити процес кристалізації сплавів, використовуючи правило відрізків та важеля.
- 4 Вивчити структуру сплавів. За структурою визначити хімічний склад.

3.2 Загальні теоретичні положення

Кристалізація – це процес утворення кристалів з рідкої, твердої чи газоподібної фази шляхом виникнення зародків та подальшого їх росту. При охолодженні у рідині відбувається перегрупування атомів, що призводить до виникнення зародків.

Не всі з них здатні до росту. Життєздатними є зародки, що викликають зниження вільної енергії і називаються *критичними*. Розмір критичних зародків та їх швидкість утворення та збільшення залежить від ступеня переохолодження. Чим він більший, тим менший їх розмір.

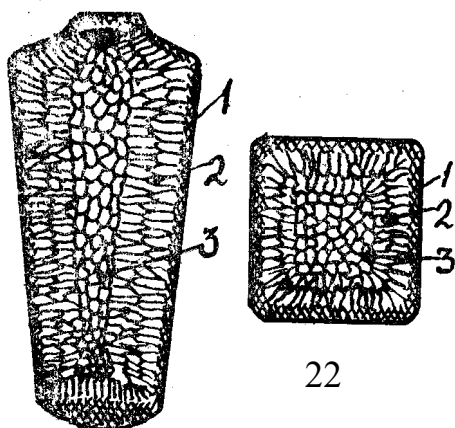
Кристали, що утворюються з розчину, мають деревоподібну форму і називаються *дендритами*. Домішки, що попадають у рідину, стають додатковими центрами кристалізації. Навмисне введення їх називається *модифікуванням*, а самі домішки – модифікаторами.

Таким чином, знаючи ці фактори при кристалізації, можна регулювати процес формування необхідної структури.

Будова зливка

Процес кристалізації сплаву починається у стінок виливниці (форми). Велика швидкість охолодження, присутність домішок, шорсткість стінок призводять до утворення зони дрібних кристалів (рисунок 3.1). Далі кристали ростуть у напрямі відведення тепла і приймають стовпчасту будову. У центрі зливка формується зона рівновісних кристалів.

Зона стовпчастих кристалів має високу густину і міцність. Однак у місцях стикування концентрується багато неметалевих включень і знижується пластичність.



- 1 – зона дрібних кристалів;
- 2 – зона стовпчастих кристалів;
- 3 – зона рівновісних кристалів

Рисунок 3.1 – Схема макроструктури зливка

Вивчення кристалізації на розчині солі

Процес кристалізації солі вивчається за допомогою біологічного мікроскопу при збільшенні у 80 разів. Краплю насиченого розчину хлористого амонію наносять на скло і установлюють на предметний столик мікроскопу. У міру випарювання концентрація розчину збільшується і починається кристалізація. Спершу виникають зародки (рисунок 3.2).

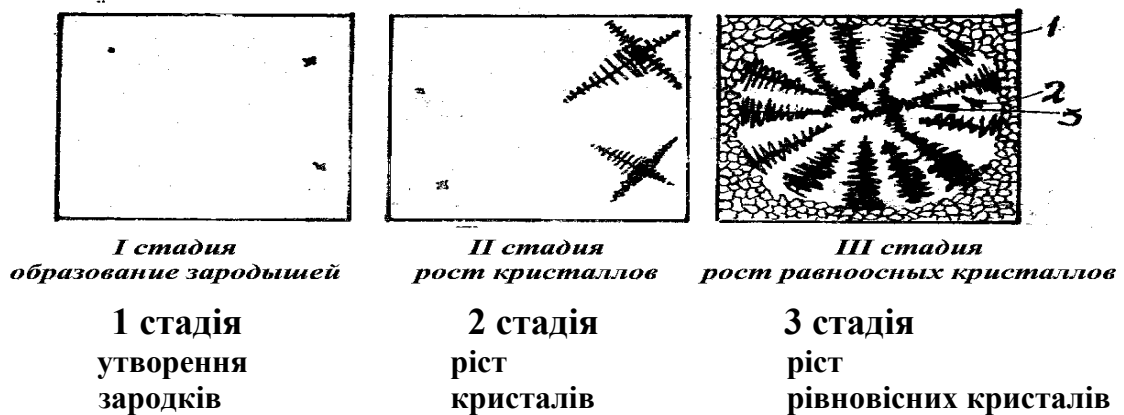


Рисунок 3.2 – Схема зарисовки кристалізації розчину солі хлористого амонію

Вони розташовуються на краю краплі. Потім ростуть стовпчасті кристали (друга стадія). У центрі з'являються і ростуть рівновісні кристали (третья стадія). Структура затверділої краплі складається з зони дрібних, стовпчастих та рівновісних кристалів, як і в металевих зливках.

Побудова кривих охолодження металів і сплавів

Криві охолодження будують експериментальним шляхом, застосовуючи термічний метод аналізу. Метод заснований на виділенні тепла при кристалізації та вбиранні його при плавленні.

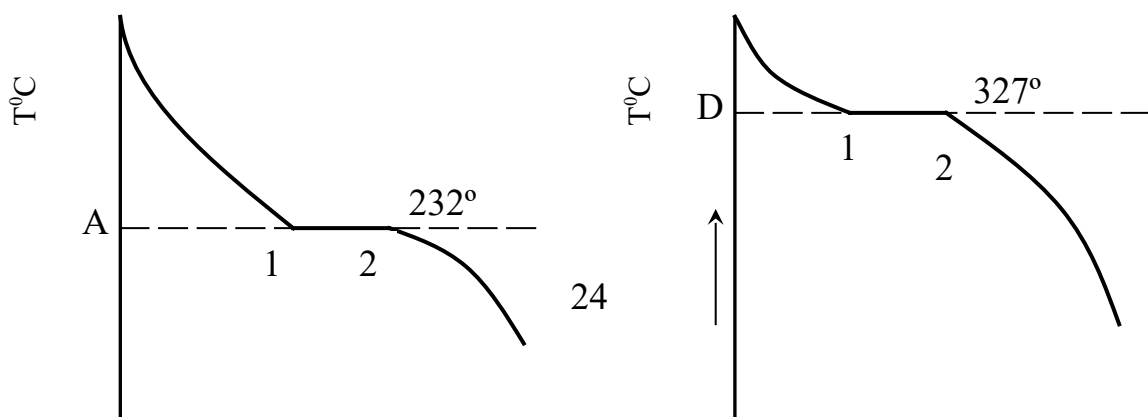
У плавильний тигель поміщають наважку металу чи сплаву і гріють у печі до плавлення з деяким перегрівом. Тигель з розплавленим металом установлюють на підставку. Зверху рідину присипають молотим деревним вугіллям, а у середину замурують термопару. Стрілка пірометра рухається і в якусь мить зупиняється. Цей момент приймають за початок відліку. Після цього через кожні 15 с заміряють температуру охолоджуваного металу. Дані досліду заносять у таблицю і будують криві охолодження. Точки перегину на кривих називають критичними. Вони характеризуються температурою, при якій проходять ті чи інші фізико-хімічні зміни. Точка 1 – початок, а точка 2 – кінець кристалізації. Кристалізація металу відбувається при постійній температурі, а сплавів – в інтервалі температур (рисунок 3.3).

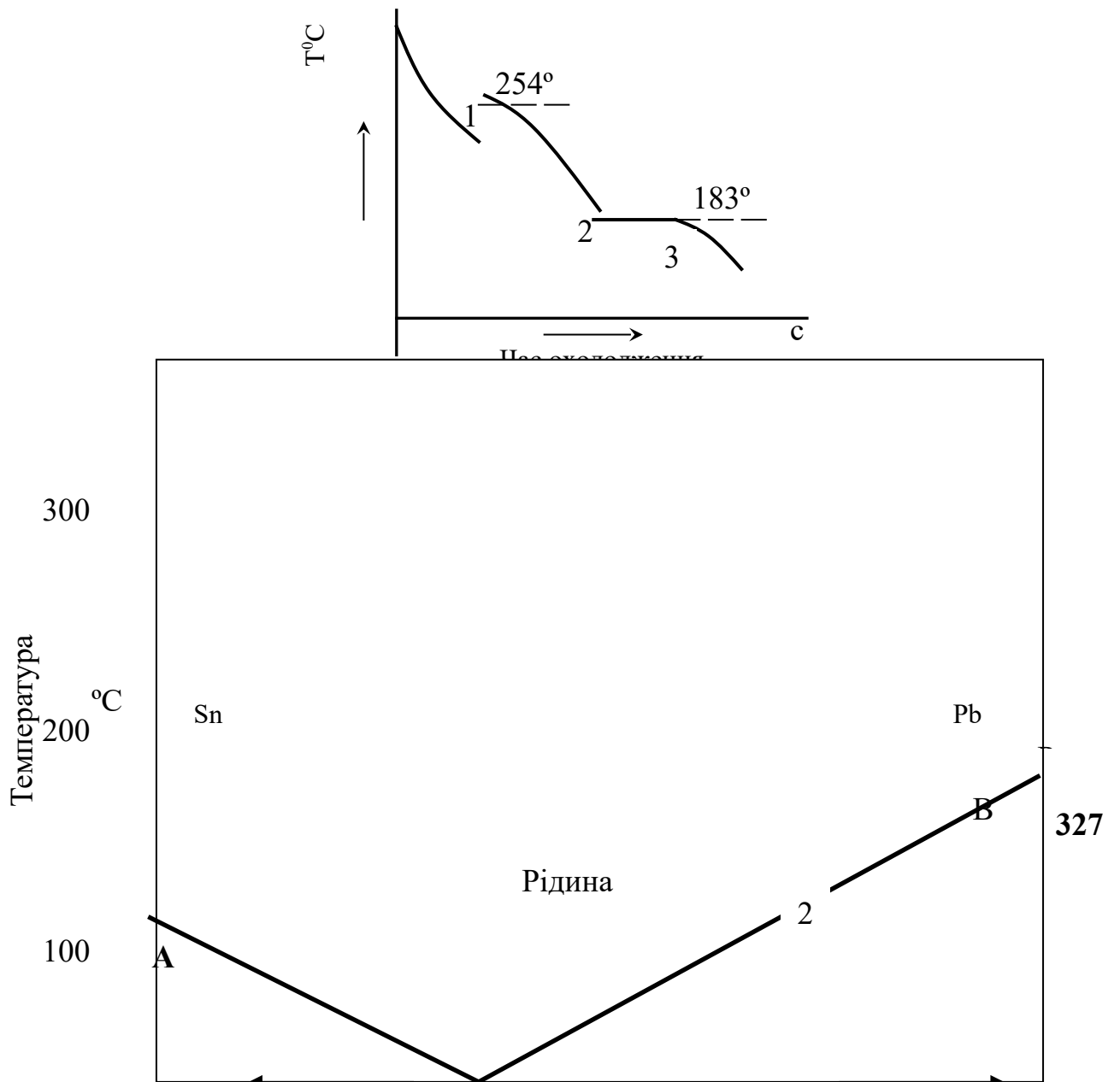
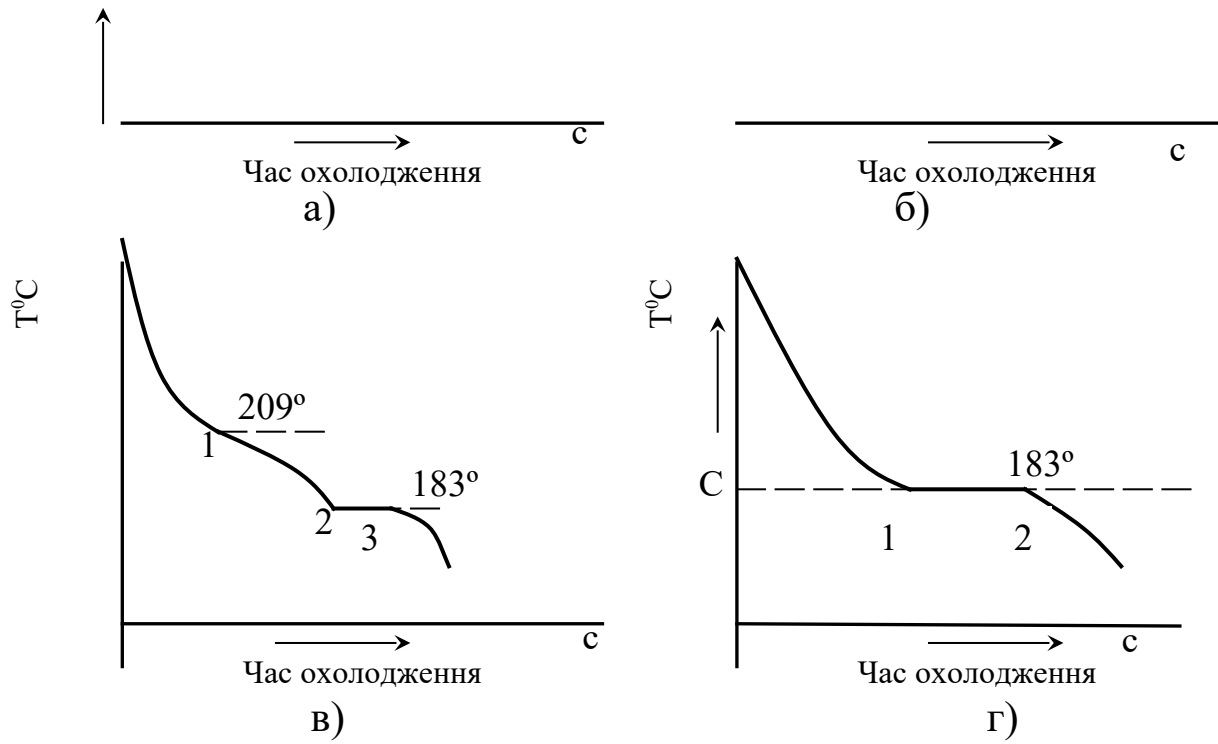
Діаграми стану будують у координатах температура-концентрація на основі кривих охолодження металів та їх сплавів (рисунок 3.4).

Будують криві охолодження свинцю, олова та їх сплавів, наприклад, візьмемо для дослідження два чистих метали і три сплави: доевтектичний 20 % Pb; евтектичний 38 % Pb і заевтектичний 70 % Pb.

Визначають критичні точки (1 і 2). На осі концентрацій діаграми знаходять ці метали і сплави (за складом), проводять вертикальні лінії і на них переносять критичні точки.

Точки (1), які характеризують початок кристалізації, з'єднують плавною кривою, аналогічно – точки (2), які характеризують кінець кристалізації (рисунок 3.4).





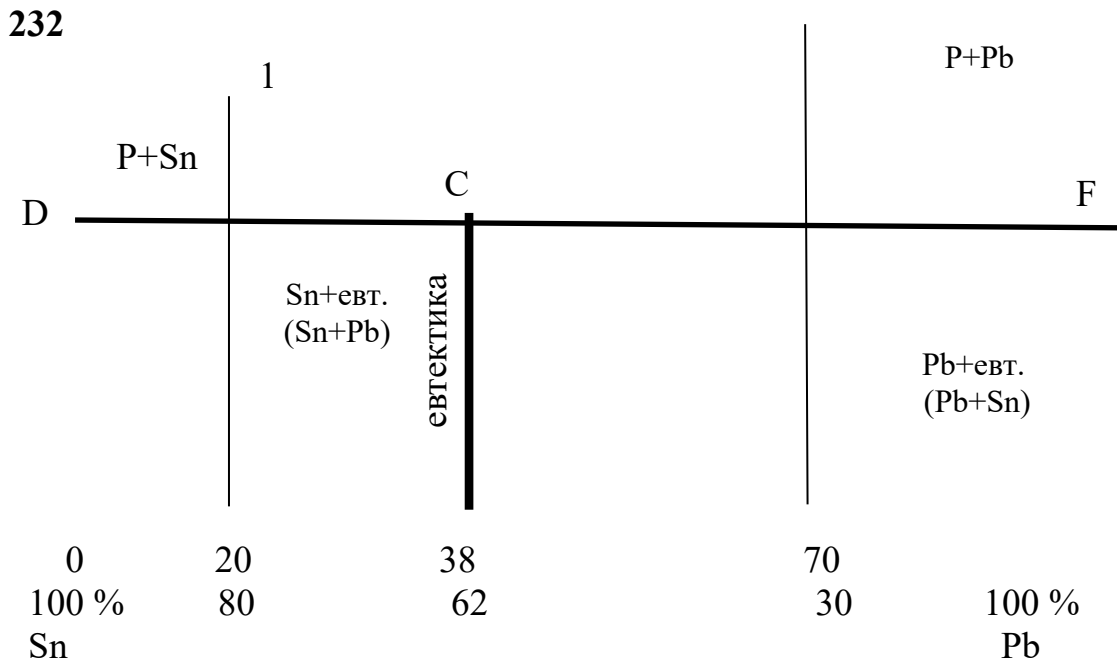


Рисунок 3. 4 - Діаграма стану свинець – олово

Побудовану діаграму позначають буквами. Лінія ACB – *ліквідус*, границя рідкого стану; вище неї метали і сплави знаходяться у рідкому стані.

Лінія DCF – *солідус*, границя твердого стану; нижче цієї лінії метали і сплави знаходяться у твердому стані.

Між цими лініями проходить процес кристалізації. Нижче лінії AC з рідини випадають кристали олова, а нижче CB – кристали свинцю.

У точці C з рідини одночасно випадають дрібні кристали свинцю та олова, які між собою утворюють при постійній температурі механічну легкоплавку суміш, що називається *евтектикою*, а сплав евтектичним.

Цей сплав має низьку температуру плавлення, добру рідкотекучість, високі механічні властивості.

Сплави, що містять у собі до 38 % свинцю, називаються *доевтектичними*, а більше 38 % свинцю – *заевтектичними*.

Розглянута діаграма характеризується повною розчинністю компонентів у рідкому стані і практичною нерозчинністю у твердому стані.

Її називають діаграмою стану першого роду або діаграмою евтектичних сумішей.

3.3 Контрольні питання

- 1 Що таке кристалізація?
- 2 Що таке первинна і вторинна кристалізація?
- 3 З яких стадій складається процес кристалізації?
- 4 Яким чином можна керувати процесом кристалізації?
- 5 Що таке дендрит і як він утворюється?
- 6 Що позначає лінія ліквідус?
- 7 Що позначає лінія солідус?
- 8 Що таке евтектика, як вона утворюється?

Лабораторна робота 4

МІКРОСКОПІЧНЕ ВИВЧЕННЯ СТРУКТУРИ ВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ

(2 години)

4.1 Мета роботи

- 1 Вивчити діаграму Fe – Fe₃C (до 2,14 % C).
- 2 Ознайомитися з класифікацією вуглецевих сталей.
- 3 Вивчити структуру вуглецевих сталей у рівноважному стані.
- 4 Навчитися визначати приблизний хімічний склад вуглецевих сталей у рівноважному стані.
- 5 Вивчити вплив кількості вуглецю на структуру і властивості залізовуглецевих сталей.

4.2 Загальні теоретичні положення

Залізовуглецеві сплави за своїм складом поділяються на сталі і чавуни. Сплави з вмістом вуглецю до 2,14 % називаються сталями, сплави з вмістом вуглецю понад 2,14% – чавунами (рисунок 4.1).

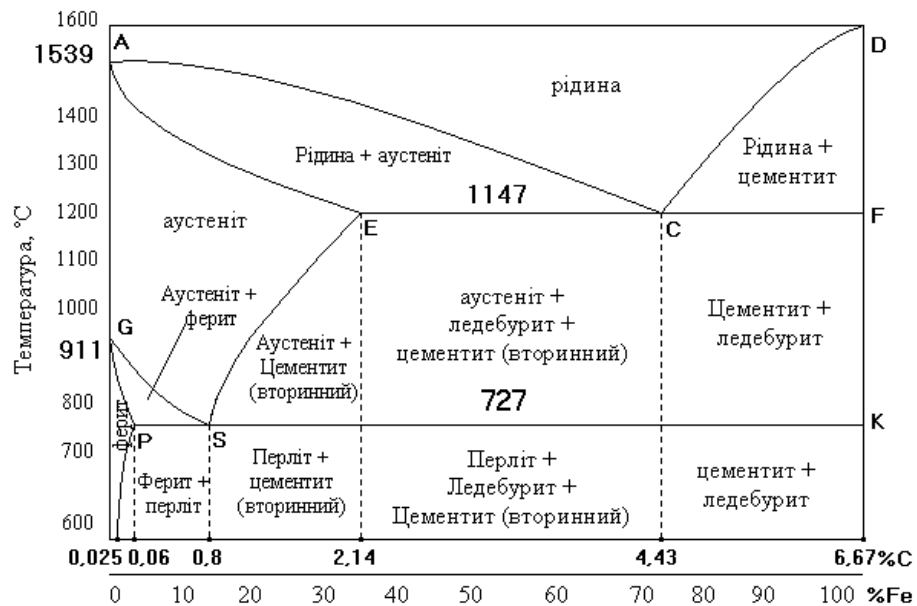


Рисунок 4.1 – Діаграма стану Fe-Fe₃C

Вуглецеві сталі класифікуються таким чином:

- за структурою в рівноважному стані (відпалені);
- за призначенням;
- за способом виробництва (за якістю).

За структурою в рівноважному стані вуглецеві сталі поділяються:

- на доевтектоїдні, що містять від 0,02 до 0,8 % вуглецю;
- евтектоїдні, що містять вуглецю 0,8 %;
- заевтектоїдні, що містять вуглецю понад 0,8 %.

Сплави, які містять до 0,02 % С, являють собою технічне залізо.

Перш ніж ознайомитися зі структурою сталей відповідно до даної класифікації, розглянемо процес охолодження різних сталей від розплавленого стану до кімнатної температури і простежимо за формуванням структури.

На рисунку 4.2 наведений спрощений варіант діаграми стану "залізо-цементит" (сталева частина) і криві охолодження різних сплавів. Згідно з діаграмою стану "залізо-цементит" (сталева частина) сплави в залежності від складу і температури можуть мати у своїй структурі наступні фази і структурні складові. При температурах вище лінії АС усі сплави знаходяться у рідкому стані, нижче лінії АЕ всі сплави знаходяться в рідкому стані і мають аустенітну структуру.

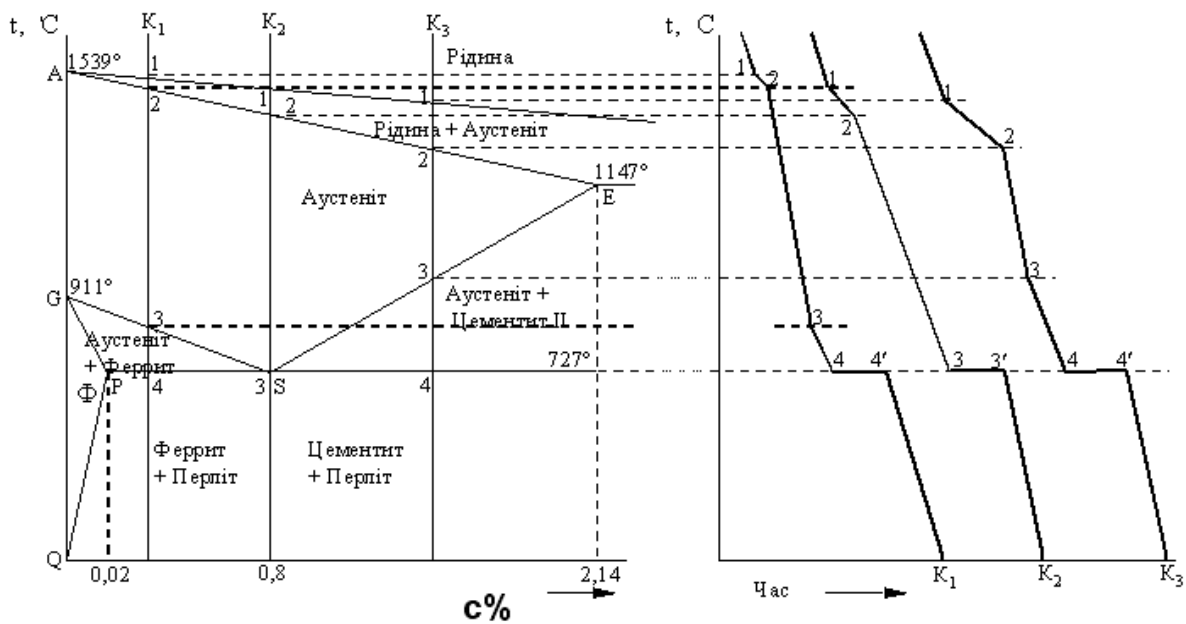


Рисунок 4.2 – Спрощений вигляд діаграми Fe-Fe₃C і криві охолодження

Аустеніт - це твердий розчин вуглецю в γ - залізі (рисунок 4.3).

Максимальна розчинність вуглецю в аустеніті при температурі 1147° С складає 2,14 %. Праворуч від лінії GRQ область існування фериту.

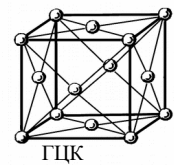
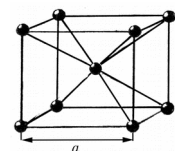


Рисунок 4.3

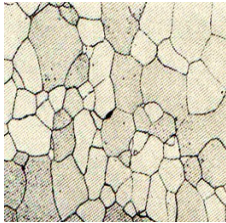
Феррит – це твердий розчин вуглецю в α -залізі



(рисунок 4.4).

ОЦК

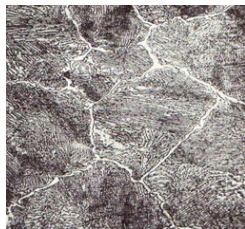
Рисунок 4.4.



ФЕРИТ

Рисунок 4.5

Структура технічного заліза практично повністю складається з фериту і є м'якою і пластичною фазою (рисунок 4.5). Під мікроскопом зерна фериту виглядають світлими з темною сіткою меж.

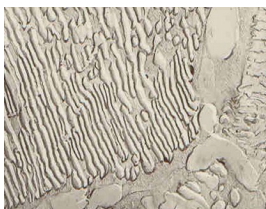


ПЕРЛИТ

Рисунок 4.6

На лінії PSK (727°C) відбувається евтектоїдна реакція, що полягає в перетворенні аустеніту складу точки S на евтектоїдну суміш фериту точки P ($0,02\% \text{ C}$) і цементиту ($6,67\% \text{ C}$). Ця суміш називається *перлітом* (рисунок 4.6).

Лінії GS і ES показують температури початку вторинної кристалізації. При досягненні температури, що відповідає цим лініям, відбувається виділення з аустеніту надлишкової фази стосовно евтектоїдного складу, для доевтектоїдних сталей при зниженні температури нижче лінії GS з аустеніту будуть випадати кристали фериту, аустеніт буде збагачуватися вуглецем. При досягненні температури лінії PSK (727°C) склад залишеного аустеніту за вуглецем визначається точкою S



ЦЕМЕНТИТ

Рисунок 4.7

($0,8\% \text{ C}$). Для заевтектоїдних сталей при зниженні температури нижче лінії ES з аустеніту будуть випадати кристали вторинного цементиту (рисунок 4.7) і склад аустеніту буде збіднюватися до евтектоїдного.

Аустеніт евтектоїдного складу перетворюється на перліт. Перліт являє собою пластинки фериту і цементиту, що чергуються.

На прикладі кривих охолодження для сплавів (K_1 , K_2 , K_3) можна визначити структуру сталей у рівноважному стані, тобто після повільного охолодження. Для даних сплавів у точках 1 починається кристалізація з утворенням зерен аустеніту. У точках 2 процес кристалізації закінчується і структура сплавів аж до температури точок 3 буде складатися з зерен аустеніту.

У доевтектоїдних сталях (K_1) при температурах нижче точки 3 буде виділятися структурно вільний ферит аж до температури, що відповідає точці 4. При досягненні температури евтектоїдного перетворення аустеніту складу точки S буде відбуватися перетворення на перліт. Процес перетворення аустеніту на перліт протікає при строго визначеній температурі, тому що в рівновазі знаходяться три фази ($A_{0,8\%C}$; $F_{0,02\%C}$; $C_{6,6\%C}$) і число ступенів свободи за правилом фаз Гіббса ($C = K - F + P$) дорівнює нулю. По закінченні процесу кристалізації в умовах повільного охолодження, тобто у відпаленому стані, структура доевтектоїдної сталі буде складатися з зерен фериту і перліту.

Аустеніт евтектоїдної сталі містить у своєму складі 0,8 % C і в процесі охолодження не перетерплює перетворення до температури точки 3 (сплав K_2). При температурі 727°C відбувається перетворення аустеніту на перліт. Структура сталі буде складатися тільки з перліту.

Для заевтектоїдних сталей (K_3) при охолодженні від точки 3 до точки 4 з аустеніту виділяється вуглець у вигляді цементитної сітки по границях аустенітного зерна й у точці 4 аустеніт евтектоїдного складу перетворюється на перліт. Структура заевтектоїдних сталей складається з зерен перліту, оточених сіткою вторинного цементиту. Таким чином, структура доевтектоїдних сталей складається з зерен фериту і перліту; евтектоїдної сталі – з перліту; заевтектоїдних сталей – із зерен перліту, оточених сіткою цементиту.

Мікроструктура доевтектоїдної сталі дозволяє орієнтовно підрахувати кількість у ній вуглецю з урахуванням площі, яку займає на шліфі перліт. Оскільки у фериті розчиняється дуже

мало вуглецю (0,006 %), практично можна вважати, що у доевтектоїдній сталі весь вуглець знаходиться у перліті.

Кількісне співвідношення фериту і перліту в заевтектоїдних сталях залежить від вмісту вуглецю в сталі. Чим більше вуглецю в доевтектоїдних сталях, тим більше перліту. Зі збільшенням вмісту вуглецю в заевтектоїдній сталі кількість цементиту зростає, а перліту – зменшується. Виходячи з кількісного співвідношення структурних складових на шліфі, можна визначити зразковий хімічний склад доевтектоїдних сталей.

Виділення вторинного цементиту за границями зерен аустеніту і цементиту у вигляді пластинок небажано, тому що сталь з такою структурою має підвищену крихкість, погано обробляється різанням і після закінчення термічної обробки готові деталі (найчастіше інструмент) мають зменшені механічні властивості, головним чином, малу пластичність і ударну в'язкість. Тому шляхом спеціального відпалу прагнуть одержати структуру зернистого перліту, у якій цементит вторинний і цементит перліту набуває зернистої форми, що істотно підвищує пластичність сталі, поліпшує оброблюваність різанням і підвищує механічні властивості в термічно обробленому вигляді.

Класифікація та маркування вуглецевих сталей

Вуглецеві сталі за призначенням поділяються на *конструкційні* ($C \leq 0,60\%$) та *інструментальні* ($C = 0,7-1,3\%$).

За способом виробництва (якістю) конструкційні сталі поділяються на сталі *звичайної якості* та *якісні*.

Класифікація вуглецевих сталей за призначенням

Вміст вуглецю впливає на властивості сталі. З підвищенням вмісту вуглецю міцні характеристики підвищуються, пластичність і ударна в'язкість знижуються. З огляду на вплив вуглецю на властивості сталі, а також ті вимоги, що висуваються до тих чи інших груп деталей, конструкцій, споруджень, вуглецеві сталі за призначенням поділяються на такі класи:

1 Будівельні сталі, що містять вуглецю до 0,3 - 0,37 %.

2 Машинобудівні чи конструкційні сталі, що містять вуглецю до 0,85 %. Ці сталі в залежності від призначення й остаточної термічної обробки, застосовуваної до готових деталей, у свою чергу поділяються на цементовані (до 0,3% С), ті, що поліпшуються (0,3 - 0,5% С), і ресорно-пружинні (0,5 - 0,85% С).

3 Будівельні і конструкційні сталі за структурою належать до доевтектоїдних сталей, їхня структура складається з зерен фериту і перліту.

4 Інструментальні сталі – в основному заевтектоїдні сталі з вмістом вуглецю до 1,3 %. Структура таких сталей складається з зернистого перліту. Для деяких видів інструменту можуть бути використані доевтектоїдні (типу У7) і евтектоїдні (У8) сталі.

Класифікація вуглецевих сталей за способом виробництва (якістю)

За способом виробництва, від якого залежить вміст у сталі домішок і їхній розподіл, а отже, і властивості сталей, вуглецеві сталі поділяються на три класи: *сталі звичайної якості, якісні та високоякісні.*

Сталі звичайної якості виплавляються в основних або кислих конверторах або великих мартенівських печах. Вони містять підвищену кількість шкідливих домішок: сірки не більше 0,06 % і фосфору не більше 0,07 %. Ці сталі поставляються у вигляді фасонних профілів, гарячекатаних прутків, аркушів і дроту.

У залежності від призначення і гарантованих ДСТУ характеристик ці сталі поділяються на групи А, Б, В.

Група А. Для цих сталей ДСТУ гарантує механічні властивості (σ_B ; $\sigma_{0,2}$; δ); вони призначені для виготовлення виробів, що не піддаються гарячій обробці тиском.

Група Б. ДСТУ гарантує визначений хімічний склад; вони призначені для виготовлення деталей гарячої обробки тиском і для зварених конструкцій.

Група В. ДСТУ гарантує механічні властивості і хімічний склад; вони призначені для виготовлення виробів як гарячої обробки і зварюванням, так і іншими методами.

Вуглецеву сталь звичайної якості виготовляють таких марок: Ст0, Ст1кп, Ст1пс, Ст1сп, Ст2кп, Ст2пс, Ст2сп, Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, Ст3Гпс, Ст3Гсп, Ст4кп, Ст4пс, Ст4сп, Ст5пс, Ст5сп, Ст5Гпс, Ст6пс, Ст6сп. Букви *Ст* означають «Сталь», цифри – умовний номер марки в залежності від хімічного складу сталі, букви «кп», «пс», «сп» – спосіб розкислення («кп» – кипляча, «пс» – напівспокійна, «сп» – спокійна), буква *Г* – підвищену масову частку марганцю. Масова частка сірки в сталі всіх марок, крім Ст0, повинна бути не більше 0,05 %, фосфору – не більше 0,04 %, у сталі марки Ст0 сірки – не більше 0,06 %, фосфору – не більше 0,07 %.

Для маркірування сталі продукції використовують фарбу різних кольорів. Так, наприклад, сталь марки Ст3 фарбують червоним кольором, Ст5 – зеленим, Ст0 – червоним та зеленим кольорами і т.д.

Якісні сталі виплавляються в основних мартенівських печах, кисневих конвекторах і до них висуваються більш високі вимоги, ніж до сталей звичайної якості, щодо складу, присутності неметалічних включень, дефектів і вмісту шкідливих домішок: сірки не більше 0,04%, фосфору не більше 0,04%. Ці сталі піддаються, як правило, термічній обробці і за призначенням можуть бути будівельними, конструкційними й інструментальними сталями.

Вуглецеву якісну конструкційну сталь виготовляють таких марок: 08, 10, 15, 20, ... 55, 58 (55 пп) і 60. Цифри вказують на середню масову частку вуглецю в сотих частках відсотка, букви «пп» – прокалюваність. За ступенем розкислення сталь позначають так: кипляча – “кп”, напівспокійна – “пс”, спокійна – без індексу. Якість сталі забезпечується за рахунок зниженого вмісту шкідливих домішок (масова частка сірки в сталі повинна бути не більше 0,04 %, фосфору – не більше 0,035).

Високоякісні сталі виплавляються в кислій і основній мартенівській печах, у вакуумних і електропечах. Вони мають високу чистоту щодо неметалічних включень, містять знижену кількість сірки (до 0,02 %) і фосфору (до 0,03 %) та інших домішок, мають більш вузькі межі за вмістом вуглецю, кремнію та марганцю. Ці сталі маркірують як і якісні сталі, але наприкінці

додається буква А. За призначенням високоякісні сталі поділяються на ті самі класи, що і якісні сталі, але застосовуються для більш відповідальних деталей.

Інструментальна вуглецева сталь поділяється на *якісну* та *високоякісну* і маркірується так: У7, У8, У8М, У9 ... до У13 і У7А, У8А, У8ГА, У9А, ... до У13А, де букви і цифри в позначенні марки сталі такі: У – вуглецева, наступна за нею цифра – середня масова частка вуглецю в десятих частках відсотка; Г – підвищена масова частка марганцю; А – високоякісна (у високоякісних сталях масова частка сірки не повинна перевищувати 0,018 %, а фосфору – 0,025 %). У якісних вуглецевих інструментальних сталях масова частка сірки не повинна перевищувати 0,028 %, а фосфору – 0,03 %.

Приблизний вміст вуглецю в сталі можна визначити мікроструктурним аналізом. Такі визначення фактично виконують тільки для доєвтектоїдних сталей, бо в заєвтектоїдних сталях значні зміни у вмісті вуглецю малі, іноді майже непомітні, змінюють кількість надлишкового цементиту, що як правило, призводить до великих помилок.

Вуглець у доєвтектоїдній сталі розподілений між надлишковим феритом та перлітом. У фериті містяться соті частки відсотка вуглецю (0,01 - 0,02 %), яким можна знехтувати і вважати, що практично увесь вуглець у доєвтектоїдній сталі знаходиться у перліті. У перліті міститься 0,8 % С. У доєвтектоїдній сталі на перліт припадає тільки частина площі шліфа, зайнятої перлітом. Ця пропорція впливає з приблизної рівності питомих ваг фериту і перліту, в іншому випадку за мікроструктурою можна було б судити тільки про об'ємні співвідношення.

Вміст вуглецю у доєвтектоїдній сталі визначається з пропорції, що складається з наступних міркувань.

Якби в площині шліфа ми спостерігали 100 % перліту, то в сталі містилося б 0,8% С, а в доєвтектоїдній сталі площа, займана перлітом, дорівнює F_n , тоді вміст вуглецю в даній сталі X_c (% вага) визначається з пропорції

$$\begin{aligned} 100 \% П - 0,8 \% С; \\ F_n \% П - X \% С. \end{aligned}$$

Площа, займана перлітом, частіше оцінюється на око. Такий метод може здатися занадто грубим, але в дійсності ж він дає гарні результати. Якщо абсолютна помилка в оцінці площі, займаної перлітом, складає 10%, то абсолютна помилка у визначенні вмісту вуглецю складає лише 0,8 %.

Структура заевтектоїдної сталі складається з перліту і вторинного цементиту, який розташовується в межах зерен у вигляді світлої сітки.

Таким чином, зі збільшенням концентрації вуглецю у сталі збільшується кількість цементиту, що входить до складу перліту, а потім і структурно вільного. Це сприяє підвищенню твердості і міцності сталі, а також зниженню пластичності і в'язкості (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 - Механічні властивості

| Найменування структурних складників | Механічні властивості | | | Примітка |
|-------------------------------------|-----------------------|---------|--------------|-----------------------|
| | σ_s , МПа | НВ, МПа | δ , % | |
| Феррит | 300 | 800 | 45 | М'який та пластичний |
| Перліт | 800 | 2200 | 10 | Міцний, твердий |
| Цементит | - | 8000 | 0 | Дуже твердий, крихкий |

4.3 Порядок виконання роботи

1 Вивчити під мікроскопом структури сталей, визначити структурні складові.

2 Накреслити мікроструктури доевтектоїдної, евтектоїдної і заевтектоїдної сталей.

3 Визначити приблизний вміст вуглецю в сталі мікроструктурним аналізом.

4 Накреслити в масштабі "сталевий кут" діаграми "залізо - вуглець", відзначити на діаграмі досліджені сплави.

4.4 Контрольні питання

- 1 Які залізовуглецеві сплави належать до сталей?
- 2 Як розподіляються сталі за концентрацією вуглецю?
- 3 Яка структура доевтектоїдної, евтектоїдної та заевтектоїдної сталей у відпаленому стані?
- 4 Як за структурою доевтектоїдної сталі у відпаленому стані визначити концентрацію вуглецю?
- 5 Які фази містяться в сталі?
- 6 Як впливає концентрація вуглецю на механічні властивості сталі?
- 7 Як класифікуються сталі за структурою?
- 8 Дайте визначення структурних складових сталей: аустеніт, ферит, перліт, цементит.
- 9 Як класифікуються вуглецеві сталі за призначенням?
- 10 Як класифікуються сталі за якістю?
- 11 Як визначити приблизний вміст вуглецю в сталі мікроструктурним аналізом?

Лабораторна робота 5

МІКРОСКОПІЧНЕ ВИВЧЕННЯ СТРУКТУРИ ЧАВУНІВ

(2 години)

5.1 Мета роботи

- 1 Вивчити діаграму Fe – Fe₃C (від 2,14 до 6,67 % C).
- 2 Вивчити види чавунів.
- 3 Вивчити мікроструктури чавунів.
- 4 Вивчити вплив вмісту вуглецю на структуру білих чавунів.
- 5 Вивчити структуру і властивості машинобудівних чавунів.

5.2 Загальні теоретичні положення

Чавунами називаються залізовуглецеві сплави з вмістом вуглецю більше 2,14 %.

Основні компоненти чавунів – залізо, вуглець і кремній. Крім того, звичайні чавуни містять марганець, фосфор, сірку й ін. елементи. Незважаючи на складність хімічного складу чавуну, найважливіші структурні зміни в процесі нагрівання й охолодження якісно можна проаналізувати з використанням діаграми стану подвійної системи Fe- Fe₃C. У цій системі, як відомо, аустеніт і ферит можуть знаходитися в стабільній рівновазі з графітом і в метастабільному – з цементитом.

Графіт у порівнянні з цементитом важче зароджується і росте у металевій матриці. Для зародження графіту потрібно набагато більше флуктуації концентрації, тому що графіт – це практично 100% C (розчинність у ньому Fe незначна), а цементит містить тільки 6,67 % C.

Під час росту графітного кристалу необхідно майже повне видалення атомів заліза від фронту просування його границі в металевій матриці.

Тому витримка чавуну при підвищених температурах повинна призвести до заміни цементиту графітом.

У залежності від того, у якому вигляді буде представлений вуглець, чавуни поділяються на *білі, сірі, модифіковані, високоміцні і ковкі*.

Білі чавуни

Білі чавуни отримують у результаті високої швидкості охолодження відливок. У білих чавунах вуглець знаходиться у вигляді цементиту. Цей чавун твердий, непластичний.

Згідно з діаграмою Fe- Fe₃C білі чавуни бувають доєвтектичні, евтектичні і заєвтектичні (рисунок 5.1).

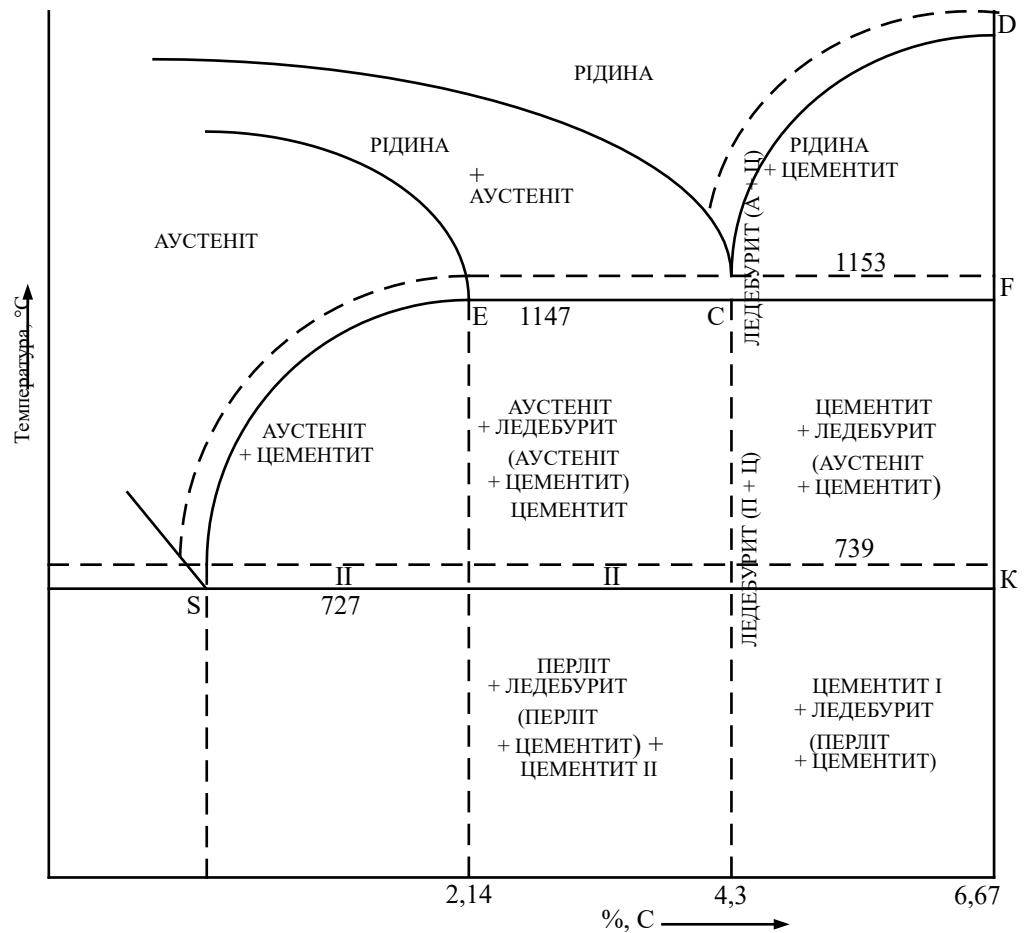


Рисунок 5.1 – Діаграма Fe- Fe₃C (чавунний кут)

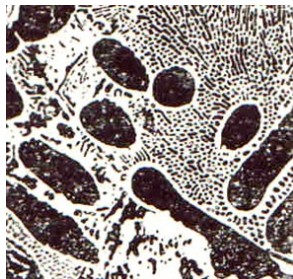


світлий (рисунок 5.2).

Евтектичний чавун (містить 4,3 % вуглецю) складається з 100% ледебуриту, який при кімнатній температурі являє собою механічну суміш перліту і цементиту. Перліт у ледебуриті – темний, цементит –

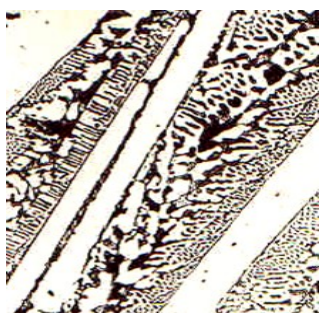
ЕВТЕКТИЧНИЙ ЧАВУН

Рисунок 5.2



ДОЕВТЕКТИЧНИЙ ЧАВУН
Рисунок 5.3

Доевтектичний білий чавун (містить менше 4,3% вуглецю) складається з перліту і ледеburиту (рисунок 5.3).



ЗАЕВТЕКТИЧНИЙ ЧАВУН

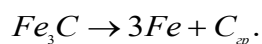
Заевтектичний білий чавун (містить більше 4,3% вуглецю) складається з первинного цементиту і ледеburиту (рисунок 5.4).

У машинобудуванні білі чавуни не застосовуються, а застосовують для відливання валків деяких прокатних станів, куль каменедробарок (у вигляді відбілювача робочої поверхні).

Рисунок 5.4

Сірі чавуни

Сірий чавун – машинобудівний, одержують його шляхом переплавляння ливарних доменних чавунів при повільному охолодженні відливок (рисунок 5.5). При цьому цементит графітується за реакцією



На графітування чавуну впливають швидкість охолодження і хімічний склад. При високій швидкості охолодження цементит не встигає графітуватися. При малій швидкості охолодження цементит розпадається на залізо та графіт.

Кремній та алюміній сприяють графітизації, а марганець і сірка затримують її.

СІРИЙ ЧАВУН

Рисунок 5.5

Металеву основу сірих чавунів складають ферит, перліт і частково цементит (як у сталях).

У сірих чавунах вуглець знаходиться у вільному стані у вигляді графітних включень пластинчастої форми. Цей чавун добре обробляється різанням. Розпаду цементиту (графітизації) сприяє кремній, вміст якого в сірих чавунах від 1,5 до 3,5 %. Сірий чавун отримують при повільному охолодженні. Чим менше швидкість охолодження, тим більшою мірою встигає відбутися процес графітизації. За ступенем графітизації розрізняють чавуни: перлітний, перлітно-феритний і феритний.

Графіт має малу міцність. Розташовуючись у металевій основі, він знижує міцність чавуну. Його вплив подібний до надрізів, мікротріщин. Властивості сірих чавунів при однаковій металевій основі залежать від розташування, форми і величини графітних включень. Існують такі форми графітних включень у чавуні: *пластинчасті* (крупнопластинчасті, середньопластинчасті, мілкопластинчасті), *пластівчасті і куляст*.

Чавун із пластинчастим графітом для відливок маркірується Сч10, Сч15, Сч20, Сч25, Сч30, Сч35. Умовна позначка марки включає букви «Сч» – сірий чавун і цифрове позначення величини мінімального тимчасового опору при розтяганні – МПа·10⁻¹.

Так, наприклад, у чавуні марки Сч10 тимчасовий опір при розтяганні σ_b складає не менше 100 МПа.

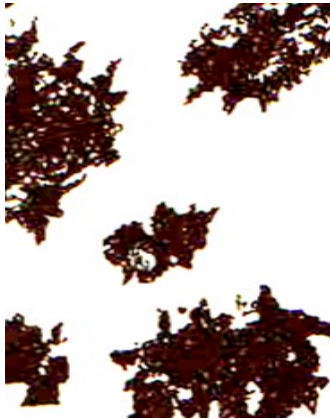
Для здрібнювання графітних включень сірі чавуни модифікують FeSi і SiCa.

Модифікатори, потрапляючи в рідкий чавун, розпадаються й утворюють дрібні окисли Si₂. Ці окисли рівномірно розподіляються в об'ємі рідкого чавуну і ніби «затемнюють» його. Не розчиняючись у рідкому металі, вони є додатковими центрами графітизації. Чавун з такою формою графіту більш міцний.

Пластичність цих чавунів низька, оскільки графіт розташовується переважно по межах зерен. Модифіковані чавуни

з перлітною основою мають високі антифрикційні властивості і застосовуються для відливання деталей поршневої групи двигунів внутрішнього згорання (гільзи двигунів, поршні і поршневі кільця).

Ковкі чавуни



Чавуни з пластівчастою формою графіту називаються *ковкими*, одержують їх шляхом відпалювання відливок з білого чавуну, що містить від 2,4 до 2,9 % С (рисунок 5.6). Змінюючи режим відпалювання, можна одержати чавуни з перлітної чи феритною металевою основою.

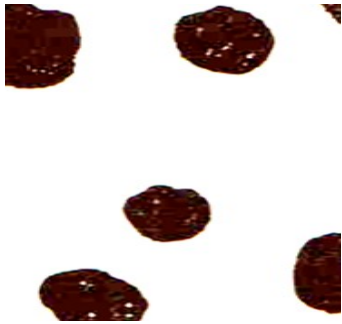
Рисунок 5.6

Відливки виготовляють з ковкого чавуну таких марок: Кч30-6, Кч33-8, Кч35-10, Кч37-12 феритного класу, що характеризується феритною чи феритно-перлітною мікроструктурою металевої основи; Кч45-7, Кч50-5, Кч55-4, Кч60-3, Кч70-2, Кч80-1,5 перлітного класу, що характеризується в основному перлітною мікроструктурою металевої основи. Букви «**Кч**» позначають «ковкий чавун», перші цифри σ_v – величини мінімального тимчасового опору при розтяганні ($\text{МПа} \cdot 10^{-1}$), другі цифри δ – відносне подовження у відсотках. Так, наприклад, у ковкого чавуну марки Кч35-10 тимчасовий опір при розтяганні складає не менше 350 МПа, а відносне подовження 6-10 %. Ковкий чавун застосовується для одержання тонкостінних відливок, що сприймають невеликі ударні навантаження (картер двигуна, корпус коробки швидкостей і дрібні деталі будівельно-дорожніх машин).

Графіт, отриманий при відпалюванні, називається **графітом відпалювання**. Він має округлу форму і наближається до кулястого.

Високоміцний чавун

Чавун з кулястою формою графіту називається **високоміцним** (рисунок 5.7). Одержують його шляхом обробки (модифікуванням) у ковші рідкого чавуну магнієм або церієм. Ці чавуни мають високі міцнісні властивості.



ВИСОКОМІЦНИЙ ЧАВУН

Рисунок 5.7

Пластичність у литому стані складає 2-12%, а межа міцності при розтяганні – 450-600 МПа. Термічна обробка підвищує відносно подовження до 15-20 %, а міцність – до 900-1100 МПа. Високоміцний чавун застосовується для відливання колінчатих валів, шестірень. Крім добрих антифрикційних властивостей він має здатність гасити коливання. ДСТУ 7293-85 поширюється на чавун для відливок, що має в структурі графіт кулястої чи вермикулярної форми, і встановлює марки чавуну, обумовлені на основі механічних властивостей: Вч35, Вч40, Вч45, Вч60, Вч70, Вч80 і Вч100. «Вч» – високоміцний чавун; цифрове позначення – мінімальне значення тимчасового опору при розтяганні ($\text{МПа} \cdot 10^{-1}$). Так, наприклад, у чавуну марки Вч60 тимчасовий опір при розтяганні складає не менше 600 МПа.

У сучасному машинобудуванні й інших галузях народного господарства чавун знаходить дуже широке застосування. Досить сказати, що у сучасному машинобудуванні виливки складають від 70 до 90 % загальної ваги багатьох машин, верстатів, двигунів внутрішнього згорання, прокатних станів і т.п. Чавунне лиття широко застосовується в будівництві: труби, радіатори, ванни, казани і т.д. Настільки широке застосування чавуну визначається рядом його позитивних властивостей у порівнянні зі сталлю: гарна рідкотекучість, низька температура плавлення, гарна оброблюваність, відмінні антифрикційні властивості тощо.

Закон про зв'язок структури і властивостей металевих матеріалів повною мірою проявляється й у випадку чавунів. Металева основа чавуну ослаблена включеннями графіту. Вплив графіту на міцність чавуну визначається його кількістю і формою. Великі прямолінійні графітові пластини в сірому чавуні пронизують і послабляють залізну основу у всіх напрямках. Так

само різко послабляє металеву основу і дрібнопластинчастий графіт. У високоміцному і ковкому чавунах графіт має сфероїдально-кулькоподібну і пластинчасту форму і послаблює металеву основу не більше ніж на 20 %.

Переваги цих чавунів перед звичайними сірими чавунами полягають не тільки в підвищенні властивостей безпосередньо після виливу, але й у тім, що їх можна піддавати різним видам термічної і хіміко-термічної обробки. Можливість застосування термічної обробки дозволяє ще більше підвищити властивості виливків і замінити дорогі сталеві деталі машин дешевим чавунним литтям.

5.3 Порядок виконання роботи

1 Вивчити загальні теоретичні положення про чавуни.

2 Накреслити діаграму Fe-C (2,14 - 6,67% C) і криві охолодження для доевтектоїдного, евтектоїдного і заевтектоїдного чавунів.

3 Розглянути чавунні мікрошліфи і накреслити структури різних чавунів, зазначити структурні складові білих (доевтектичний, евтектичний і заевтектичний), сірих (з металевою основою: ферит, перліт, феритно-перлітний), ковких (феритний, перлітний) і високоміцних чавунів.

5.4 Контрольні питання

- 1 Які залізобуглецеві сплави належать до чавунів?
- 2 Як класифікуються білі чавуни?
- 3 Яка структура доевтектичних, евтектичних і заевтектичних білих чавунів?
- 4 Яку форму мають графітні включення у сірому, ковкому, високоміцному чавунах?
- 5 Як маркуються сірі, ковкі, високоміцні чавуни?
- 6 Як впливає форма графітних включень на властивості графітованих чавунів?
- 7 Як впливає структура металевої матриці на властивості графітованих чавунів?

- 8 Назвати властивості чавунів.
- 9 Назвіть властивості й область застосування різних чавунів.

Лабораторна робота 6

ГАРТУВАННЯ ТА ВІДПУСКАННЯ СТАЛІ

(4 години)

6.1 Мета роботи

1 Ознайомитися з технологією гартування і відпускання сталі. Навчитися правильно визначати температуру нагрівання під гартування, вибирати охолоджувальне середовище, температуру відпускання сталі і перевіряти якість обробки.

2 Навчитися за заданим хімічним складом, структурою і твердістю сталі визначати вид термічної обробки.

3 Вивчити вплив різних видів термічної обробки (нормалізації, гартування і відпускання) на механічні властивості: межа міцності, границя текучості, відносне подовження, відносне звуження й ударна в'язкість.

6.2 Загальні теоретичні положення

Операція термічної обробки, яка полягає в нагріванні доєвтектоїдної сталі, вище лінії GS на 30-50⁰ С (до аустенітного стану), а евтектоїдної і заевтектоїдної сталі вище лінії PSK на 30-50⁰ С (до аустенітно-карбідного стану). Витримування при цих температурах з наступним швидким охолодженням у гартівному середовищі називається *гартуванням*. У результаті гартування виникає структура *мартенсит* з HRC>60. Мета гартування – одержання високої твердості, міцності і зносостійкості. Як охолоджувальні середовища при гартуванні застосовують воду, олію, розчини лугів тощо. Охолоджувальна здатність гартівних середовищ подана в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Охолоджувальні середовища при гартуванні

| Середовище для гартування | Швидкість охолодження в інтервалі температур, °С | |
|---------------------------------------|--|------------|
| | 650-550° С | 300-200° С |
| 10 %-й розчин їдкого натрію при 18° С | 1200 | 300 |
| Вода при 18° С | 600 | 270 |
| Машинне мастило | 150 | 30 |

Вибір охолоджувального середовища залежить від критичної швидкості гартування $V_{кр}$ сталі. За критичну швидкість гартування приймають найменшу швидкість охолодження, що забезпечує переохолодження аустеніту до температур мартенситного перетворення. Критична швидкість гартування визначається розмірами «шийки» на діаграмі ізотермічного перетворення аустеніту (С-діаграми) і може бути визначена за формулою

$$V_{кр} = \frac{A_1 - t_{ш}}{1,5\tau_{ш}}, \quad (6.1)$$

де $V_{кр}$ - критична швидкість гартування, град/с;
 A_1 - нижня критична температура сталі;
 $t_{ш}$ - температура найменшої стійкості переохолодженого аустеніту;
 $\tau_{ш}$ - час найменшої стійкості переохолодженого аустеніту.

Значення $t_{ш}$ і $\tau_{ш}$ беруться безпосередньо з С-діаграми сталі, що гартується.

Розміри «шийки» на С-діаграмі залежать від хімічного складу сталі. Збільшення вмісту вуглецю в сталі до 0,8% збільшує розміри «шийки», а потім зменшує (рисунок 6.1).

Усі легуючі елементи, за винятком кобальту, зміщують С-діаграму вправо і зменшують критичну швидкість гартування. Леговані і високовуглецеві сталі розжарюють звичайно в олії, середньовуглецеві сталі – у воді, розчинах лугів та ін.

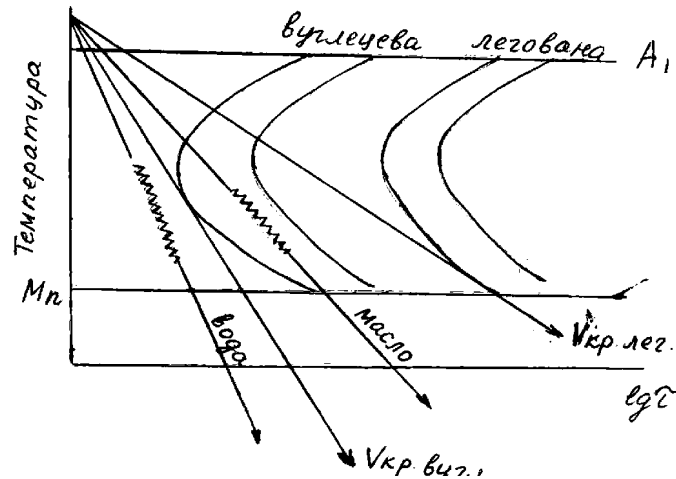


Рисунок 6.1 – Швидкості охолодження у воді й олії, нанесені на діаграму ізотермічного розпаду аустеніту

Маловуглецеві сталі ($C < 0,3\%$) «шийки» на С-діаграмі не мають і мартенситу після гартування не одержують. Графік гартування поданий на рисунку 6.2.

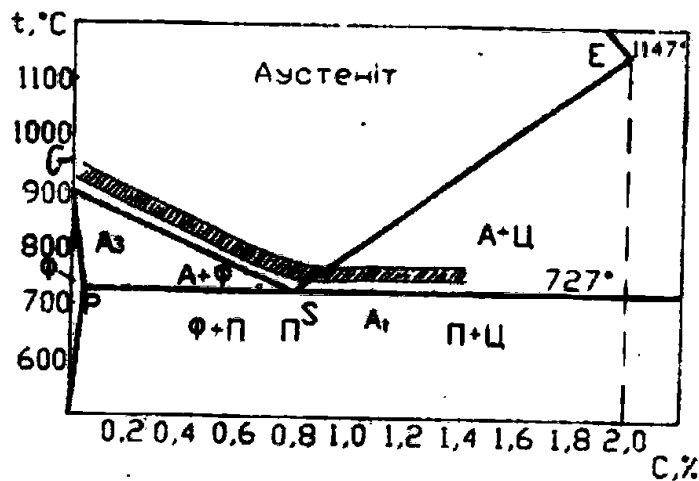


Рисунок 6.2 – Інтервал гартувальних температур для вуглецевих сталей

При швидкому охолодженні (при гартуванні) до низьких температур ($<200^{\circ}\text{C}$) $\gamma\text{-Fe}$ з розчиненим у ньому вуглецем (аустеніт) стає хитким і настає поліморфне перетворення: $\gamma\text{-Fe}$ переходить у $\alpha\text{-Fe}$. Перетворення є бездифузійним, весь вуглець, що знаходився в $\gamma\text{-Fe}$, залишається в гратці $\alpha\text{-Fe}$. Але оскільки $\alpha\text{-Fe}$ здатна розчинити лише 0,006 % C, то при гартуванні виходить перенасичений твердий розчин. Кубічна гратка $\alpha\text{-Fe}$ стає тетрагональною. Перенасичений твердий розчин вуглецю в перекрученій гратці $\alpha\text{-Fe}$ називається *мартенситом*. Мартенсит має голчасту будову (голки орієнтовані між собою під кутом $60 - 120^{\circ}$ (рисунок 6.3)), високу твердість, термічні і структурні напруги (умовно 100%). Після гартування зберігається деяка кількість залишкового аустеніту.

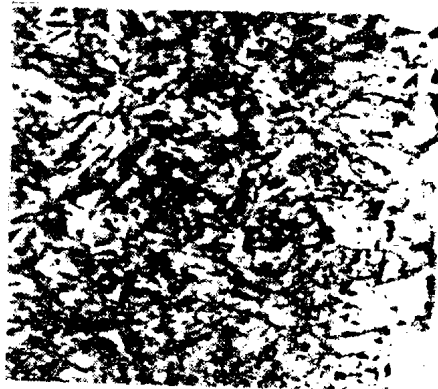


Рисунок 6.3 – Структура мартенситу

Високу твердість (міцність) загартованої сталі внаслідок крихкості і високої напруженості практично використовувати не можна, тому після гартування сталь піддають відпусканню. Операція термічної обробки, яка полягає в нагріванні загартованої сталі нижче лінії PSK, витримуванні й охолодженні на повітрі, називається *відпусканням*.

Відпускання має своїм призначенням зменшення внутрішніх напружень, зниження твердості і підвищення в'язкості. Розрізняють три види відпускання:

- низьке, температура нагрівання $100\text{-}250^{\circ}\text{C}$;
- середнє, температура нагрівання $250\text{-}500^{\circ}\text{C}$;
- високе, температура нагрівання $500\text{-}650^{\circ}\text{C}$.

Структура набуває темногольчастої будови і називається *відпущеним мартенситом*. Відпущений мартенсит має менше внутрішніх напружень, зберігає високу твердість. Низьке відпускання застосовується для різального інструменту та інших деталей, що працюють в умовах тертя. В інтервалі температур 200-300⁰ С залишковий аустеніт перетворюється на відпущений мартенсит.

При середньому відпусканні продуктом розпаду мартенситу є тростит відпускання, який являє собою тонкодисперсну суміш фериту та цементиту (рисунок 6.4, а).

Зняття значної частини деформації гратки викликає подальше зниження внутрішніх напружень. Тростит відпускання має твердість 40-45 НРС. Висока міцність і пружність, які забезпечуються цією структурою, є дуже важливими для ресор, пружин і штампів. При високому відпусканні відбувається коагуляція часток цементиту й остаточне зняття перекручувань гратки. Отримана структура називається *сорбітом відпускання* і складається з фериту і дрібних зерен цементиту (рисунок 6.4, б).

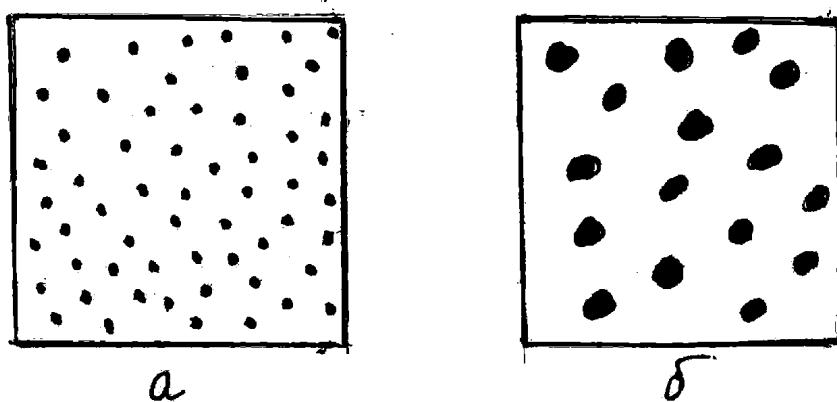


Рисунок 6.4 – Схематичне зображення троститу відпускання (а) і сорбіту відпускання (б)

Процес, що включає гартування і високе відпускання сталі, називається *покращенням*. При цьому покращуються всі механічні властивості (таблиця 6.2).

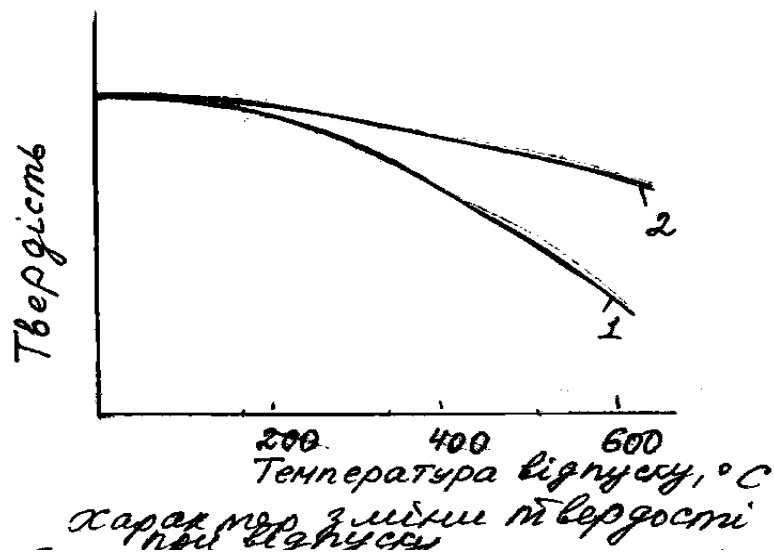
Таблиця 6.2 – Механічні властивості

| | |
|--------------------------|--------------------------------|
| Механічні характеристики | Механічні властивості сталі 55 |
|--------------------------|--------------------------------|

| | до покращення | після покращення |
|----------------------------------|---------------|------------------|
| Тимчасовий опір σ_b , МПа | 700 | 900 |
| Твердість, НВ | 180 | 300 |
| Відносне подовження δ , % | 15 | 18 |

Така структура дуже бажана для деталей машин, що піддаються ударам, крутінню, вигину і працюють при знакозмінному навантаженні (шестірні, осі, вали, шатуни та інші деталі).

З підвищенням температури відпускання знижується твердість (рисунок 6.5) і підвищується ударна в'язкість .



- 1 – вуглецева сталь;
2 – легована сталь

Рисунок 6.5 – Характер зміни твердості при відпусканні

6.3 Контрольні питання

- 1 Що таке гартування сталі?
- 2 До яких температур і чому необхідно гріти під гартування доевтектоїдні і заевтектоїдні сталі?
- 3 Чим визначається час витримки при гартуванні?
- 4 Що таке критична швидкість гартування?

- 5 Що таке мартенсит?
- 6 Які охолоджені середовища використовують для гартування сталі?
- 7 Що таке відпускання? Мета відпускання.
- 8 Низьке відпускання. Структура і властивості сталі після низького відпускання, область застосування.
- 9 Середнє відпускання. Структура і властивості сталі після середнього відпускання, область застосування.
- 10 «Поліпшення», його вплив на структуру і властивості сталі, область застосування.
- 11 Які структурні перетворення відбуваються при нагріванні загартованої сталі?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Гринберг Б.Г., Иващенко Т.М. Лабораторный практикум по металлостроению и термической обработке. – М.: Высшая школа, 1968. – 320 с.
- 2 Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. – М.: Машиностроение, 1990. – 528 с.
- 3 Гуляев А.П. Металловедение / Под общ. ред. Б.Н. Арзамасова. – М.: Машиностроение, 1986.
- 4 Лахтин Ю.М., Металловедение и термическая обработка металлов. – М.: Металлургия, 1984.
- 5 Арзамасов Б.Н. Материаловедение. – М.: Машиностроение, 1986.
- 6 Тимофеева Л.А., Комарова Г.Л., Федченко І.І. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів: Конспект лекцій. – Харків: УкрДАЗТ, 2002. – 61 с.
- 7 Масленников Ф.И. Лабораторный практикум по металлостроению. – М.: Машгиз, 1961.