

ДЕРЖАВНИЙ ЗАКЛАД «ПІВДЕННОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ К.Д. УШИНСЬКОГО»

Кафедра технологічної та професійної освіти

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ
ТА ОРГАНІЗАЦІЇ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ З НАВЧАЛЬНОЇ
ДИСЦИПЛІНИ «ВИРОБНИЦТВО ТА ОБРОБКА КОНСТРУКЦІЙНИХ
МАТЕРІАЛІВ»**

**СТРУКТУРА ТА ВЛАСТИВОСТІ ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ:
СТАЛІ ТА ЧАВУНИ**

для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності
014 Середня освіта (Трудове навчання та технології)

ОДЕСА 2023

УДК: 378.62-4

Рекомендовано до друку вченою радою
Державного закладу «Південноукраїнський національний педагогічний
університет імені К. Д. Ушинського»
протокол від «28» вересня 2023 року № 3

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Шевчук В. Г., доктор фізико-математичних наук, професор кафедри фізики та астрономії Одеського національного університету імені І. І. Мечникова

Брюханов А. О., доктор технічних наук, професор кафедри фізики .

Укладач:

Усов В. В. – доктор фізико-математичних наук, професор кафедри технологічної та професійної освіти

Методичні рекомендації до практичних занять та організації самостійної роботи з навчальної дисципліни «Виробництво та обробка конструкційних матеріалів» мають на меті допомогти студентам засвоїти теоретичний та практичний матеріал з теми «Структура та властивості залізобуглецевих сплавів: сталі та чавуни».

В роботі представлено методичні рекомендації щодо питань: 1. Структура та властивості сталей у рівноважному стані (після відпалу); 2. Структура та властивості чавунів; 3. Конструкційні сталі та сталі з особливими властивостями; 4. Структура та властивості інструментальних сталей і сплавів.

Наведено короткі теоретичні відомості, порядок виконання роботи та питання, які треба вивчити..

Рекомендовано для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 014 Середня освіта (Трудове навчання та технології) з метою закріплення, поглиблення й узагальнення знань, одержаних під час навчання.

ЗМІСТ

Вступ.....	
1. Структура та властивості сталей у рівноважному стані (після відпалу).....	29
2. Структура та властивості чавунів.....	33
3. Конструкційні сталі та сталі з особливими властивостями	41
4. Структура та властивості інструментальних сталей і сплавів.....	

ВСТУП

Мета даних методичних рекомендацій – надати допомогу здобувачам вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 014 Середня освіта (Трудове навчання та технології) на практичних заняттях з теми «Структура та властивості сталей у рівноважному стані (після відпалу)» з дисципліни «Виробництво та обробка конструкційних матеріалів». В даних методичних рекомендаціях містяться короткі теоретичні відомості, приклади рішення задач, завдання та задачі для самостійного розрахунку, порядок виконання роботи.

1. СТРУКТУРА ТА ВЛАСТИВОСТІ СТАЛЕЙ У РІВНОВАЖНОМУ СТАНІ (ПІСЛЯ ВІДПАЛУ)

МЕТА: вивчення мікроструктури вуглецевих сталей у рівноважному стані; визначення марок сталей; встановлення зв'язку між структурою сталей, діаграмою Fe-Fe₃C і властивостями сталей.

1.1 КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

З точки зору термодинаміки рівно вагові структури характеризуються мінімальними значеннями вільної енергії. Рівно вагові структури – це стабільні структури, які з часом не розпадаються. В сплавах рівно вагові структури утворюються після нагріву з подальшим дуже повільним охолодженням (разом із піччю), тобто після відпалу. Таким чином, структури сталі у рівно ваговому стані – це структури відпалених сталей дивись малюнки 8.1 і 8.2.

За змістом вуглецю і по структурі вуглецеві сталі (такі, що містять 0,02...2,14 % вуглецю) підрозділяються на: доевтектоїдні ($0,02\% < C < 0,8\%$), евтектоїдні ($C = 0,8\%$) і заевтектоїдні ($0,8\% < C < 2,14\%$).

Структури доєвтектоїдних сталей у рівноважному стані складається з фериту (світлі зерна) і перліту (темні зерна) – структура ферит + перліт ($\Phi + \Pi$) (Рис. 9.1, а, 9.2, а,б). При збільшенні вуглецю в доєвтектоїдних сталях пропорційне росте частка перліту, в якому знаходиться весь вуглець сталі, оскільки у фериті при кімнатній температурі вуглецю дуже мало (0,006 %).

Структура евтектоїдної сталі – перліт (Π). Перліт (перламутр) – евтектоїдна суміш фериту і цементиту, що утворюється при 727^0 C при повільному охолодженні з аустенітного стану $A_{0,8\%C} \rightarrow \Pi_{0,8\%C}(\Phi + \text{Ц})$. Перліт може бути пластинчастий (смугастий) (Рис. 9.1, б, 8.2, в) або зернистий (Рис. 8.1, в). При мікроскопічному дослідженні цементит виглядає світлим і блискучим; ферит – затіненим, тьмяним і темним. Оскільки в перліті міститься мало цементиту ($\cong 12\%$), то перліт в сталях і чавунах при мікроскопічному дослідженні виглядає темним.

Заєвтектоїдні сталі мають структуру перліт + цементит вторинний ($\Pi + \text{Ц}_{\Pi}$), сітка цементиту розташовується навколо зерен перліту (Рис. 8.1, г, 8.2, г).

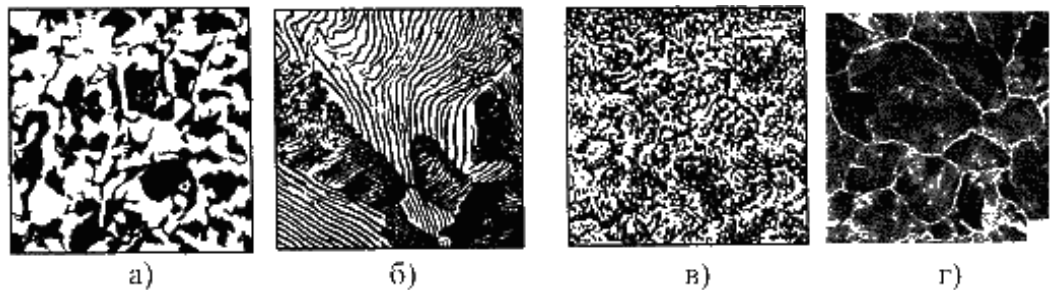


Рис. 8.1 – Мікроструктури сталей: а – доєвтектоїдна сталь ($\Phi + \Pi$) ферит – світлі зерна, перліт – темні зерна; б – евтектоїдна сталь (пластинчастий перліт); в – евтектоїдна сталь (зернистий перліт); г – заєвтектоїдна сталь ($\Pi + \text{Ц}_{\Pi}$) – темні перлітні зерна оточені сіткою цементиту вторинного, товщина сітки збільшується при збільшенні вуглецю в сталі.

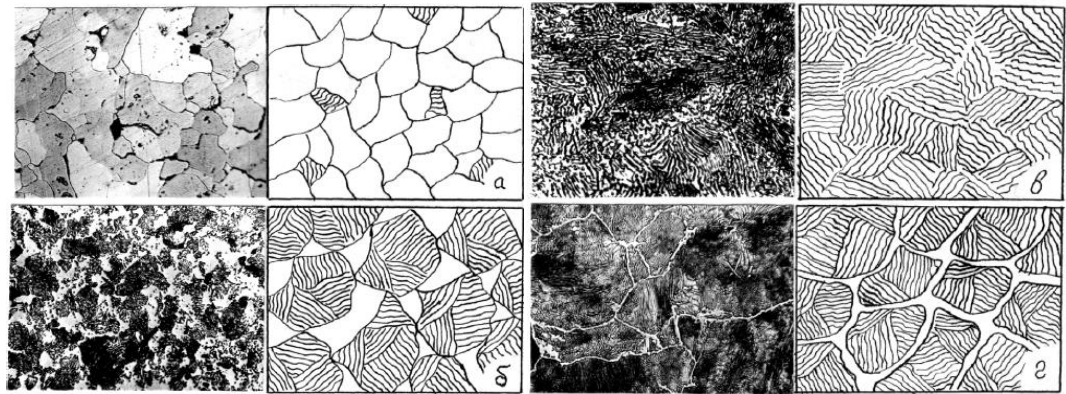


Рис. 8.2 – Мікроструктури сталей: а – доєвтектоїдна сталь (0,1 % С); б - доєвтектоїдна сталь (0,6 % С); в – евтектоїдна сталь (0,8 % С); г – заєвтектоїдна сталь (1,2 % С).

Якщо припустити, що густини фериту і цементиту в сталі сумірні, то по рівно ваговій мікроструктурі сплавів можна приблизно визначити кількість вуглецю у складі сплаву, враховуючи наступне: кількість вуглецю в перліті складає 0,8 %, у цементиті – 6,67 %. Зважаючи на малу розчинність вуглецю у фериті, приймається, що в ньому вуглецю немає. Для цього на мікрофотографії структури сталі визначають площину, зайняту перлітом. Наприклад, вона становить 30 %. Знаючи, що в перліті міститься 0,8 % С, із пропорції

$$100 \% \text{ П} - 0,8 \% \text{ С}$$

$$30 \% \text{ П} - X \% \text{ С}$$

можна визначити кількість вуглецю:

$$X = \frac{30 \cdot 0,8}{100} = 0,24\%.$$

Далі визначається марка сталі. Сталь, яка містить 0,24 % С, – це конструкційна сталь марки 25 (Ст 25).

Кількість вуглецю в заєвтектоїдних сталях можна визначити за формулою:

$$\%C = \frac{\%П \cdot 0,8\% + \%Ц_{II} \cdot 6,67\%}{100}.$$

де $\%П$ і $\%Цп$ – площі мікрознімку, зайняті відповідно перлітом і цементитом вторинним; $0,8\% С$ і $6,67\% С$ – кількість вуглецю в перліті і цементиті.

Властивості вуглецевих сталей в значній мірі залежать від вмісту в них шкідливих домішок сірки S і фосфору P. Від кількості S і P сталі відрізняють по якості: звичайної якості, якісні, високоякісні.

Сталі звичайної якості містять $0,04...0,06\% S$, $0,04...0,08\% P$. В залежності від призначення ці сталі діляться на три групи: «А» – поставляються з гарантованими механічними властивостями без уточнення їх хімічного складу (Ст0, Ст1кп, Ст3пс, Ст4, Ст5сп, Ст6) і призначені для використання в стані постачання у вигляді листів і різних профілів (прутки, листи, швелери, труби і ін.) і поковок без подальшої зварки або термічної обробки; «Б» – поставляються з гарантованим хімічним складом (БСт1кп, БСт2пс, БСт3, БСт4сп, БСт5, БСт6) і призначені для виробів, що виготовляються із застосуванням гарячої деформації або термічної обробки; «В» поставляються з гарантованими механічними властивостями і хімічним складом для виробництва зварних конструкцій. Літери Ст позначають «сталь звичайної якості», цифри (від 0 до 6) – номер марки. Із збільшенням номера марки підвищується міцність, і знижується пластичність стали. Букви сп, пс кп вказують ступінь розкислення сталі (тобто ступені виведення із сталі кисню) відповідно: спокійна (кисень виведений найбільшою мірою), полуспокійна, кипляча.

Стали якісні конструкційні містять не більше $0,04\% S$ і $0,035\% P$ і маркуються двозначними числами 05, 08, 10, 15, 20 ...85, що позначають середній вміст вуглецю в сотих частках відсотка. Низьковуглецеві (вміст вуглецю $\leq 0,3\%$) сталі пластичні, добре штамнуються і зварюються, застосовуються для виготовлення кріпильних деталей, втулок, осей, кулачків і ін. Низьковуглецеві сталі можуть насичатися з поверхні вуглецем (цементация). Середньовуглецеві (вміст вуглецю $0,3...0,7\%$) сталі 30, 35, 45, 50 мають підвищену міцність, але меншу в'язкість і пластичність.

Застосовують ці сталі для виготовлення невеликих валів, шатунів, зубчатих коліс і ін. Вироби після механічної обробки піддають гарту і високому відпуску (термічному поліпшенню). Високовуглецеві (вміст вуглецю $> 0,7\%$) сталі 60, 65, 70, 75, 80 і 85 застосовують для виготовлення ресорно-пружинних виробів.

Вуглецеві інструментальні сталі випускають якісними (У7, У8, У9, У10, У11, У12, У13; кількість сірки не більше 0,03 %, фосфору не більше 0,035 %), або високоякісними (У7А... У13А; кількість сірки не більше 0,02 %, фосфору не більше 0,03 %). Буква У означає «вуглецева інструментальна», буква А наприкінці марки – високоякісна. Цифри показують середній вміст вуглецю в десятих частках відсотка. Із сталей У7...У9 виготовляють інструменти, що піддаються ударам: столярні, слюсарні, ковальські, а також матриці, пуансони і ін. Із сталей У10...У12 виготовляють напилки, пили, мітчики, різці, калібри і т.д. Сталь У13 використовують для інструментів, що вимагають найбільш високу твердість: шаберів, інструменту гравіювання.

1.2 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ.

1. Розгляньте та проаналізуйте структури вуглецевих сталей на рисунку 8.3. Схематично нарисуйте структури сталей, стрілками вкажіть структурні складові.

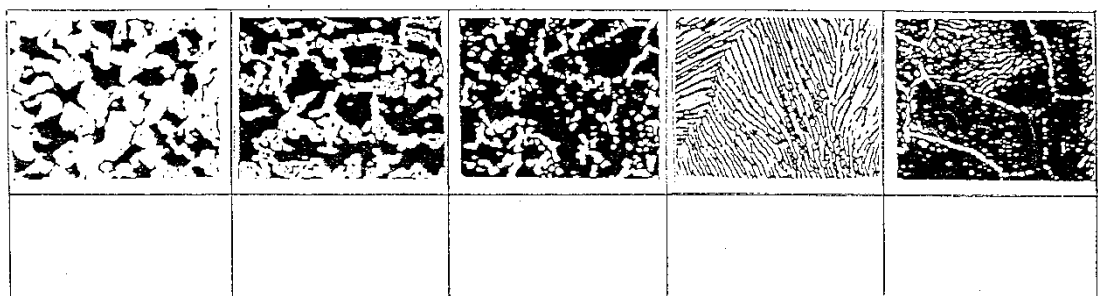


Рис. 8.3.

. Визначить кількість структурних складових, кількість вуглецю у кожній сталі, призначення та їх марки. Заповніть таблицю 8.2.

Таблиця 8.2

Структура					
% C					
Призначення					
Марка сталі					

3. Накресліть «сталю частину» діаграми Fe – Fe 3 % C. На діаграму нанесіть сталь з кількістю вуглецю, відповідно до свого варіанту (дивись таблицю 8.1). Побудуйте відповідну криву охолодження (Рис. 8.4). Опишіть фазові перетворення в сталі.

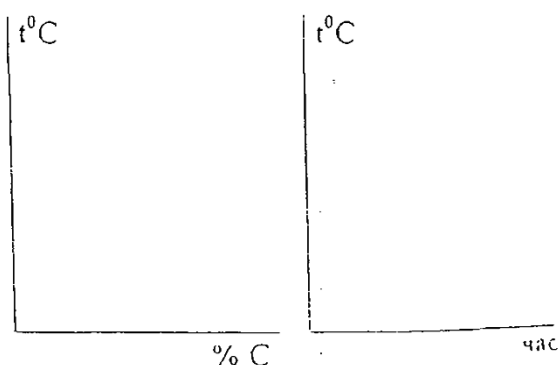


Рис. 8.4.

Таблиця 1.1

Початкові дані для виконання роботи

№ варіанту	Вміст вуглецю, %	№ варіанту	Вміст вуглецю, %
1	0,1	11	1,1
2	0,2	12	1,2
3	0,3	13	1,3
4	0,4	14	1,4
5	0,5	15	1,5
6	0,6	16	1,6
7	0,7	17	1,7
8	0,8	18	1,8
9	0,9	19	1,9
10	1,0	20	2,0

5. Визначить твердість по Брінеллю сталей, марки яких визначені з малюнка 8.3 і записані в таблицю 8.2, виходячи з того, що ферит (вміст вуглецю 0,006 %) має HB 80, перліт (вміст вуглецю 0,8 %) – HB 170, ледебурит (вміст вуглецю 4,3 %) – HB 550, цементит (вміст вуглецю 6,67 %) – HB 800. Заповніть таблицю і побудуйте графік $HB = f(\% C)$ (див. Рис. 8.5).

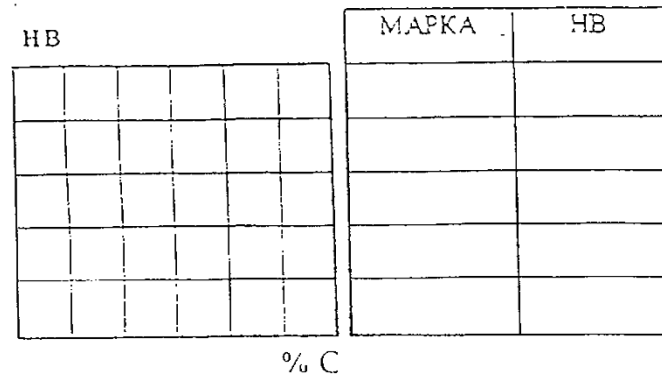


Рис. 1.5

2. СТРУКТУРА ТА ВЛАСТИВОСТІ ЧАВУНІВ

МЕТА: вивчення мікроструктури чавунів різних марок, їх властивостей і області призначення.

2.1 КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Чавунами називають сплави заліза з вуглецем, що містять вуглецю більше 2,14 % (до 6,67 %). У машинобудуванні чавун є одним з основних ливарних матеріалів. Він не підлягає обробці тиском. Властивості чавунів залежать від їх структури, яка може бути дуже різноманітною.

За структурою чавуни діляться на білі і графітізовані (сірі, ковкі, високоміцні). Білі чавуни мають білий, блискучий злам. В білих чавунах практично весь вуглець знаходиться у вигляді Fe_3C . Мікроструктури білих чавунів представлені на рисунку 9.1. Білі чавуни підрозділяються по кількості вуглецю і по структурі на: доєвтектичні (вміст вуглецю від 2,14 до 4,3 %); евтектичний (вміст вуглецю 4,3 %); заєвтектичні (вміст вуглецю більше 4,3 %).

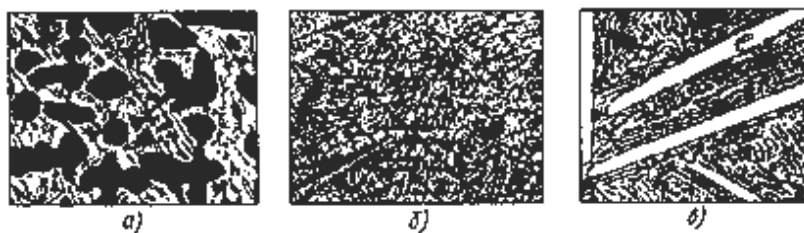
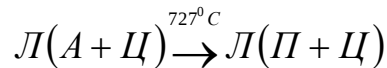


Рис. 2.1 – Мікроструктури білих чавунів: а – доєвтектичний білий чавун $(\text{П} + \text{Л} + \text{Ц}_\text{II})$; б – евтектичний білий чавун (Л); в – заєвтектичний білий чавун $(\text{Л} + \text{Ц}_\text{I})$.

Структура евтектичного чавуна – ледебурит (Л) (ледебурит – це евтектична суміш аустеніту і цементиту, яка одночасно кристалізується із рідини при 1147°C) (Рис. 2.1, б). При температурі 727°C ледебурит зазнає евтектоїдне перетворення, тобто аустеніт (А), який входить у склад

ледебуриту, розпадається на ферито - цементитну суміш, що називається перліт (П). Таким чином, має місце перетворення:



Доевтектичні чавуни при температурах нижче 727^0C мають структуру перліт + ледебурит + цементит вторинний $(П + Л + Ц_{II})$ (Рис. 9, а); заевтектичні чавуни мають структуру ледебурит + цементит первинний $(Л + Ц_I)$ (Рис. 2.1, в).

Білі чавуни використовують лише для вироблення деталей, які працюють в умовах підвищеного зносу (наприклад, валки прокатних станів, деталей гідромашин). Термічною обробкою білий чавун переробляють на ковкий чавун. Якщо білий чавун піддати спеціальному графітизуючому відпалу, то при високих температурах цементит, що міститься в білому чавуні, розпадається з утворенням графіту. Такий відпалений чавун зветься ковкий чавун. На рисунку 2.2 зображена схема відпалу білого чавуну для одержання ковкого.

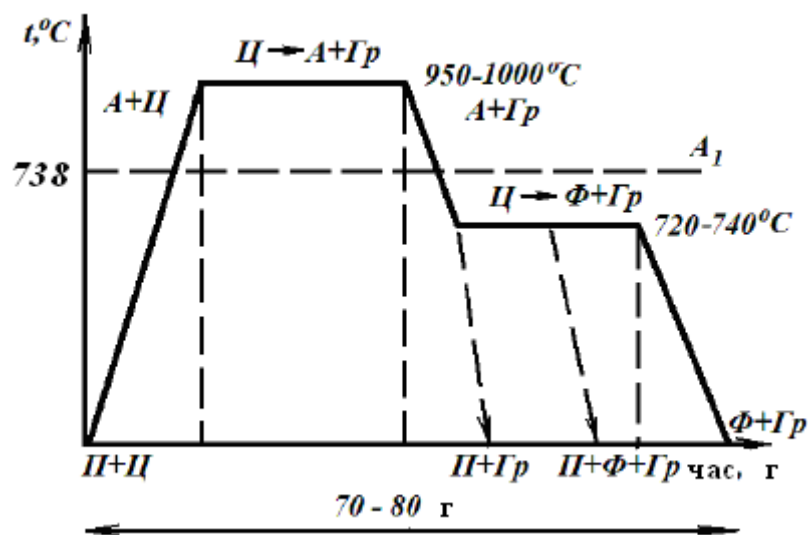


Рис. 2.2 – Схема утворення структур при графітизації

Графітизуючий відпал звичайно складається з двох стадій. Першу стадію проводять при $950...1050^0 C$ на протязі 10-15 годин. Цементит, який є в структурі, розпадається на аустеніт + графіт. Якщо після витримки при цієї

температурі проводити безперервне охолодження, то аустеніт перетвориться у перліт, і кінцева структура чавуна буде перліт + графіт у вигляді пластівців (ковкий чавун на перлітній металічній основі). Такий чавун має високу твердість (≈ 200 НВ) і міцність ($\sigma_b \approx 650 \dots 800$ МПа) і невелику пластичність ($\delta = 3,0 \dots 1,5$ %). Для того, щоб одержати ковкий чавун на феритній металічній основі, проводять другу стадію графітизації. З температури $950 \dots 1050^\circ \text{C}$ чавун охолоджують до $720 \dots 700^\circ \text{C}$. Аустеніт перетворюється у перліт. Час відпалу при цій температурі приблизно 15...25 годин. За цей час цементит, який входить у склад перліту, розпадається на ферит + графіт у вигляді пластівців, тобто утворюється ковкий чавун на феритній основі, який характеризується високою пластичністю ($\delta = 10 \dots 12$ %) і невеликою міцністю ($\sigma_b \approx 370 \dots 300$ МПа). Промисловість випускає ковкі чавуни таких марок: КЧ 30-6; КЧ 33-8; КЧ35-10; КЧ 37-12; КЧ 45-7; КЧ 50-5; КЧ 55-4; КЧ 60-3; КЧ 65-4; КЧ 70-2; КЧ 80-1,5. Літери КЧ означають ковкий чавун. Перше число у марці відповідає мінімальній міцності у вигляді $\sigma_b/10$, друге число відповідає відносному подовженню при розтягуванні (δ , %).

Залежно від форми графіту і умов його утворення розрізняють такі групи чавунів: ковкий – з графітом у формі пластівців; сірий – з графітом у формі пластин; високоміцний – з графітом кулястої форми.

Схеми мікроструктур чавуну залежно від металевої основи і форми графітових включень представлені на рисунку 9.3. Структури сірих чавунів (Рис. 2.3) утворюються при кристалізації із рідини і залежить від кількості вуглецю і кремнію (графітизуюча домішка) у сплаві, а також від швидкості охолодження. Встановлено, що чим більше вуглецю і кремнію у сплаві і чим нижче швидкість охолодження, тим більше вуглецю буде і формі графіту. Сірі чавуни мають графіт у формі пластин. Металічні основи сірих чавунів – феритна, перлітна і ферито-перлітна. Промисловість виробляє сірі чавуни таких марок: СЧ 10; СЧ 15; СЧ 20; СЧ 25; СЧ 30; СЧ 35. Літери СЧ означають сірий чавун. Число у марці відповідає мінімальній міцності у вигляді $\sigma_b/10$. Високоміцні чавуни мають графіт кулястої форми (Рис. 9.3).

Металічні основи високоміцних чавунів – феритна, перлітна і ферито-перлітна. Високоміцні чавуни одержують модифікуванням (тобто мікро легуванням) рідини магнієм (0,1...0,5 %). Марки високоміцних чавунів ВЧ 35; ВЧ 40; ВЧ 45; ВЧ 50; ВЧ 60; ВЧ 70; ВЧ 80; ВЧ 100. Літери ВЧ означають високоміцний чавун. Числа у марках відповідають мінімальній міцності у вигляді $\sigma_B/10$.

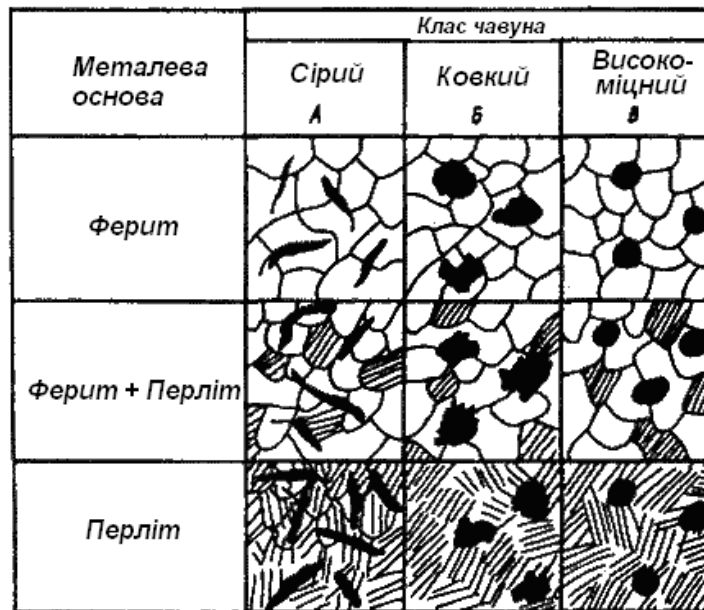


Рис. 2.3 – Схеми мікроструктур чавуну залежно від металевої основи і форми графітових включень

Високоміцні чавуни застосують, завдяки добрим ливарним і технологічним властивостям, часто замість сталей при виробленні колінчастих та розподільних валів, деталей зубчатих передач тощо. Відливання колінчастих валів масою до 2...3 тон замість кованих валів із сталі, володіють вищою циклічною в'язкістю, малочутливі до зовнішніх концентраторів напруги, володіють кращими антифрикційними властивостями і значно дешевше. З високоміцного чавуну виготовляють тонкостінні відливання (поршневі кільця), шаботи кувальних молотів, станини і рами пресів і прокатних станів, виливниці, держателі різців, планшайби. Сірі чавуни застосовують: у верстатобудуванні – базові, корпусні деталі, кронштейни, зубчаті колеса; у автобудуванні – блоки циліндрів,

поршневі кільця, розподільні вали, диски зчеплення; в електромашинобудуванні використовуються відливання з сірого чавуну для виготовлення товарів народного споживання. З ковких чавунів виробляють різноманітні деталі (гайки, фланці, колінчаті вали, кронштейни). З феритних чавунів виготовляють картери редукторів, маточини, крюки, скоби, хомутики, муфти, фланці. З перлітних чавунів, що характеризуються високою міцністю, достатньою пластичністю, виготовляють вилки карданних валів, ланки і ролики ланцюгів конвеєра, гальмівні колодки.

2.2 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Розгляньте і схематично нарисуйте структури білих чавунів (рис. 2.4). Приблизно вкажіть твердість кожного з чавунів.

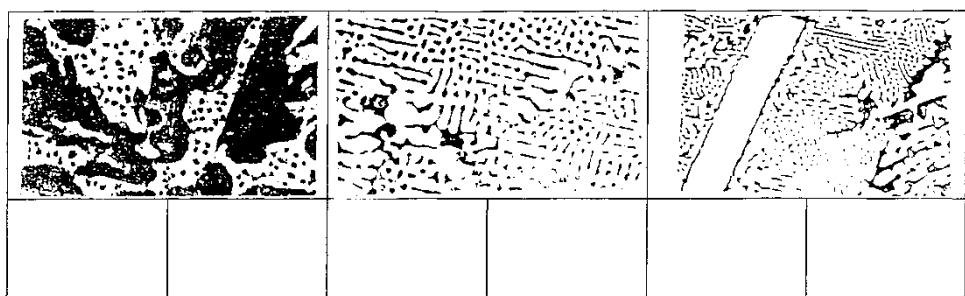


Рис. 2.4. Структури білих чавунів

2. Розгляньте і схематично нарисуйте структури графітизованих чавунів. Проаналізуйте їх структури та властивості. Заповніть таблицю.

3.



Рис. 2.5. Структури графітизованих чавунів

Таблиця 2.1.

Властивості та застосування графітізованих чавунів

Назва чавуну	Форма графіту	Металева основа	Марка	Властивості			Застосування
				$\sigma_B, \text{кгс/мм}^2$	$\delta, \%$	НВ	

3. КОНСТРУКЦІЙНІ СТАЛІ ТА СТАЛІ З ОСОБЛИВИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

МЕТА: вивчення принципів легування сталей і вплив легування на їх властивості; вивчення структури, методів зміцнювальної обробки і призначення конструкційних сталей та сталей з особливими властивостями.

3.1 КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Легованими називаються сталі, в які для отримання необхідних властивостей спеціально додаються певні кількості необхідних елементів. Ці елементи відображають відповідними літерами на початку марки сталі (табл. 3.1)

Таблиця 3.1.

Позначення легуючих елементів у позначки сталі

Назва елементу	Хімічний символ	Позначення	Приклади
Карбон	C	Не вказується	
Хром	Cr	Х	40Х; 40Х13
Кремній	Si	С	65СГ; 30ХГСА
Нікель	Ni	Н	45ХН; 12Х18Н10Т-Ш
Марганець	Mn	Г	65СГ; 30ХГС
Вольфрам	W	В	ХВГ; Х6ВФ
Молібден	Mo	М	12ХМ; 15Н2М
Кобальт	Co	К	Р10Ф5К5; Р6М5К5
Титан	Ti	Т	15ХГН2Т; 5ХНТ
Ванадій	V	Ф	12ХМФ; 12Х8ВФ
Алюміній	Al	Ю	38ХМНЮА; 36НХТЮА

Основними легуючими елементами в сталях є хром-Х, нікель-Н, марганець-Г, кремній-С, молібден-М, вольфрам-В, ванадій-Ф, титан-Т, кобальт-К, алюміній-Ю, бор-Р, ніобій-Б та інші. Деякі види сталей

позначають особливо. Літеру Ш застосовують для позначення шарикопідшипникових сталей. Швидкорізальні сталі маркуються літерою Р (від англійського Rapid – швидкий).

За ступнем легуваності сталі діляться на низьколеговані (містять до 5 % легуючих елементів), середньо леговані (містять 5...10 % легуючих елементів), високолеговані (містять 10...50 % легуючих елементів).

Якість легованих сталей залежить від кількості в них шкідливих домішок S і P. В залежності від кількості S і P леговані сталі діляться на якісні ($\approx 0,035$ % S і 0,035 % P), високоякісні (0,02 % S і 0,03 % P), позначаються літерою А наприкінці марки сталі, особливо високоякісні ($\approx 0,015$ % S і P), позначаються літерою Ш наприкінці марки сталі.

В конструкційних сталях головною структурою є легований ферит – твердий розчин вуглецю і легуючих елементів у α – Fe.

На рисунку 12.1 показано, як впливають легуючі елементи на твердість, ударну в'язкість і поріг холодноламкості сталей.

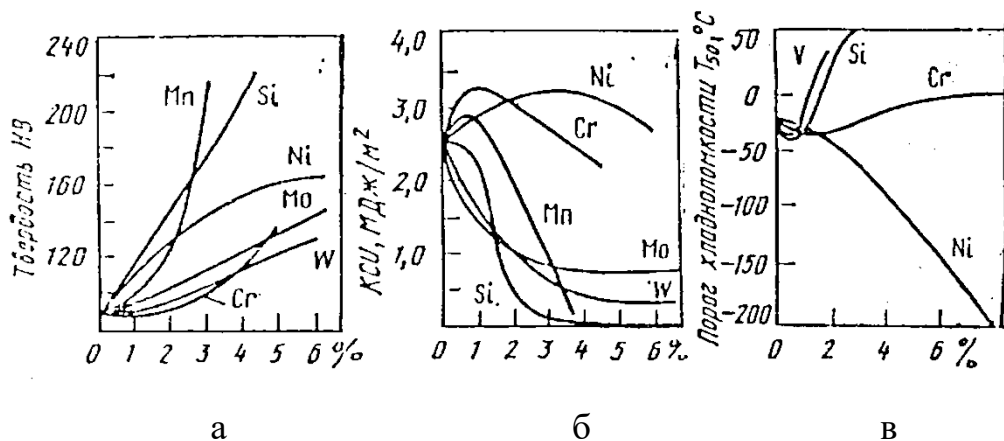


Рис. 3.1 – Вплив легуючих елементів на а) твердість, б) ударну в'язкість, в) поріг холодноламкості сталей

Аналіз приведених графіків показує, що найкраще забезпечують конструкційну міцність (поєднання міцності з запасом пластичності) у сталях нікель і хром. Ці ж елементи мають бути головними і у холодостійких сталях.

За призначенням сталі діляться на конструкційні та сталі з особливими властивостями. Конструкційні сталі, в свою чергу, діляться на такі групи.

Цементовані сталі – містять 0,08...0,025 % вуглецю. У таких сталях після цементації і гарту з низьким відпуском утворюється мартенсит з карбідами, що забезпечує високу твердість (біля 60 HRC), зносостійку поверхню і в'язку серцевину. Цементації піддають сталі 12Х, 12ХН3А, 18ХГТ, 18Х2Н4МА, 20ХГР, 20ХНР та ін.

Поліпшуванні сталі містять 0,3...0,5 % С. З них виробляють деталі машин, які підлягають поліпшенню – гарту з подальшим високим відпуском. Після такої термічної обробки утворюється структура сорбіт, яка забезпечує достатньо високу міцність. Марки деяких поліпшуваних сталей 40Х, 40ХН, 40ХМА та інші.

Пружинні сталі містять 0,5...0,8 % С. З них виробляють пружини, мембрани, пружинні елементи приладів. Вироби з пружинних сплавів підлягають гарту з послідуочим середнім відпуском (структура – троостит або бейніт). Марки деяких пружинних сталей: 65Г, 55С2, 50ХГА, 60С2ХФА.

Підшипникові сталі містять ≈ 1 % С. Вони підлягають гартуванню з подальшим низьким відпуском. Структура після термічної обробки: мартенсит і карбіди, які забезпечують високу твердість і зносостійкість. Марки підшипникових сталей: ШХ6, ШХ9, ШХ15, ШХ15СГ. (Літера Ш означає – шарикопідшипникова. Кількість хрому в цих марках записують в десятих долях відсотка).

Будівельні леговані сталі. До них відносяться низьколеговані сталі 17ГС, 16Г2АФ, 17ГСБ, 09Г2С, 08Г2СФБ. Вони підлягають поліпшенню для отримання високих міцності і пластичності, зниження порогу холодноламкості. З будівельної сталі виготовляють зварні будівельні конструкції. Арматурна сталь має марки: 18Г2С, 35ГС, 25ГС2, 20ХГ2Ц, 45С, 45ГС.

Сталі з особливими властивостями, це – високолеговані сталі. До них відносяться сталі, що володіють якою-небудь різко вираженою властивістю: електротехнічні, неіржавіючі, жароміцні і теплостійкі, зносостійкі і т.д.

Термічна обробка різних високолегованих сталей залежить від структурного класу сталей.

Сталі мартенситного класу (09X16H4Б) підлягають гартуванню на повітрі. При цьому утворюється мартенсит.

Аустенітні сталі (I2XI8H10T – 0,12 % C; 1-2 % Mn, 17-19 % Cr; 8-10% Ni ~ 1 % Ti) підлягають гартуванню на аустеніт, тобто структурою таких сталей є аустеніт. В такому стані сталі залишаються високо пластичними і легко деформуються. Єдиний спосіб зміцнення аустенітних сталей – холодна пластична деформація.

Сталі з вмістом 18 % Cr і 10% Ni – нержавіючі, тобто корозійностійкі, набули найбільш високого використання.

Високоміцні мартенситно-старіючі сталі підлягають гартуванню з подальшим старінням. При цьому утворюється структура нікелевого мартенситу з невисокою міцністю і інтерметалідів Ni_3Ti , NiAl , Fe_2Mo , які підвищують міцність сталі. Найбільш ефективно підвищують міцність титан і молібден. Марки деяких мартенситно-старіючих сталей H18K9M5T, H18K12M5T2, H16K4M5T2, H18K14M5T.

Існують емпіричні формули, за якими можна підрахувати міцність (σ_b) і пластичність (δ , %) мартенситно-старіючих сталей:

$$\sigma_b = 11 + 42 \cdot \% \text{Ni} + 158 \cdot \% \text{Mo} + 38 \cdot \% \text{Co} + 332 \cdot \% \text{Ti} \text{ (МПа)}$$

$$\delta = 44 - 0,46 \cdot \% \text{Ni} - 2,4 \cdot \% \text{Mo} - 0,6 \cdot \% \text{Co} - 5,2 \cdot \% \text{Ti} \text{ (\%)}$$

3.2. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Проаналізуйте вплив легуючих елементів на властивості фериту – головної структури в конструкційних сталях. Проаналізуйте також вплив легуючих елементів на поріг холодноламкості конструкційних сплавів. Зробіть висновок, які легуючі елементи найкраще забезпечують конструкційну міцність сталей – поєднання достатньої міцності з запасом

пластичності; які елементи мають бути головними в холодостійких сталях 20Х2Н4ВА, 12ХН3А, 15ХМ, 38Х2МЮА, 30ХГСН2А, 40ХН2МА.

2. Охарактеризуйте задані марки конструкційних сталей та сталей з особливими властивостями відповідно до Вашого варіанту.

3. Підрахуйте σ_B і δ для високоміцної мартенситно-старіючої сталі.

Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5
70С2ХА	110Х17Н13М3Т	30ХГСН2МА	12Х18Н10Т	30Х2ГСН2ВМ
P18	15ХМ	P9	30Х10Г10	P12Ф3
15Х	12Х18Н9Т	15ХА	30ХГСН2А	15ХФ
40ХН	ХН62МВКЮ	25ХГСА	ШХ15	30ХГС
H18K9M5	08Х18Н10	09Х15Н8Ю	25Х2ГНТРА	H4X12K15M4T
12Х13	12Х18Н9Т	15Х6СМ	P6M5	40Х9С2
12Х18Н10Т	H18K9M5T	45Х14Н14В2М	H10X12Д2Т	H16K4M5T2

Варіант 6	Варіант 7	Варіант 8	Варіант 9	Варіант 10
40Х13	ШХ15СГ	P6M5K5	18ХГТ	40ХН2СМА
P6M5Ф3	10Г2С1	12Х2Н4А	P18K5Ф2	95Х18
12ХН3А	50ХА	40ХН2МА	20ХГНР	ХН77ТЮР
30ХН3А	ОХ14АГ12М	20Х17Н2	30Х13	ХН56ВМКЮ
20Х13	10Х11Н23Т3МР	20Х3МВФ	ХН70Ю	60С2
12Х17	20Х13	ХН60Ю	55С2	50ХФА
12Х1МФ	25Х2М1Ф	40Х10С2М	ШХ15Ш	ШХ15ВД
Варіант 11	Варіант 12	Варіант 13	Варіант 14	Варіант 15
17Г1С	5ХНМ	30ХГСН2МА	12Х18Н10Т	09Г2С
40Х	20Х13	P9	30Х10Г10	P12Ф3
40ХН	12Х18Н9Т	15ХА	40ХМФА	15ХФ
15ХМ	06Х12Н3ДЛ	25ХГСА	ШХ15	36Г2СР
30ХМ	10Х12ДЛ	09Х15Н8Ю	25Х2ГНТРА	H4X12K15M4T
30Х2Н2М	12Х18Н9Т	15Х6СМ	P6M5	40Х9С2
40ХН2МА	65Г	45Х14Н14В2М	H10X12Д2Т	30Х13Н7С2
Варіант 16	Варіант 17	Варіант 18	Варіант 19	Варіант 20
40ХН2СМА	ШХ15СГ	P6M5K5	18ХГТ	38Х2Н2МА
P6M5Ф3	X12MФ1	12Х2Н4А	P18K5Ф2	95Х18
12ХН3А	50ХА	40ХН2МА	20ХГНР	ХН77ТЮР
30ХН3А	18Х2Н4ВА	20Х17Н2	30Х13	38ХН3МФА
20Х13	10Х11Н23Т3МР	20Х3МВФ	ХН70Ю	60С2
12Х17	20Х13	ХН60Ю	55С2	50ХФА
12Х1МФ	25Х2М1Ф	20ХГНТР	ШХ15Ш	ШХ15ВД

4. СТРУКТУРА ТА ВЛАСТИВОСТІ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ СТАЛЕЙ І СПЛАВІВ

МЕТА: вивчення структури, властивостей. Області призначення інструментальних сталей і сплавів.

4.1 КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Інструментальні сталі призначені для виготовлення ріжучого, вимірювального, штампового і іншого інструменту, а також деталей точних приладів: пружин, підшипників тощо.

Головні властивості, які характеризують інструментальні сталі, це зносостійкість, теплостійкість, прогартування.

Зносостійкість забезпечує збереження розміру і форми робочої частини інструменту протягом довгого часу. Зносостійкість пов'язана з твердістю.

Прогартування – це глибина загартованого шару, яку можна підвищити хромом, марганцем.

Теплостійкість – характеризує здібність сталі зберігати велику твердість до високих температур.

Нетеплостійкі сталі (вуглецеві та низько – і середньо леговані) зберігають високу твердість, яку здобули після гарту, до 200...250⁰С. При подальшому нагріванні мартенсит розпадається. До не теплостійких сталей з відносяться сталі У7...У13, 7ХФ...11ХФ, 13Х та інші (мале прогартування ≈ 5 мм); Х, ХВГ, ХГ, ХВ5 (середнє прогартування ≈ 50...80 мм); 6ХС...9ХС, ХГСВ (високе прогартування до 100 мм).

Напівтеплостійкі сталі зберігають високу твердість до 250...400⁰С. Це високо хромисті сталі Х6ВФ, Х12Ф1 і хромонікелеві сталі 5ХНВ, 5ХНМ, 5ХГМ, 5ХГВС та інші. Хромонікелеві сталі підлягають гарту і відпуску при 500...550⁰С (структура сорботроостит).

Теплостійкі (червоностійкі) сталі зберігають свої властивості до 550...600⁰С. Вони складають групу так званих швидкоріжучих сталей, які маркують літерою Р: Р9, Р6М5, Р12, Р9Ф5, Р9К5. На рис. 4.1 показана структура штампової сталі Х12М після гартування і низького відпуску; швидкоріжучої сталі Р18 після литва і гарячої деформації і відпалу; твердого сплаву ВК15 і Т15К6.

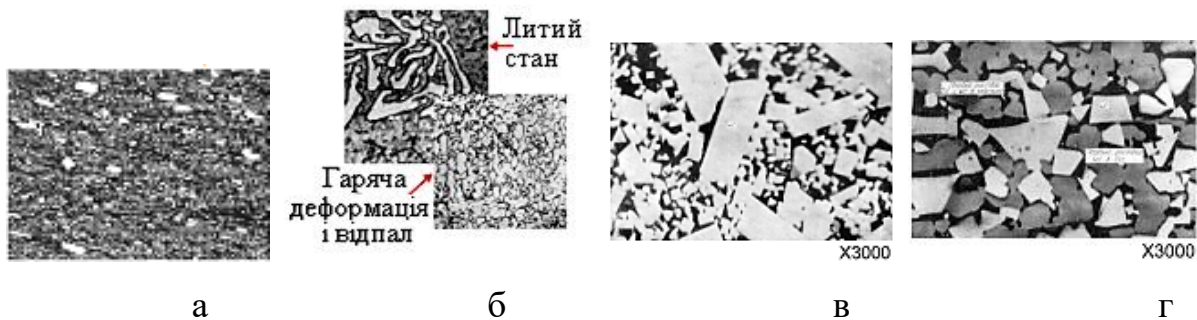


Рис. 4.1 – Структури: а – Х12М; б – Р18; в – ВК15, г – Т15К6

Тверді сплави є ще більш теплостійкими, ніж швидкоріжучі сталі. Тверді сплави виробляють на основі карбіду вольфраму WC (І група): ВК3, ВК4, ВК6, ВК8, ВК10, ВК15 (число показує вміст кобальту, решта WC); на основі WC + TiC (ІІ група): Т30К5, Т15К6, Т5К10 (перше число – вміст TiC, друге число – вміст Со, решта WC); на основі WC + TiC + TaC (ІІІ група): ТТ7К12, ТТ8К6, ТТ20К9 (перше число – кількість TiC + TaC, друге число – вміст Со, решта WC). Тверді сплави виробляють спіканням порошків карбідів з порошком кобальту при високих температурах ($\approx 1400^0\text{C}$). На рис. 4.2. зображено зміну твердості загартованих різних по теплостійкості сталей.

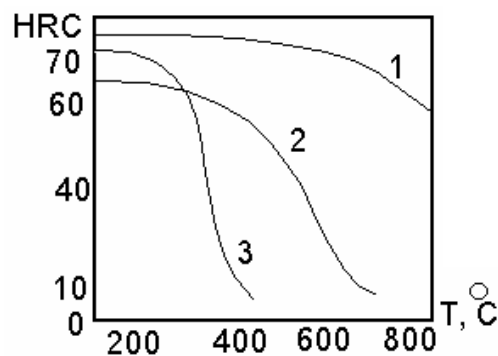


Рис. 4.2 – 1 – твердий сплав, 2 – швидкоріжуча сталь, 3 – вуглецева сталь

4.2 .ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Проаналізуйте зміну твердості при відпуску загартованих сталей У12, Х12Ф1, Р18. Поясніть хід кривих.

2. Розгляньте структури сталі (Рис. 4.3) Х12Ф1 після гартування і низького відпуску; сталі Р18 після гартування і високого відпуску; твердого сплаву ВК12. Вкажіть відповідність структур маркам сплавів. Схематично нарисуйте структури, стрілками покажіть структурні складові.

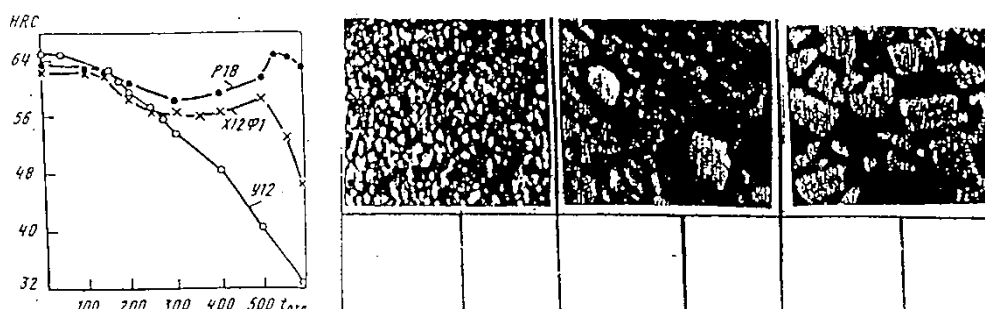


Рис. 4.3. Структури різних сталей

3. Відповідно до свого варіанту (таблиця 4.1) заповніть таблицю 4.2.

Таблиця 4.1

Варіант	Марка сталі (сплаву)				
1	X	У7	P18	BK2	T5K10
2	9XC	У8	P10K5Φ5	BK3-M	TT20K9
3	XГCВΦ	У10	P9K5	BK3	TH-20
4	XГ	У11	P6M3	T5K12	BK6-M
5	XВГ	У13	P18Φ2K8M	TT10K8-Б	BK6-OM
6	XBCГ	У7A	P9Φ5	TH-30	BK8
7	XCВΦ	У8A	P14Φ4	TH-50	BK8-B
8	3X2B8Φ	У10A	P18Φ2	BK6	BK30
9	4X8B2	У11A	P18Φ2K8M	BK4-B	TT17K12
10	XВГ	У13A	P10K5Φ5	BK4	TT8K6
11	P18	У12A	P6M5	BK10	T14K8
12	5XHM	P10K5Φ5	4X5MΦC	BK10-OM	T15K6
13	40XCМΦ	P18K5Φ2	X12MΦ	BK15	T30K4
14	4XMHΦC	P9Φ5	3X3M3Φ	BK20	T5K12Б
15	3X2MHΦ	P14Φ4	X12Φ1	BK25	T14K8
16	5X2MHΦ	P18Φ2	5XHB	B18M7K25	T15K6
17	9XC	4X5MΦC	5XHBС	B18M3K25	T30K4

18	ХВГ	У11Х	7Х3	В10М5К25	Т15К6
19	Х12МФ	9ХС	4ХМФС	ВК8В	Т14К8
20	Х12Ф1	ХГСВФ	8Х3	ВК6М	Т5К12Б

Таблиця 4.2

Марка сталі (сплаву)					
Хімічний склад					
Теплостійкість					
Призначення					
Термообробка (ТО) інструменту					
Структура інструменту після ТО					

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Усов В.В. Матеріалознавство та технології: Навчальний посібник для самостійного вивчення дисципліни. Одеса: Університет Ушинського. 2019. 227 с.
<http://dspace.pdpu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/5252/1/Usov%2C%20Valentyn%20Valentynovych.pdf>
2. Афтанділянц Є. Г., Зазимко О. В., Лопатько К. Г. Матеріалознавство: Підручник. Херсон: Олді-плюс. Київ: Видавництво Ліра- К. 2013. 612 с.
http://library.kpi.kharkov.ua/files/new_postupleniya/aftandilmater.pdf
3. Бочар І. Й. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів (лабораторний практикум). Тернопіль: ТДПУ. 2002. 76 с.
<https://studfile.net/preview/5252583/>
4. Василенко І. І., Широков В. В., Василенко Ю. І. Конструкційні та електротехнічні матеріали. Навчальний посібник. Львів: «Магнолія-2006». 242 с. http://library.kpi.kharkov.ua/files/new_postupleniya/vasilenkok.pdf
5. Косенко В. А. Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство. Київ: Видавництво Університет «Україна». 2012. 252 с.
6. Курська Т. М., Чернобай Г. О., Єрмоменко С. Б. Матеріалознавство та технологія матеріалів. Конспект лекцій. Х.: УЦЗУ. 2008. 136 с.
7. Леонтєв В. О., Бевз С. В., Видмиш В. А. Електротехнічні матеріали : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ. 2013. 122 с.
8. Опальчук А. С., Котречко О. О., Роговський Л. Л. Лабораторний практикум з технології конструкційних матеріалів і матеріалознавства. Навчальний посібник. За ред. А.С. Опальчука. Київ: Вища освіта. 2006. 287 с.
https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u132/navchal_posibnik_tkm_15.pdf