

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
КРАСНОАРМІЙСЬКИЙ ІНДУСТРІАЛЬНИЙ ІНСТИТУТ
ВИЩОГО ДЕРЖАВНОГО НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Кафедра Інженерної механіки

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

Лабораторні роботи

для спеціальності - **6.050503 “Машинобудування та металообробка ”**

Затверджено на засіданні кафедри
Інженерної механіки
Протокол № 9 від 08.05. 2012р.

Затверджено на навчально-
видавничій раді Дон НТУ
Протокол № 3 від 06.06.2012р.

Красноармійськ - 2012

УДК 669.01(075)

Матеріалознавство. Лабораторні роботи. Для студентів напряму підготовки 6.050503 "Машинобудування та металообробка", всіх форм навчання/ Вірич С.О., Горячева Т.В., Бабенко М.О., Лаппо І.М. – Красноармійськ: КП Дон НТУ, 2012. – 51 с.

В учбовому посібнику містяться лабораторні роботи по основним розділам курсу "Матеріалознавство" для студентів напряму підготовки 6.050503 "Машинобудування та металообробка". В лабораторних роботах наведені короткі теоретичні відомості і методичні рекомендації до порядку проведення лабораторних робіт. В лабораторних роботах передбачені елементи наукових досліджень які дозволяють студентам поглиблено засвоїти теоретичний матеріал та набути практичних навиків в матеріалознавстві.

Укладачі: Бабенко М.О.
Вірич С.О.
Горячева Т.В.
Лаппо І.М.

Відповідальний за випуск С.О.Вірич

@ imkii@yandex.ua/
Бабенко М.О., Вірич С.О., Горячева Т.В., Лаппо І.М.
Красноармійськ, КП ДонНТУ, 2012

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

Тема: Визначення показників міцності і пластичності сталі випробуванням на розтяг.

Мета роботи: Ознайомитися з методикою проведення випробувань на розтяг; придбати практичні навички з техніки випробувань на розтяг; побудувати діаграму розтягу сталі; визначати показники міцності і пластичності по результатам вимірювання зразків і діаграмі розтягу сталі.

Теоретична частина

Випробування на розтягання є досить розповсюдженими, внаслідок того, що при сучасній техніці випробувань розтяг здійснюється практично в чистому вигляді, до того ж показники механічних властивостей, які визначаються при розтязі дозволяють судити про міцність та пластичність металів.

Міцність – це властивість матеріалів опиратися деформуванню та руйнуванню під впливом зовнішніх навантажень

Пластичність – властивість матеріалів деформуватися без порушення цілності під дією зовнішніх механічних напружень.

При випробуваннях на розтяг визначають показники міцності: границі пропорційності, пружності, текучості (умовний чи фізичний), тимчасовий опір (границю міцності) та дійсний опір розриву, а також показники пластичності: відносне подовження та відносне звуження.

Для випробувань на розтяг використовують циліндричні або плоскі зразки форма і розміри яких регламентуються ГОСТ 1497 – 84.

Для забезпечення точності результатів випробувань розрахункова довжина зразка l_0 повинна дорівнювати:

для циліндричних зразків – $l_0 = 10d_0$;

для плоских – $l_0 = 11,3 \sqrt{F_0}$.

Кожен матеріал в залежності від типу, хімічного складу, технології виробництва дає характерну тільки для нього діаграму розтягу. Діаграма розтягу це графічне зображення залежностей деформації від величини розтяжного зусилля. Ця діаграма викреслюється пристроєм машини і має характерні точки, по яким визначаються показники механічних властивостей. Узагальнена діаграма розтягу пластичних сплавів приведена на рисунку 1.

Від початку деформації (точка О) до точки А зразок пружно деформується відповідно закону Гука, тобто пропорційно прикладеного навантаження. Точка А є граничною, до якої зберігається прямолінійна залежність між діючим навантаженням і деформацією зразка, і відповідає границі пропорційності $\sigma_{пц}$, яка визначається по формулі

$$\sigma_{пц} = \frac{P_{пц}}{F_0},$$

де $P_{пц}$ – навантаження, що відповідає точці А діаграми розтягу, Н;

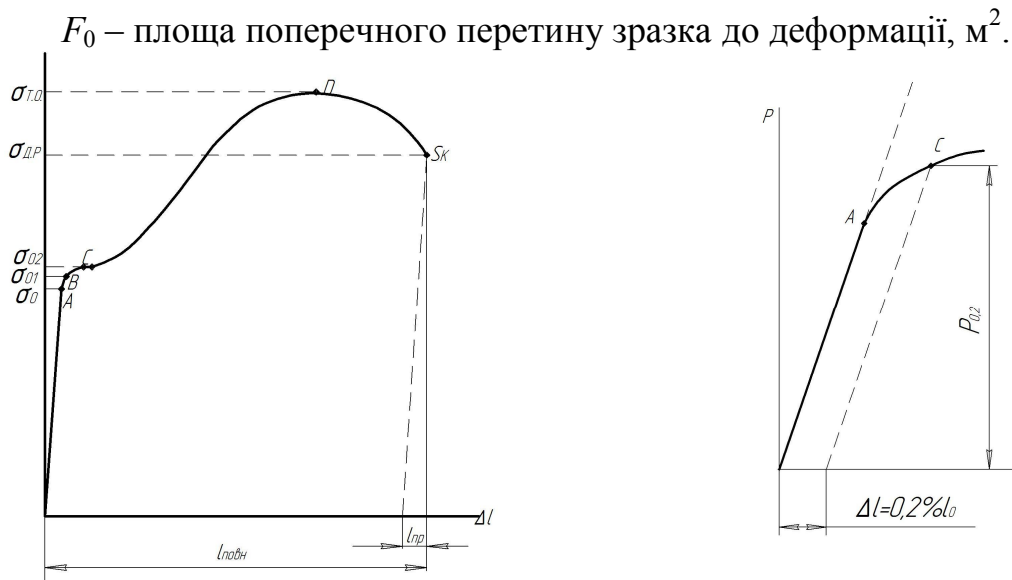


Рисунок 1. Діаграма розтягу зразка з пластичного сплаву

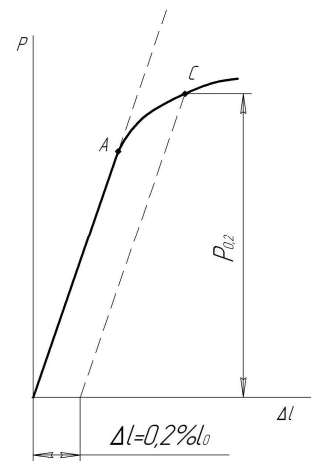


Рисунок 2. Схема визначення умовної границі текучості.

При навантаженнях вищих за точку А, незважаючи на те що пропорційність навантаження та деформації порушується, зразок надалі деформується пружно, але при цьому починають з'являтися перші ознаки пластичної деформації. Точка В на діаграмі розтягу відповідає навантаженню $P_{пр}$, при якому залишкове видовження зразка, дорівнює $\Delta l_0 = 0,05\%l_0$. Напруження, що відповідає такому стану зразка є границя пружності $\sigma_{пр}$ або σ_{01} і визначається по формулі:

$$\sigma_{пр} = \frac{P_{пр}}{F_0},$$

де $P_{пр}$ – навантаження, що відповідає точці В діаграми розтягу, Н;

При подальшому збільшенні навантаження деформація зразка стає незворотною, з'являються стійкі пластичні деформації. Криволінійна ділянка діаграми розтягу ВС при випробуваннях пластичних матеріалів може перейти у горизонтальну. Це свідчить про те, що метал “тече”, деформується без збільшення навантаження. Таке явище відповідає напруженню, що характеризується як фізична границя текучості. По навантаженню F_T (точка С на діаграмі) визначають фізичну границю текучості σ_T або σ_{02} :

$$\sigma_T = \frac{P_T}{F_0}$$

При випробуваннях мало пластичних матеріалів площинка текучості на діаграмі відсутня. В такому разі по навантаженню F_{02} , при котрому залишкове подовження зразка становить $\Delta l = 0,2\%l_0$ визначають умовну границю текучості (рис 2).

Напруження, яке відповідає максимальному навантаженню (точка D) називають границею тимчасового опору $\sigma_{т.о.}$ і визначають по формулі:

$$\sigma_{т.о.} = \frac{F_{max}}{S_0}$$

Зменшення навантаження після точки D (рис. 1) пов'язано з утворенням місцевого звуження поперечного перерізу (шийки) у пластичних металів. На частці кривої DE навантаження падає, однак напруження і деформація збільшуються і в деякий момент часу зразок руйнується розривом. Максимальне напруження перед руйнуванням зразка – дійсний опір розриву S_K .

$$S_K = \frac{P_K}{F_K}$$

де P_K – навантаження руйнування зразка, Н;
 F_K – площа поперечного перерізу зразка після розриву, м².

По результатам обмірів зразка до та після випробувань визначають показники пластичності:

відносне подовження $\delta = \frac{(\ell_k - \ell_0)}{\ell_0} \cdot 100\%$

та відносне звуження $\psi = \frac{(F_0 - F_k)}{F_0} \cdot 100\%$

де ℓ_0, ℓ_k, F_0, F_k – відповідно початкові та кінцеві розміри та площа перерізу зразка.

Порядок виконання роботи

1. Вивчити устрій та принцип роботи розривної машини для випробувань на розтяг. Ознайомитися з правилами техніки безпеки при роботі на машині.
2. Виконати обмір зразка, визначити довжину, діаметр та площу поперечного перерізу до початку випробувань.
3. Провести випробування зразка на розрив.
4. Зареєструвати показання відлікових приладів машини, ці дані занести в таблицю 1.
5. По даним таблиці 1 побудувати діаграму розтягу заданого матеріалу і позначити на ній характерні точки.
6. Виконати заміри на зразках після розриву і на діаграмі розтягу. Дані занести в таблицю 2.
7. За даними таблиці 2 розрахувати показники міцності і пластичності заданого сплаву. Результати розрахунків занести в таблицю 3.

Таблиця 1.

Протокол випробування на розтяг

Р,кН.										
$\Delta\ell$,мм										

Таблиця 2.

Результати обмірів зразка та значення характерних точок діаграми розтягу.

Розміри зразка, мм						Навантаження кН, характерні точки діаграми				
До випробування			Після випробування			Р _{пц}	Р _{пр}	Р _т	Р _{макс}	Р _к
ℓ ₀	D ₀	F ₀	ℓ _к	D _к	F _к					

Таблиця 3.

Показники механічних властивостей: міцності та пластичності.

Показники механічних властивостей						
міцності, МПа					пластичності	
σ _{пц}	σ _{пр}	σ _т	σ _{т.о.}	S _к	δ, %	Ψ, %

Зміст звіту по лабораторній роботі

Звіт по лабораторній роботі повинен містити:

- діаграму розтягу сталі,
- ескізи зразку до та після розтягу, вказати їх розміри,
- розрахункові формули та розрахунки по визначенню показників механічних властивостей, таблиці випробувань та вимірювань.

Контрольні питання

1. Які показники механічних властивостей визначають при випробуваннях на розтяг?
2. Дайте визначення межі пропорційності, пружності, текучості, міцності, а також дійсного опору розриву.
3. Як визначають фізичну та умовну межу текучості?
4. Які показники характеризують пластичні властивості матеріалу? Дайте їх визначення.
5. Приведіть формули для визначення показників міцності і пластичності.
6. Як впливає вміст вуглецю на механічні властивості?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

Тема: Визначення твердості матеріалів

Мета роботи: ознайомитися з методиками визначення твердості матеріалів; набути навичок визначення твердості різних матеріалів; встановити залежність між твердістю і показниками міцності матеріалів.

Теоретична частина

Твердість – це здатність матеріалу чинити опір поверхневій контактній дії з боку інших тел.

Твердість матеріалів виміряють, впливаючи на поверхню наконечником, виготовленим з малодеформуємого матеріалу (тверда загартована сталь, твердий сплав або алмаз) і який має форму кульки, конуса, піраміди або голки. Для визначення твердості існує декілька методів: шкрябання, вдавлювання, удару, згасання коливань та проколу голкою, що розрізняються характером дії наконечника, а саме: твердість можна виміряти вдавлюванням наконечника (метод вдавлювання), шкрябанням поверхні (метод шкрябання), ударом або ж відскоком наконечника-кульки.

- твердість, визначена шкрябанням, характеризує опір руйнуванню (для більшості металів шляхом зрізу);
- твердість, визначена ударом чи гасінням коливань, характеризує пружні властивості;
- твердість, визначена вдавлюванням – опір пластичної деформації.

Найбільше застосування отримало вимірювання твердості вдавлюванням. В результаті вдавлювання з достатньо великим навантаженням поверхневі шари матеріалу, що знаходяться під наконечником і поблизу нього, пластично деформуються. Після зняття навантаження залишається відбиток. Особливість деформації, що відбувається при цьому полягає в тому, що вона протікає тільки в невеликому об'ємі, оточеному недеформованим матеріалом. Тому при вимірюванні твердості вдавлюванням пластичну деформацію випробовують не тільки пластичні, але також метали, які при звичайних механічних випробуваннях (на розтягування, стиснення, кручення, вигин) руйнуються практично без пластичної деформації (наприклад, чавун).

Твердість пов'язана з показниками інших властивостей і тому її визначення поширений метод дослідження механічних властивостей матеріалів.

Переваги вимірювання твердості наступні:

1. Між твердістю пластичних металів, визначуваною способом вдавлювання, і іншими механічними властивостями (головним чином межею міцності), існує кількісна залежність. Так, зосереджена пластична деформація металів (при утворенні шийки) аналогічна деформації, створюваній в поверхневих шарах металу при вимірюванні твердості вдавлюванням наконечника. Подібна кількісна залежність не спостерігається для крихких матеріалів, які

при випробуваннях на розтягування (або стиснення, вигин, кручення) руйнуються без помітної пластичної деформації, а при вимірюванні твердості одержують пластичну деформацію. Проте у ряді випадків і для цих металів (наприклад, сірих чавунів) спостерігається якісна залежність між межею міцності і твердістю; зростанню твердості звичайно відповідає збільшення межі міцності на стиснення. По значеннях твердості можна визначати також і деякі пластичні властивості металів. Твердість, визначена вдавлюванням, характеризує також межу витривалості деяких металів, зокрема міді, дюралюмінію і відпалених сталей.

2. Вимірювання твердості по техніці виконання значно простіше, ніж визначення міцності, пластичності і в'язкості. Випробування твердості не вимагають виготовлення спеціальних зразків і виконуються безпосередньо на деталях, що перевіряються, після зачистки на поверхні рівного горизонтального майданчика, а іноді навіть і без такої підготовки.

3. Вимірювання твердості звичайно не спричиняє за собою руйнування деталі, що перевіряється, і після вимірювання її можна використовувати по своєму призначенню, тоді як для визначення міцності, пластичності і в'язкості необхідне виготовлення спеціальних зразків з деталі.

На практиці визначення твердості методом вдавлювання здійснюється чотирма способами: спосіб Пюльді, по Брінеллю, по Віккерсу, по Роквелу.

Твердість по Пюльді

Твердість по Пюльді призначена для орієнтувального визначення твердості матеріалу. Значення твердості визначають динамічним вдавлюванням загартованої сталевий кульки діаметром 10мм. Під дією у дару кулька одночасно вдавлюється в досліджувану поверхню і поверхню еталонного зразка, твердість якого відома (рис. 1)

В якості еталонного зразка застосовують сталевий стрижень квадратного перерізу 12x12мм довжиною 150мм. Твердість еталону повинна приблизно дорівнювати твердості досліджуваного зразка.

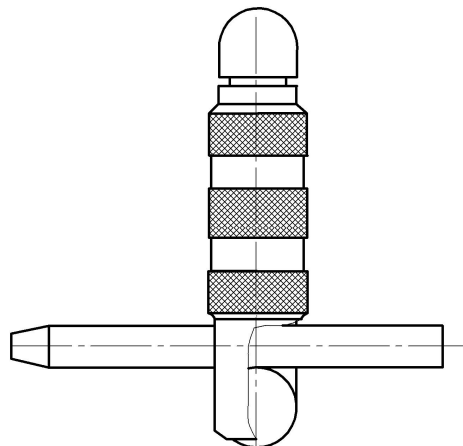


Рисунок 1. Схема приладу для визначення твердості по Пюльді.

Після проведення випробування на поверхні зразка і еталона утворюються відбитки у вигляді сферичних лунок діаметром відповідно d і d_e .

Величина числа твердості НВП визначиться по формулі:

$$HВП = \frac{D - \sqrt{D^2 - d_e^2}}{D - \sqrt{D^2 - d^2}} HB_e$$

де $HВП$ – число твердості Польші;

HB_e – число твердості еталона;

D – діаметр кульки, мм;

d_e – діаметр відбитка – лунки еталона, мм;

d – діаметр відбитка – лунки зразка, мм.

Твердість по Брінеллю.

При цьому стандартному (ГОСТ 9012-59) способі вимірювання твердості в поверхню зразка вдавлюють загартовану сталеву кульку діаметром 10, 5 або 2,5 мм при дії навантаження від 5000Н до 30000Н. Після зняття навантаження на поверхні утворюється відбиток у вигляді сферичної лунки діаметром d (рис. 2).

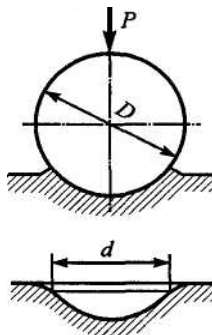


Рисунок 2. Схема визначення твердості по Брінеллю.

Діаметр лунки виміряють лупою, на окулярі якій нанесена шкала з розподілами. Показником твердості матеріалу є число твердості по Брінеллю HB , яке визначають відношенням навантаження P до площі поверхні сферичного відбитка:

$$HB = \frac{2P}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

де D – діаметр вдавненої кульки, мм

d – діаметр відбитку – сферичної лунки, мм.

Число твердості по Брінеллю по ГОСТ 9012 – 59 записують без одиниць вимірювання.

На практиці при вимірюванні твердості розрахунок по вказаній вище формулі проводять рідко, частіше використовують наперед складені таблиці, визначаючи значення HB залежно від діаметра відбитки і вибраного навантаження. Чим менше діаметр відбитка, тим вище твердість.

Спосіб вимірювання по Брінеллю не є універсальним. Його використовують для матеріалів малої і середньої твердості: сталей з твердістю до 450 HB , кольорових металів з твердістю $< 200 HB$ і т.п.

Для цих сплавів встановлений кореляційний зв'язок між границею тимчасового опору (в МПа) і числом твердості HB :

$$\sigma_{т.о} = 3,4 HB \text{ – для вуглецевих сталей}$$

$\sigma_{T.0} = 4,5 \text{ НВ}$ – для мідних сплавів

$\sigma_{T.0} = 3,5 \text{ НВ}$ – для алюмінієвих сплавів.

Твердість по Віккерсу.

При стандартному методі вимірювання твердості по Віккерсу (ГОСТ 2999 - 75) в поверхню зразка вдавлюють чотиригранну алмазну піраміду з кутом при вершині 136° .

Відбиток виходить у вигляді квадрата (рис. 3), діагональ якого вимірюють після зняття навантаження, число твердості обчислюють по формулі:

$$HV = \frac{2P}{d^2} \sin \frac{\alpha}{2} = 1,854 \frac{P}{d^2}$$

де P – прикладене навантаження, Н;

d – середньо арифметичне довжини обох діагоналей відбитка, мм;

α – кут при вершині наконечника – алмазної піраміди.

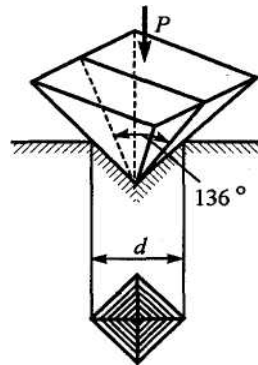


Рисунок 3. Схема визначення твердості по Віккерсу.

На практиці число твердості визначають по спеціальних таблицях по значенню діагоналі відбитка при вибраному навантаженні.

Метод Віккерса застосовують головним чином для матеріалів, що мають високу твердість, а також для випробування на твердість деталей малих перетинів або тонких поверхневих шарів. Як правило, використовують невеликі навантаження: 10, 30, 50, 100, 200, 500Н. Чим тонше перетин деталі або досліджуваній шар, тим менше вибирають навантаження.

Числа твердості по Віккерсу і по Брінеллю для матеріалів, що мають твердість до 450 НВ, практично співпадають.

Твердість по Роквеллу.

Цей метод вимірювання твердості (ГОСТ 9013-59) найбільш універсальний і якнайменше трудомісткий. Тут не потрібно виміряти розміри відбитка, оскільки число твердості відлічують безпосередньо по шкалі твердоміра. Число твердості залежить від глибини вдавлювання наконечника, як який використовують алмазний конус з кутом при вершині 120° або сталеву кульку діаметром 1,588 мм (рис. 4).

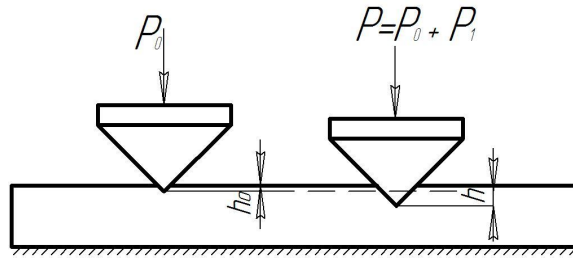


Рисунок 4. Схема визначення твердості по Роквеллу.

Навантаження вибирають залежно від виду і матеріалу наконечника. Прикладається навантаження послідовно двічі: попереднє – $P_0 = 10$ кгс і загальне P , що дорівнює сумі попереднього і основного навантаження – P_1 .

Твердість по Роквеллу вимірюють в умовних одиницях. За одиницю твердості приймають значення осевого переміщення наконечника e , яке визначають по формулі:

$$e = \frac{h - h_0}{0,002}$$

де h – глибина проникнення наконечника в поверхню зразка під дією відповідного навантаження, мм. Твердість по Роквеллу позначають цифрами, що визначають рівень твердості, і буквами HR з вказівкою шкали твердості і розраховують по формулам:

$$HR = 100 - e \quad (\text{при вимірюванні по шкалі A і C});$$

$$HR = 130 - e \quad (\text{при вимірюванні по шкалі B}).$$

Для різних комбінацій навантажень і наконечників прилад Роквелла має три вимірювальні шкали: A, B, C.

Шкала A (наконечник – алмазний конус, загальне навантаження 600 Н). Цю шкалу застосовують для особливо твердих матеріалів, для тонких листових матеріалів або тонких (0,5 - 1,0 мм) шарів. Зміряну твердість позначають HRA . Межі вимірювання твердості по цій шкалі 70 - 85.

Шкала B (наконечник – сталева кулька, загальне навантаження 1000 Н). По цій шкалі визначають твердість порівняно м'яких матеріалів (< 400 НВ). Виміряну твердість позначають HRB . Межі вимірювання твердості по шкалі B 25 – 100. Числа твердості по Роквеллу не мають точних співвідношень з числами твердості по Брінеллю і Віккерсу.

Шкала C (наконечник – алмазний конус, загальна навантаження 1500 Н). Цю шкалу використовують для твердих матеріалів (> 450 НВ), наприклад загартованих сталей. Виміряну твердість позначають HRC . Межі вимірювання твердості по цій шкалі 20 — 67.

Між числами твердості сплавів, визначеної різними методами існують встановлені співвідношення. Ці співвідношення зведені в порівняльну таблицю

Таблиця співвідношення між числами твердості визначеними різними способами, та границею міцності при розтязі конструкційних сталей

Твердість по Бринеллю			Твердість по Роквеллу HR			Твердість по Віккерсу HV	Твердість по Шору HS	Границя міцності при розтязі, $\sigma_{т.о.}$ МПа	
Діаметр відбитка при D=5мм	Діаметр відбитка при D=10мм	HB	шкала					вуглецева	легована
			C	A	B				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-	2,2	780	72	89	-	1224	-	-	-
-	2,25	745	70	87	-	1116	-	-	-
-	2,3	712	68	86	-	1022	-	-	-
-	2,35	682	66	85	-	941	90	-	-
-	2,4	653	64	84	-	868	86	-	-
-	2,45	627	62	83	-	804	84	-	-
1,25	2,5	601	60	82	-	746	81	-	-
1,28	2,55	578	58	81	-	694	78	-	-
1,3	2,6	555	56	79	-	649	75	-	-
1,33	2,65	534	54	78	-	606	81	-	-
1,35	2,7	514	52	77	-	587	69	-	-
1,37	2,75	495	50	76	-	551	66	1780	1730
1,39	2,8	477	49	76	-	534	65	1720	1670
1,42	2,85	461	48	75	-	502	64	1650	-
1,45	2,9	444	46	74	-	4737	61	1600	1560
1,47	2,95	429	46	73	-	460	59	1550	1500
1,5	3,00	415	44	72	-	435	58	1490	1450
1,51	3,02	409	43	72	-	423	57	1470	1430
1,52	3,05	401	42	71	-	412	56	1440	1396
1,55	3,1	388	41	71	-	401	55	1395	1360
1,57	3,15	375	40	70	-	390	53	1350	1315
1,6	3,20	363	39	70	-	380	52	1305	1270
1,63	3,25	352	38	69	-	361	51	1265	1230
1,66	3,30	341	37	68	-	344	50	1225	1190
1,67	3,35	331	36	68	-	335	49	1195	1165
1,7	3,40	321	35	67	-	320	48	1155	1120
1,72	3,45	311	34	67	-	312	47	1115	1085
1,75	3,50	302	33	67	-	305	46	1085	1055
1,78	3,55	293	31	66	-	291	43	1055	1025
1,8	3,60	286	30	66	-	285	42	1030	1005
1,82	3,65	277	29	65	-	278	41	995	970
1,84	3,70	269	28	65	-	272	40	970	940
1,87	3,75	262	27	64	-	261	39	945	920
1,9	3,8	255	26	64	-	255	38	920	890
1,92	3,86	248	25	63	-	250	37	895	870
1,95	3,9	241	24	63	100	240	36	870	845
1,99	3,95	235	23	62	99	235	35	845	825
2,0	4,00	228	22	61	98	226	34	825	800
2,02	4,05	223	21	61	97	221	33	800	775
2,05	4,10	217	20	60	97	217	33	780	760
2,08	4,15	212	19	60	96	213	32	760	740
2,10	4,20	207	18	59	95	209	32	745	725

Твердість по Бринеллю								Твердість по Роквеллу HR		Продовження таблиці	
Діаметр відбитка при D=5мм	Діаметр відбитка при D=10мм	HB	шкала			Твердість по Віккерсу HV	Твердість по Шору HS	Границя міцності при розтязі, $\sigma_{т.о.}$, МПа			
			С	А	В			вуглецева	легована		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
2,12	4,25	202	16	58	94	201	31	720	710		
2,15	4,30	196	15	58	93	197	31	705	685		
2,17	4,35	192	15	57	92	190	30	690	670		
2,19	4,40	187	-	56	91	186	-	675	655		
2,22	4,45	183	-	56	89	183	-	660	640		
2,25	4,50	179	-	55	88	177	-	640	625		
2,28	4,55	174	-	-	87	174	-	625	610		
2,30	4,60	170	-	-	86	171	-	610	595		
2,32	4,65	166	-	-	85	165	-	600	585		
2,35	4,70	163	-	-	84	162	-	585	570		
2,38	4,75	159	-	-	83	159	-	575	555		
2,40	4,80	156	-	-	82	154	-	560	545		
2,42	4,85	153	-	-	81	152	-	550	535		
2,46	4,90	149	-	-	80	149	-	535	520		
2,48	4,95	146	-	-	78	147	-	525	510		
2,50	5,00	143	-	-	76	144	-	510	495		
252	5,05	130	-	-	76	-	-	500	490		
2.54	5,10	137	-	-	75	-	-	495	480		
2,56	5,15	134	-	-	74	-	-	486	470		
2,60	5,20	131	-	-	72	-	-	470	455		
2,62	5,25	128	-	-	71	-	-	462,5	447,5		
2,66	5,30	126	-	-	69	-	-	450	435		
2,68	5,35	124	-	-	69	-	-	440	430		
2,70	5,40	121	-	-	67	-	-	435	425		
2,72	5,45	118	-	-	66	-	-	425	415		
2,74	5,50	116	-	-	65	-	-	417,5	407,5		
2,76	5,55	114	-	-	64	-	-	412,5	402,5		
2,78	5,60	112	-	-	62	-	-	405	395		
2,82	5,65	109	-	-	61	-	-	390	-		
2,86	5,70	107	-	-	59	-	-	385	-		
2,88	5,75	105	-	-	58	-	-	380	-		
2,90	5,80	103	-	-	57	-	-	370	-		
2,01	5,85	101	-	-	56	-	-	365	-		
2,95	5,90	99	-	-	54	-	-	355	-		

Порядок виконання роботи

1. Вивчити методику вимірювання твердості прибором Польді. Освоїти техніку вимірювання. Провести попереднє визначення твердості запропонованих зразків по способу Польді. Виміряти діаметри отриманих відбитків і розрахувати число твердості. Дані занести в таблицю 1.

Таблиця 1

Результати визначення твердості по Польді

№ зразка	D, мм	d _e , мм	HB _e	d, мм	НВП
----------	-------	---------------------	-----------------	-------	-----

- Вивчити конструкцію та принципи роботи твердомірів Бринелля, Віккерса та Роквелла; ознайомитись з правилами безпеки при роботі на них; освоїти техніку випробування на твердомірах.
- Для запропонованих зразків сплавів визначити твердість різними способами. Дані вимірювань занести в таблиці 2 і 3.

Таблиця 2

Результати визначення твердості по Бринеллю і Віккерсу

№ зразка	По Бринеллю				По Віккерсу		
	P, кН	D, мм	d, мм	HВ	P, кН	d, мм	HV

Таблиця 3

Результати визначення твердості по Роквеллу

№ зразка	Шкала відліку	Число твердості HR

- Використовуючи значення твердості по Бринеллю визначити границю міцності зразків. Дані розрахунків занести в таблицю 4.

Таблиця 4

Розрахункова границя міцності зразків

№ зразка	HВ	$\sigma_{T.0}$, МПа

- Порівняти експериментальні результати вимірювання твердості з табличними значеннями. Визначити похибку. Зробити висновки.

Зміст звіту по лабораторній роботі

- Звіт по лабораторній роботі повинен включати:
- Стислу характеристику способів визначення твердості;
- Схеми випробувань і розрахункові формули при визначенні твердості різними способами;
- Таблиці результатів визначення твердості. Розрахунки по визначенню границі міцності в залежності від числа твердості HВ;
- Висновки.

Контрольні питання

- Що таке твердість?
- Назвіть методи визначення твердості, вкажіть їх особливості та область використання цих методів.
- Назвіть та охарактеризуйте способи визначення твердості вдавлюванням.
- Роз'ясніть методику вимірювання твердості на твердомірах.
- Поясніть відзнаку визначення та застосування способів Бринелля, Віккерса і Роквелла.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

Тема: Визначення мікротвердості.

Мета роботи: ознайомитися з поняттям мікротвердості та методикою її визначення; набути навиків вимірювання мікротвердості.

Теоретична частина

Мікротвердість можна виміряти на деталях невеликої товщини, а також в дуже тонких шарах, не перевищуючих (для деяких способів вимірювання твердості) десятих часток міліметра, або в мікрооб'ємах металу; в останньому випадку вимірювання проводять способом мікротвердості. Тому багато способів вимірювання твердості придатні для оцінки різних по структурі і властивостям шарів металу. Методом визначення мікротвердості можна також виміряти твердість окремих складових в сплавах.

Мікротвердість визначають вдавленням в поверхню зразка алмазної піраміди при невеликих навантаженнях (0,05 - 5 Н) і вимірюванням діагоналі відбитка. Число твердості HV визначають по тій же формулі, що і обчислення числа твердості по Віккерсу. Методом визначення мікротвердості оцінюють твердість окремих зерен, структурних складових, тонких шарів або тонких деталей.

Вимірювання мікротвердості має на меті визначити твердість окремих зерен, фаз і структурних складових сплаву (а не «усереднену твердість», як при вимірюванні макротвердості). В даному випадку об'єм, що деформується вдавленням, повинен бути менше об'єму (площі) вимірюваного зерна. Тому прикладене навантаження вибирається невеликим. Крім того, мікротвердість вимірюють для характеристики властивостей дуже малих за розмірами деталей.

У полімерних матеріалів вимірювання твердості дає менше інформації про їх властивості, оскільки між твердістю і міцністю цих матеріалів немає певної залежності. Результати вимірювань є лише додатковою характеристикою властивостей полімерних матеріалів.

Значний вплив на результати випробувань твердості надає стан поверхні матеріалу, що вимірюється. Якщо поверхня нерівна — криволінійна або з виступами, то окремі ділянки в різному ступені беруть участь в опорі вдавленню і деформації, що приводить до помилок у вимірюванні. Чим менше навантаження для вдавлення, тим більше ретельно повинна бути підготовлений поверхня. Вона повинна представляти шліфований горизонтальний майданчик, а для вимірювання мікротвердості — поліровану (в цьому випадку при виготовленні шліфа не можна допускати наклепу в поверхневому шарі).

Поверхня, що вимірюється, повинна бути встановленою горизонтально, тобто перпендикулярно дії вдавненого тіла – наконечника. Протилежна сторона зразка також повинна бути зачищеною і не мати окалини, оскільки

остання при навантаженні зразка може спотворювати результати вимірювання.

Для вивчення властивостей і перетворень в сплавах необхідно не тільки знати «усереднену твердість», що представляє твердість в результаті сумарного впливу присутніх в сплаві фаз і структурних складових, але і визначати твердість окремих фаз і структур сплаву. Мікротвердість звичайно визначають вдавлюванням алмазної піраміди.

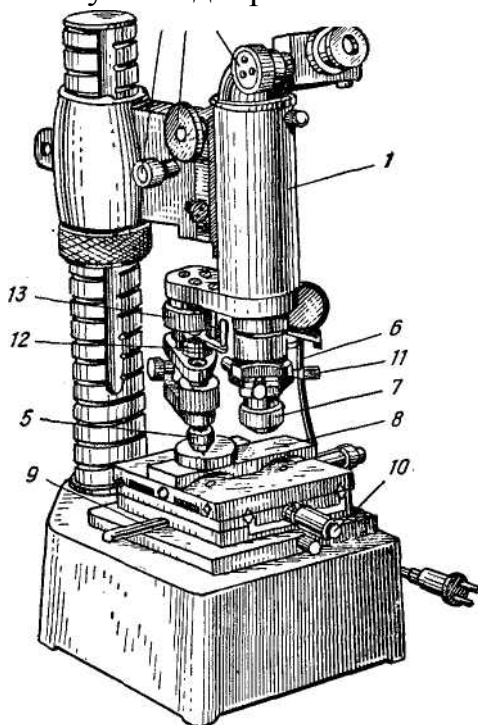
Метод визначення мікротвердості є стандартизований (ГОСТ 9450-76). В даній роботі мікротвердість вимірюють на приладі ПМТ-3.

Прилад ПМТ-3 (рис.1) складається з штатива 1 вертикального мікроскопа з тубусом, що переміщається вгору і вниз за допомогою макрометричного гвинта 2 і мікрометричного гвинта 3. На верхній кінець тубуса 5 з алмазною пірамідою надіті опаклюмінатор 6 і об'єктиви 7, В опаклюмінаторі є лампочка напругою 6 В, що живиться від електромережі через трансформатор.

Прилад забезпечений двома об'єктивами для проглядання мікрошліфа при збільшеннях в 478 і 135 разів. Окуляр збільшує в 15 разів.

Окулярний мікрометр має нерухому сітку, залишковий мікрометричний барабанчик і каретку з рухомою сіткою. На нерухомій сітці завдовжки 5 мм нанесені штрихи з цифрами і косинець з прямим кутом, вершина якого співпадає з цифрою 0. На рухомій сітці нанесений косинець з прямим кутом і дві ризики.

мікрометричний барабанчик і каретку з рухомою сіткою. На нерухомій сітці завдовжки 5 мм нанесені штрихи з цифрами і косинець з прямим кутом, вершина якого співпадає з цифрою 0. На рухомій сітці нанесений косинець з прямим кутом і дві ризики.



- 1 – мікроскоп; 2 – мікрометричний гвинт;
- 3 – мікрометричний гвинт; 4 – окулярний мікрометр;
- 5 – шток з алмазною пірамідою;
- 6 – опаклюмінатор; 7 – об'єктив; 8 – стіл для установки мікрошліфа;
- 9 – ручка столу; 10 – гвинт столу; 11 – регулювальні гвинти;
- 12 – вантажі; 13 – ручка навантаження.

Рисунок 1. Схема приладу ПМТ-3 для вимірювання мікротвердості:

Алмазна піраміда має кут між гранями при вершині 136° , тобто такий же, як і в піраміді для вимірювання по Віккерсу (що полегшує перерахунок на числа Віккерса). Навантаження для вдавлювання піраміди створюється вантажами 12, встановленими на шток 5. В приладі застосовують вантажі від 1 до 200 г залежно від особливостей структури і задач дослідження.

Встановлений мікрошліф проглядають через окуляр. За допомогою двох гвинтів столик переміщається в двох перпендикулярних напрямках, що дозволяє переміщати мікрошліф і вибрати на ньому ділянку, в якій необхідно зміряти твердість. Ця ділянка слідує розмістити в середині поля зору мікроскопа – точно у вершині кута нерухомої сітки. Потім встановлюють вантажі, повертають за допомогою ручки столик 9 на 180° (від одного упора до іншого) для підведення вибраної ділянки зразка під алмазну піраміду. Після цього повільним поворотом ручки 13 (протягом 10—15с) приблизно на 180° опускають шток з алмазною пірамідою так, щоб алмаз торкнувся зразка. В цьому положенні витримують зразок під навантаженням 5 – 10с, після чого, повертаючи ручку 13 в початкове положення, піднімають шток з алмазом. Потім повертають столик 8 на 180° і повертають зразок в початкове положення під об'єктив мікроскопа для вимірювання діагоналі відбитка. Якщо прилад правильно центрований, то зображення відбитка виявиться в полі зору мікроскопа або буде близький до вершини кута нерухомої сітки. Точність поєднання місця, наміченого для випробування, з місцем фактичного вдавлювання піраміди складає в цьому приладі 3мкм. Потім обертанням гвинтів 11 підводять відбиток до косинця нерухомої сітки так, щоб вершина косинця співпала з лівим кутом відбитка, а пунктирні лінії косинця співпали з гранями лівої частини відбитка. Після цього обертанням мікрометричного барабана окуляра підводять вершину косинця рухомої сітки до протилежного кута відбитка; тоді пунктирні лінії косинця рухомої сітки поєднуються з гранями правої частини відбитка. При такому положенні сіток розподілу мікрометричного барабанчика указують довжину діагоналі відбитка. Повертаючи окуляр на 90° , визначають також довжину другої діагоналі і обчислюють середню довжину діагоналі. Отриману середню довжину переводять по таблиці на число твердості. Вказані вимірювання отриманого відбитка проводять не менше двох-трьох разів. Числа мікротвердості H , вони представляють собою числа твердості по Віккерсу, обчислюють по формулі:

$$H_{KB} = \frac{2P}{d^2} \sin \frac{\alpha}{2} = 1,854 \frac{P}{d^2}$$

Для отримання більш точного результату виміряють твердість ділянки досліджуваного мікрошліфа, наприклад одного зерна два-три рази. Для цього необхідно, щоб на площі одного і того ж зерна (або карбиду і т. д.) розмістилися, принаймні, два відбитки. Виходячи з цього умови, експериментально підбирають величину навантаження для дослідження. Необхідно, проте, врахувати, що при дуже малих навантаженнях (менше 20 кгс) можуть вийти недостатньо точні результати.

Прилад дозволяє фотографувати мікроструктуру сплаву з отриманими відбитками.

Вимірювання мікротвердості широко застосовують для вивчення структури і властивостей сплавів.

На рис.2 показана мікроструктура литої швидкорізальної сталі після гартування. Сталь складається з крупних зерен неоднорідної будови, причому кожне зерно має три концентричні шари:

- серцевина зерна має твердість HV 320—350 (HRC 35),
- проміжний шар HV 700—725 (HRC 58)
- зовнішній шар HV 940—1000 (HRC 65—67).



Рисунок 2. Лита швидкорізальна сталь після гартування (видні відбитки алмазної піраміди) $\times 500$

Порядок виконання роботи

1. Підготувати поверхні запропонованих зразків сталі для визначення мікротвердості.
2. Виконати вимірювання твердості зерен фериту по вказаній методиці. Встановити і закріпити зразок на предметному столі прибору під об'єктивом. Вибрати на зразку місце для нанесення відбитка, при цьому подвійний штрих (перехрестя ниток) окулярного мікрометра встановити на позначці 4 шкали. Встановити відповідну кількість важелів, які визначають потрібне навантаження вдавлювання. Повільно виконати вдавлювання алмазної піраміди протягом 3 с. Виміряти окулярним мікрометром діагоналі отриманого відбитка.
3. Розрахувати число мікротвердості, або по відомій діагоналі відбитка знайти його у відповідних таблицях.
4. Достовірність відзнаки твердості фериту різних марок сталі встановити наступним чином:

- знайти середнє значення мікротвердості замірів: $H_{CP} = \frac{\sum H_i}{n}$
- визначити середньоквадратичне відхилення мікротвердості:

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{\sum (H_{CP} - H_i)^2}{n}}$$

5. Визначити границю міцності фериту в залежності від мікротвердості і вмісту хрому в заданих зразках сталі:

$$\sigma_{T.0} = 0,35 H$$

6. Дані вимірювань і розрахунків занести в таблицю 1.

Таблиця 1

Визначення мікротвердості фериту

№ зразка	Мікротвердість H_{CP}			Середньоквадратичне відхилення σ_H	Границя міцності σ_{T0}
	P, H	d, мм	H, МПа		

7. За даними таблиці 1 побудувати графік залежності мікротвердості і міцності фериту від вмісту хрому в сталі.

Зміст звіту по лабораторній роботі

- Звіт по лабораторній роботі повинен містити:
- Визначення мікротвердості, призначення цього методу;
- Методику та схему вимірювання мікротвердості;
- Таблиці результатів і графік залежності мікротвердості і міцності фериту від вмісту хрому в сталі;
- Висновки.

Контрольні запитання

1. Поясніть в яких випадках використовують метод визначення мікротвердості.
2. Який наконечний використовують для визначення мікротвердості і чому?
3. Яким чином зразок готують до вимірювань мікротвердості?
4. Поясніть методику вимірювання мікротвердості.
5. Охарактеризуйте залежність мікротвердості і міцності фериту від вмісту хрому в легованій сталі.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

Тема: Макроскопічний аналіз сплавів

Мета роботи. Провести макроаналіз шліфів; вказати технологічний процес його виготовлення; Отримати сірчані відбитки по методу Батману, пояснити причини нерівномірного розподілу сірки в металі.

Теоретична частина

Макроскопічний аналіз є одним з видів дослідження або контролю металевих виробів і полягає у вивченні макроструктури сплавів. **Макроструктурою** називається будова металу або сплаву, видима неозброєним оком або при невеликих збільшеннях (~ до 30 разів).

Метою макроскопічного аналізу (**макроаналізу**), широко вживаного на металургійних і машинобудівних заводах, є:

- контроль якості металу (наявність фізичної і хімічної неоднорідності, кількість і розташування дефектів);
- визначення способу виготовлення деталі (литтям, обробкою тиском, зварюванням, різанням);
- встановлення причин руйнування деталі при експлуатації.

Макроскопічний аналіз проводиться трьома способами:

- оглядом поверхні деталі або металу;
- вивченням зламів (зламом називають поверхню зруйнованих (при експлуатації або спеціально)) зразків або деталей;
- вивченням спеціально підготовлених зразків - **макрошліфів**.

Дослідження поверхні деталі або заготовки проводять рідко, оскільки цей спосіб макроаналізу не дає достатньо інформації. На поверхні можна побачити тріщини або дефект металургійного виробництва.

Дослідження зламів (фрактографія) - один з поширених способів аналізу металів. На зламі можна спостерігати тріщини, газові і усадкові раковини, шлакові включення, глибину поверхневої термічної обробки: незагартована зона зовні відрізняється від загартованої. По будові зламу можна зробити висновок про причини поломки деталі, про якість термічної обробки, про крихкий або в'язкий стан металу.

В'язкий стан металу характеризується матовим волоконним зламом, який утворюється в результаті передуючої руйнуванню значної пластичної деформації.

Крихкий стан металу відрізняє кристалічний (зернистий) злам, що утворюється в результаті відриву однієї частини від іншої по кристалографічній площині без попередньої пластичної деформації. Крихкий злам має блискучу поверхню.

Крихке і в'язке руйнування відбувається в результаті однократного перевищення межі міцності металу ($\sigma_{т.о}$).

В'язкий або крихкий стан металевого матеріалу залежить від хімічного складу, внутрішньої будови, діючих напруг і температури експлуатації. В'язкий стан свідчить про добрі властивості матеріалу, а крихке - про його ненадійність.

Особливе місце займає руйнування металу в результаті втоми.

Втомою називають процес руйнування металу під дією тривалих повторно-змінних напруг, менших межі текучості (σ_T). Вважається, що велика частина руйнувань при експлуатації є слідством втоми металу.

Втомний злам складається з трьох зон (рис. 1):

1. Осередок руйнування - місце зародження руйнування через наявність якогось-небудь концентратора напруг.
2. Ділянка розповсюдження або розвитку втомної тріщини.
3. Зона доламу (має крихкий або в'язкий злам, характерний для даного матеріалу, зруйнованого в результаті однократного навантаження).

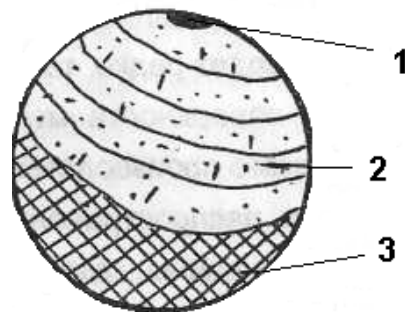


Рисунок 1. Схема втомного зламу

Найбільша інформація при макроскопічному аналізі може бути отриманий в процесі дослідження поверхні макрошліфів. Макрошліф є пластиною завтовшки 15 - 30 мм, яку вирізують в тому місці, де потрібно досліджувати метал. В деяких випадках макрошліф готують із цілої деталі або її частини. З одного боку пластину (деталь) обробляють на верстаті до отримання рівної поверхні, а потім шліфують наждачним папером або абразивним каменем. Для виявлення макроструктури проводять протравлення, використовуючи концентровані розчини кислот (холодних або гарячих). Час протравлення 10 - 60 хвилин.

Аналіз макрошліфів дає можливість отримати достатньо повне уявлення про якість металу. Аналізом макрошліфів можна знайти:

1. Дефекти литого металу.
2. Дефекти металу після обробки тиском.
3. Дефекти металу після зварки.

1. Макроскопічне дослідження литої структури сплаву.

На рис. 2 показані подовжній і поперечний макрошліфи литого металу. Макроструктура злитка складається з трьох зон. Перша зона - тонкий шар дрібних рівноосних кристалів. Потім йде шар витягнутих, стовпчатих кристалів. В центральній частині злитка розташована зона крупних рівноосних кристалів. Наявність трьох кристалічних зон в литому металі пов'язана з різною швидкістю охолодження металу при затвердінні.

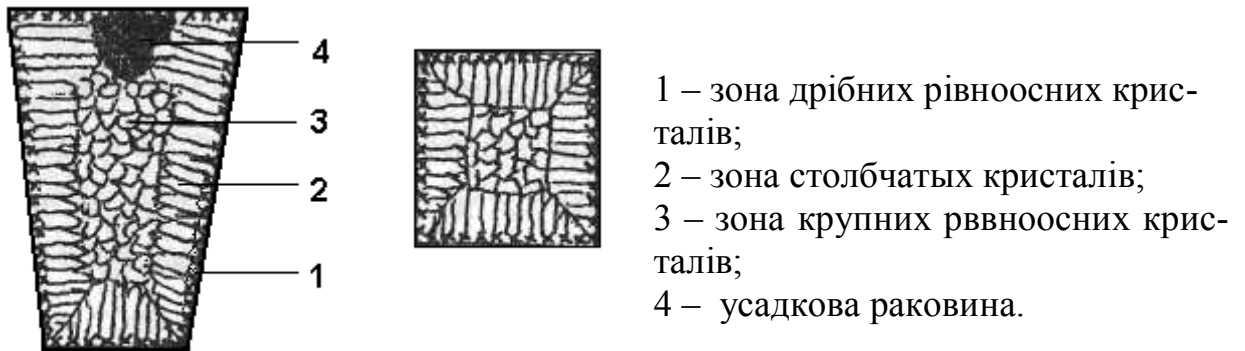


Рисунок 2. Схема макроструктури злитка.

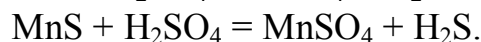
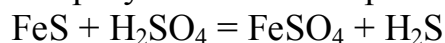
Аналогічна кристалічна будова металу існує у будь-якого злитку, міняється лише співвідношення між розмірами кристалічних зон.

Обов'язковим дефектом литого металу є усадкова раковина. При охолодженні і затвердінні об'єм металу зменшується. В результаті цього у верхній частині злитку утворюється незаповнений металом простір, який називається усадковою раковиною. В рідкому металі може бути багато розчинених газів: кисню, азоту, водню, окисли вуглецю. При затвердінні гази виділяються з металу і утворюють великі і дрібні зони, заповнені газом - газові міхури.

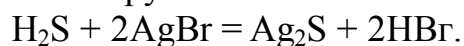
Вуглець і шкідливі домішки в сталі: сіра і фосфор мають підвищену схильність до ліквіації. **Ліквіацією** називають нерівномірний розподіл елементів (в першу чергу домішок) по перетину або об'єму затверділого металу. В злитку велика частина домішок знаходиться в центральній і верхній областях (рис.3). Ліквіація, яка виникає при затвердінні металу, зберігається і в готових деталях після обробки тиском і різанням. В місцях скупчення сірки і фосфору метал має знижену пластичність і ударну в'язкість.

Якісну оцінку розподілу сірки в металі можна отримати **методом Баумана**. Фотопапір змочують в 10% розчині H_2SO_4 у воді, кладуть на рівну поверхню шаром емульсії вгору і на емульсію ставлять готовий макрошліф. Витримують його на папері протягом 5 - 10 хвилин.

Сірка присутня в металі не в чистому вигляді, а у вигляді сульфідів заліза або марганцю. В результаті на поверхні металу проходять реакції:



Сірководень, що утворюється, взаємодіє з бромистим сріблом, що входить до складу фотопаперу:



Сульфід срібла має коричневий колір.

Відбиток промивають у воді, фіксують 20 - 30 хвилин в розчині гіпосульфіду, знов промивають і сушать. По утворених на фотопапері темних ділянках можна судити про характер розподілу сірки в досліджуваній сталі (або чавуні).

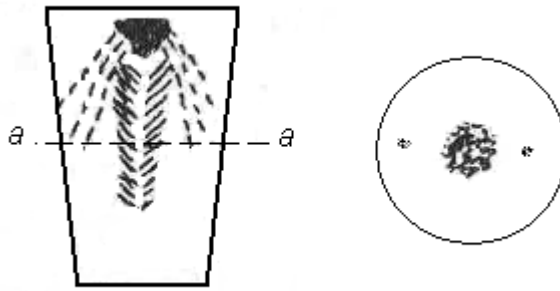


Рисунок 3. Ліквация в сталевому злитку (області підвищеного вмісту шкідливих домішок)

2. Макроскопічне дослідження металу обробленого тиском.

Литий метал має знижену густину і міцність через наявність дефектів. Для підвищення густини і поліпшення механічних властивостей литий метал піддають гарячій обробці тиском: плющенню, куванню, штампуванню. При обробці тиском метал нагрівають до високої температури, коли підвищується його пластичність і здібність до деформації. В процесі деформації кристали (зерна) і неметалічні включення (сульфіди, оксиди) подрібнюються і витягуються уздовж напрямку деформації. Така структура має вид витягнутих волокон, її називають волокнистою структурою або **текстурою**.



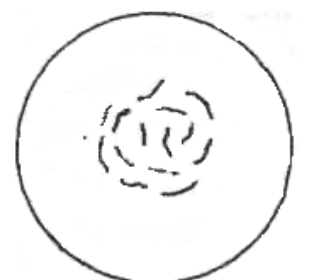
Рисунок 4. Макроструктура шестерні.

- а) - кованої (з правильним розташуванням волокон);
- б) - отриманої механічною обробкою з прокатаного металу (неправильне розташування волокон)

Після обробки тиском механічні властивості уздовж волокон вище, ніж в поперечному напрямі, тобто виникає явище анізотропії. Тому при створенні деталі необхідно враховувати спосіб виготовлення матеріалу. При цьому важливо, щоб волокна в деталі повторили її геометрію (конфігурацію) (рис. 4). Тоді підвищиться міцність деталі і термін її служби.

Можливим дефектом металу, обробленого тиском, є флокени - внутрішні тріщини в металі у вигляді сріблясто-білих плям (в зламі) або волосовин (в поперечному перетині) діаметром до 40 мм (рис. 5).

Рисунок 5. Флокени в поперечному перетині металу



Флокени виникають за наявності в рідкій сталі розчиненого водню, вони утворюються в процесі охолодження металу після обробки тиском. При охолодженні водень виділяється і створює в пустках (порах) металу високий тиск, який руйнує метал. Флокени є неприпустимим дефектом металу.

3. Макроскопічне дослідження зварних з'єднань.

Макроскопічний аналіз застосовується також для контролю якості зварних з'єднань. При виготовленні зварних з'єднань через місцевий нерівномірний нагрів в металі виникають значні внутрішні напруги, які по своїй природі діляться на усадкові, структурні і термічні.

Внутрішні напруги можуть викликати зміну форми - викривлення і навіть утворення тріщин. На макрошліфах добре видні дефекти зварного шва: тріщини, непровари, шлакові включення, газові пори (рис. 6).



Рисунок 6. Дефекти зварних з'єднань

Основним дефектом зварного з'єднання є тріщина. Тріщина виникає в результаті утворення в зоні зварювання значних внутрішніх напруг. Розрізняють тріщини гарячі і холодні. При охолодженні металу після зварки від 1400°C до 950°C одночасно з кристалізацією відбувається місцеве стиснення нагрітого металу (усадкові і термічні напруги), слідством чого може відбуватися утворення гарячих тріщин.

Холодні тріщини утворюються в зварних з'єднаннях легованих сталей при температурах нижче 200°C. Звичайно це пов'язано з утворенням нової структури мартенситу або трооститу, що супроводжується збільшенням об'єму і виникненням структурних напружень.

Порядок виконання роботи

1. Вивчити зовнішні дефекти отриманих деталей, зразків, указати їх на малюнках. Дослідити будову різних видів зламів, набути навиків їх ідентифікації, замалювати схеми зламів.
2. За допомогою отриманого набору макрошліфів дослідити темплети литої і деформованої сталі. Виявити дефекти макроструктури, замальовувати макроструктуру кожного шліфа, визначити технологічний процес їх виготовлення.
3. Отримати сірчані відбитки по методу Баумана, для цього використовують зразки прокатного металу або зразки зварних з'єднань. По отриманих фотографіях пояснюють причини нерівномірного розподілу сірки в металі.

4. Дослідити дефекти зварених з'єднань, замалювати їх. Вказати можливі причини появи цих дефектів.

Зміст звіту по лабораторній роботі

Звіт по лабораторній роботі повинен містити:

- коротку характеристику методу мікроаналізу та методику його проведення для різних цілей;
- результати досліджень макрошліфів, опис макроструктури литої та деформованої сталі, звареного з'єднання, її малюнки, пояснення та висновки;
- опис сірчаних відбитків у сталях, аналіз причин ліквідації сірки.
- висновки по роботі.

Контрольні питання

1. Що називають макроскопічним аналізом, макроструктурою, усадковою раковиною, ліквідацією, волоконною структурою, флокенами?
2. Вкажіть мету застосування макроскопічного аналізу.
3. Які існують способи макроскопічного аналізу?
4. Яка послідовність операцій при приготуванні макрошліфів?
5. Які дефекти металу можна визначити при аналізі макрошліфів?
6. Яку будова має литий метал, від чого залежить наявність трьох зон кристалів в литому металі?
7. Для чого застосовують метод Баумана і як його проводять?
8. Перерахуйте можливі дефекти литого металу.
9. Перерахуйте можливі дефекти деформованого металу.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

Тема: Аналіз діаграми стану системи Fe – Fe₃C

Мета роботи. Вивчити діаграму стану системи Fe – Fe₃C. Проаналізувати фазові перетворення в залізобуглецевих сплавах при нагріванні та охолодженні. Для заданого сплаву побудувати термодинамічну криву та пояснити фазові перетворення, що протікають в сплаві по нагріванні (охолодженні). Охарактеризувати структури сплаву на різних етапах фазових перетворень, замалювати їх.

Теоретична частина

Діаграма стану – це графічне зображення процесів, які відбуваються в сплаві в залежності від зміни концентрації компонентів і температури. Діаграма стану дозволяє визначити фазовий склад сплаву, їх кількісне співвідношення при різних температурах, встановити критичні точки сплаву.

Розглянемо діаграму стану, що характеризує перетворення в системі залізобуглецевих сплавів.

Основними компонентами цієї системи сплавів є залізо і вуглець.

Залізо – метал білого кольору з сильно виявленими феромагнітними властивостями. Міцність заліза невисока $\sigma_b = 200 \dots 250$ МПа, твердість HB = 60..80 МПа, пластичність гарна $\delta = 40 \dots 50\%$. При нормальній температурі залізо має ОЦК решітку, але при збільшенні температури до 768°C (точка Кюрі) втрачає магнітні властивості. Втрата ця не пов'язана з перебудовою атомів у кристалічній решітці, тобто ОЦК решітка при цьому зберігається. Щоб відрізнити магнітне Fe_α від немагнітного, немагнітне іноді називають Fe_β. Залізо при зміні температури набуває поліморфних перетворень. При температурі 911°C Fe_β перетворюється в Fe_γ з ГЦК решіткою. При температурі 1392°C решітка ГЦК знову перетворюється в ОЦК. Цю модифікацію на відміну від низькотемпературної ОЦК решітки називають Fe_δ. При температурі 1539 °C залізо плавиться.

Критичні точки (температури), які відповідають певним перетворенням у залізі, мають спеціальні позначення. Так, температуру магнітного перетворення Fe_α → Fe_β позначають через A₂, температуру перетворення Fe_β → Fe_δ - через A₃ а температуру перетворення Fe_γ → Fe_δ - через A₄. Крім того, коли йдеться про перетворення при нагріванні, то до позначення критичної точки додають індекс c (A_{C2}, A_{C3}) а при перетвореннях, що відбуваються при охолодженні, - індекс r (A_{r2} A_{r3}). Додавання до заліза інших компонентів зміщує положення критичних точок.

Вуглець - це неметал з температурою плавлення 3500°C. Із залізом він утворює тверді розчини або хімічні сполуки, а в певних умовах може виділятися у вигляді графіту.

Серед діаграм стану металевих сплавів найбільше значення має діаграма стану системи Fe – Fe₃C. Це обумовлено тим, що в техніці найширше застосовують залізовуглецеві сплави.

Діаграма стану системи сплавів Fe – Fe₃C побудована в межах концентрації вуглецю від 0 до 6,67 %, тобто до утворення першої хімічної сполуки - карбиду заліза Fe₃C. Обмеження діаграми стану залізовуглецевих сплавів таким складом зумовлюється тим, що практично сплави цієї системи містять вуглецю менш як 5 %. Отже, компонентами залізовуглецевих сплавів можна вважати залізо (ферит) і цементит. Тому цю частину діаграми стану таких сплавів називають ще діаграмою залізо - цементит (Fe - Fe₃C).

В сплавах заліза з вуглецем, в залежності від розчинності вуглецю в залізі можуть утворюватись такі фази: тверді розчини – ферит, аустеніт; хімічна сполука – цементит і вільний вуглець у вигляді графіту.

Феритом (Ф) називають твердий розчин вуглецю в залізі. Розрізняють низькотемпературний і високотемпературний ферит. Гранична розчинність вуглецю в Fe_α при нормальній температурі не перевищує 0,02 %, а у високотемпературному — 0,1%С. Ферит – м'яка, пластична фаза. Міцність фериту $\sigma_B = 250...300$ МПа, твердість 90... 100 НВ і відносне видовження $\delta = 30...40$ %.

Аустенітом (А) називають твердий розчин вуглецю в Fe_γ перемінної розчинності. Розчинність вуглецю в аустеніті з підвищенням температури збільшується від 0,8% (727°C) до 2,14 % (1147°C). Аустеніт немагнітний і має підвищену порівняно з феритом пластичність. Твердість аустеніту НВ = 160 – 200 МПа

Залізо з вуглецем утворює ряд хімічних сполук. З них практичне значення має карбід Fe₃C, який містить 6,67 % С його називають **цементитом** (Ц). Цементит має складні ромбічні ґратки. Цементит досить твердий (~ 800 НВ), але крихкий, температура плавлення близько 1600 °С. Він слабо феромагнітний і втрачає феромагнетизм при 210°C. Температуру плавлення цементиту важко визначити у зв'язку з його розпадом при нагріві.

Графіт — вуглець, що виділяється в залізовуглецевих сплавах у вільному стані. Має гексагональні кристалічні ґратки. Графіт електропровідний, хімічно стійкий, не міцний, м'який.

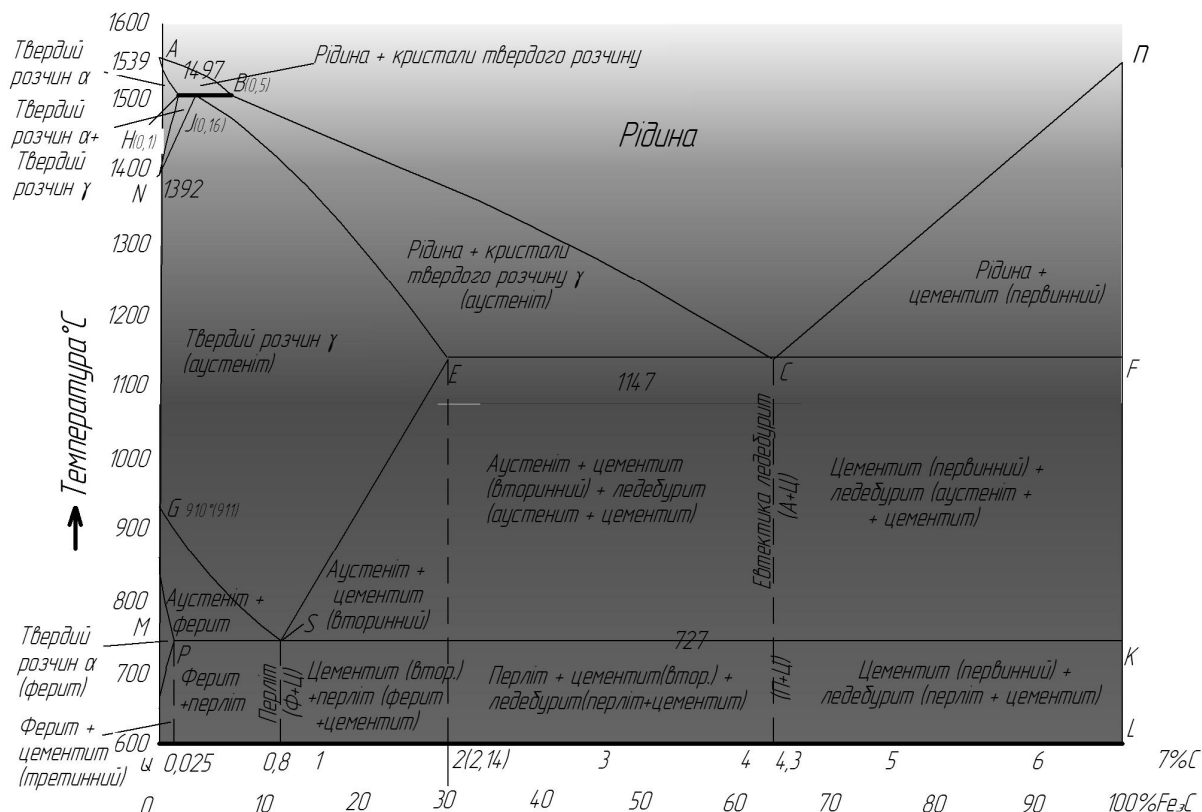
Особливістю залізовуглецевих сплавів є те що фазові перетворення відбуваються не тільки в процесі первинної кристалізації при затвердінні рідкої фази, але протікають і в твердому стані сплаву. Розглянемо основні фазові перетворення в системі цих сплавів.

Точка А визначає температуру плавлення чистого заліза, а D — температуру плавлення цементита. Точки N і G відповідають температурам поліморфних перетворень заліза. Точки H і P характеризують граничну концентрацію вуглецю відповідно у високотемпературному і низькотемпературному фериті. Точка E визначає найбільшу концентрацію вуглецю в аустеніті. Значення решти точок будуть роз'яснені після проведеного аналізу діаграми. Дані про основні точки діаграми приведені в таблиці 1.

Характерні точки діаграми стану Fe-Fe₃C

Позначення точки	t °C	C %	Характеристика точки
A	1539	0	Температура плавлення заліза
H	1493	0,1	Гранична розчинність вуглецю в Fe δ
J	1493	0,16	Перитектичне перетворення : P.C + Ф δ (H) \rightarrow A \downarrow
B	1493	0,51	Граничний вміст вуглецю в перитектиці
N	1392	0	Поліморфне перетворення Fe δ \rightarrow Fe γ
D	1260	6,67	Температура плавлення цементиту
E	1147	2,14	Гранична розчинність вуглець в Fe γ
C	1147	4,3	Евтектичне перетворення: P.C _{4,3%} \rightarrow Л _{4,3%} = A _{2,14%} +Ц _{6,67%}
F	1147	6,67	
G	911	0	Поліморфне перетворення Fe γ \rightarrow Fe β
P	727	0,02	Гранична розчинність вуглецю в Fe β
S	727	0,8	Евтектоїдне перетворення: A _{0,8%} \rightarrow П _{0,8%} = Ф _{0,02%} +Ц _{6,67%}
K	727	6,67	

Діаграма стану системи сплавів Fe – Fe₃C приведена на рисунку 1.

Рисунок 1. Діаграма стану системи сплавів Fe – Fe₃C

Кристалізація сплавів починається за температур, які відповідають лінії ABCD – ліквідус і йде в інтервалі температур, що закінчуються по лінії ANJECF – солідус.

Основні характеристики ліній ліквідус і солідус приведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Характеристика фазових перетворень при первинній кристалізації сплавів

Лінія	Температурний інтервал	Концентрація вуглецю	Характеристика фазових перетворень
Лінія ліквідус			
AB	1539 – 1493	0 – 0,51	Початок кристалізації фериту- δ з рідкого сплаву $P.C \rightarrow \Phi\delta$
BC	1493 – 1147	0,51 – 4,3	Початок кристалізації аустеніту з рідкого сплаву $P.C \rightarrow A$
CD	1147 – 1600	4,3 – 6,67	Початок кристалізації цементиту-первинного $P.C \rightarrow \text{Ц I}$
Лінія солідус			
AN	1539 – 1493	0 – 0,1	Закінчення кристалізації фериту- δ з граничною концентрацією 0,1%С при 1493°C
HJB	1493	0,1 – 0,16	Перитектичне перетворення, утворення твердого розчину аустеніт з рідкого сплаву і фериту- δ
JN	1493 – 1392	0,16 - 0	Кристалізація аустеніту з фериту при поліморфному перетворенні $Fe\delta \rightarrow Fe\gamma$ $P.C + \Phi\delta (H) \rightarrow \Phi\delta (H) + A_I$
JE	1493 – 1147	0,16 – 2,14	Кристалізація аустеніту з граничною концентрацією 2,14%С при 1147°C, що знаходився у рівновазі з рідким сплавом $P.C + A \rightarrow A$
ECF	1147	2,14 – 6,67	Евтектичне перетворення, кристалізація рідкого сплаву евтектичного складу з утворенням механічної суміші ледебурит $P.C \rightarrow A(E) + \text{Ц I(D)}$

Вторинна кристалізація викликана поліморфним перетворенням заліза і змінною розчинності вуглецю в аустеніті і фериті. Характеристика фазових перетворень в твердому стані приведена в таблиці 3.

Характеристика фазових перетворень в твердому стані
(при вторинній кристалізації)

Лінія	Температурний інтервал	Концентрація вуглецю	Характеристика фазових перетворень
GS	911 – 727	0 – 0,8	Поліморфне перетворення $Fe\gamma \rightarrow Fe\alpha$. Виділення з аустеніту фериту
GP	911 – 727	0 – 0,02	Утворення однорідного твердого розчину $\Phi\beta$, $\Phi\alpha$ при поліморфному перетворення заліза
PQ	727 – 0	0,02 – 0,006	Зміна розчинності вуглецю в фериті. З фериту виділяється Цементит третинний: $\Phi \rightarrow \text{Цш}$
ES	1147 – 727	2,14 – 0,8	Зміна розчинності вуглецю в аустеніті, супроводжується розпадом аустеніту з виділенням цементиту вторинного: $A \rightarrow \text{Цп}$
PSK	727	0,02 – 6,67	Евтектоїдне перетворення аустеніту $A_{0,8\%} \rightarrow P_{0,8\%} = \Phi_{0,02\%} + \text{Ц}_{6,67\%}$

Надлишок вуглецю з твердих розчинів виділяється у вигляді цементиту.

Внаслідок фазових перетворень в твердому стані відбуваються ізотермічні перетворення при постійній концентрації компонентів. При цьому по правилу евтектичної реакції відбувається утворення механічних сумішей.

Евтектична суміш аустеніту і цементиту називається **ледебуритом**. При охолодженні ледебуриту до температур нижче лінії SK аустеніт, що входить в нього перетворюється на перліт, і ледебурит є сумішшю цементиту і перліту. В цьому тому, що структурній становить цементит утворює суцільну матрицю, в якій розміщені колонії перліту. Така будова ледебурита служить причиною його великій твердості (> 600 НВ) і крихкості. Присутність ледебуриту в структурі сплавів обумовлює їх нездатність до обробки тиском, утрудняє обробку різанням.

Евтектоїдна механічна суміш фериту і цементиту — **перлітом**. Перліт частіше за все має пластинчасту будову і є міцною структурною складовою: $\sigma_{T,0} = 800 \dots 900$ МПа; $\sigma_T = 450$ МПа; $\delta < 16\%$; твердість – 200...220 НВ.

Евтектоїд — перліт (0,8%С) і евтектику — ледебурит (4,3%С) розглядають як самостійні структурні складові, що роблять помітний вплив на властивості сплавів.

Залізовуглецеві сплави за вмістом вуглецю поділяють на дві групи:

- сталь – сплав заліза з вуглецем, що містить не більше 2,14% С;
- чавун – сплав заліза з вуглецем, який містить від 2,14%С до 6,67%С..

Порядок виконання роботи

1. Вивчити основні компоненти та фази системи залізовуглецевих сплавів.
2. Накреслити діаграму стану системи сплавів Fe – Fe₃C. Позначити фази у всіх областях діаграми.
3. Отримати індивідуальне завдання. Виконання завдання включає:
 - побудову кривих охолодження чи нагрівання (по завданню) сплаву з заданою концентрацією вуглецю;
 - опис фазових перетворень в заданому сплаві при зміні температури;
 - характеристику фаз, та фазового складу сплаву в основних областях перетворень.
4. Висновки по роботі.

Зміст звіту по лабораторній роботі

Звіт по лабораторній роботі повинен містити:

- Побудовану в масштабі діаграму системи сплавів Fe – Fe₃C і криву охолодження (нагрівання) заданого сплаву;
- Детальний опис кривої охолодження (нагрівання) сплаву з характеристикою фазових перетворень у всіх областях діаграми;
- характеристику фаз, та фазового складу сплаву.

Контрольні питання

1. Дайте визначення фаз сплавів заліза з вуглецем.
2. Вкажіть на діаграмі однофазні області.
3. Дайте визначення механічних сумішей в сплавах заліза з вуглецем.
4. В чом полягає відзнака різних видів цементиту?
5. Які тверді розчини утворюють в системі сплавів заліза з вуглецем?
6. В чом полягає евтектичне перетворення?
7. В чом полягає евтектоїдне перетворення?
8. Чим викликаються фазові зміни в залізовуглецевих сплавах?
9. На які групи поділяють залізовуглецеві сплави? Дайте їх визначення.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6

Тема: Дослідження мікроструктури залізовуглецевих сплавів

Мета роботи: вивчити методику макроскопічного і мікроскопічного аналізу сплавів; придбати навички аналізу структури сплавів; вивчити мікроструктуру сталей, проаналізувати вплив вуглецю на механічні властивості сталей.

Теоретична частина

При кристалізації сплавів в наслідок впливу багатьох факторів утворюється кристалічна будова, де зерна по-різному орієнтовані і мають різну величину. Вид, кількість та розміщення зерен у структурі, домішок нерівномірне і веде до появи дендритної ліквідації. На структуру також впливає використана обробка виробу – гаряча чи холодна пластична деформація, зварювання, термічна або хіміко-термічна обробка. Все це значно діє на механічні, технологічні та експлуатаційні властивості сплавів. Тому дослідження структури сплавів – один з основних методів контролю їх якості.

Мікроструктурний аналіз – це дослідження будови металу за допомогою оптичних або електронних мікроскопів, при значному збільшенні. Під мікроструктурою розуміють форму розміри та характер взаємного розташування відповідних фаз в металах і сплавах. Фаза – це однорідна складова частина сплаву, що має однаковий склад, кристалічну будову і властивості та відокремлена від інших поверхнями розділу. Структурні складові сплаву це відокремлені частини сплаву, що мають однакову будову з характерними їм особливостями. Дослідження мікроструктури складається з виявлення числа, розмірів, форми, взаємного розташування і кількісного співвідношення фаз і структурних складових. При цьому можуть бути виявлені і макродефекти сплавів.

Мікроаналіз виконується на спеціальних зразках – мікрошліфах. Зразки сплаву шліфуються на різних номерах наждачного паперу, потім поліруються до дзеркального блиску. Це виконується для того, щоб всі точки досліджуваної поверхні знаходилися на рівній відстані від об'єктиву. Спочатку мікрошліфи розглядають під мікроскопом в не травленому стані, з метою виявлення макроструктури, якості підготовки мікрошліфа. Під мікроскопом такий шліф має вид світлого круга, на якому можна помітити невеликих розмірів темні плямки (сірі чи чорні), а інколи жовтуватого кольору, це є сліди неметалевих включень, чи хімічної неоднорідності. Також можна виявити мікропористість – дефект, який зустрічається частіше всього у виливках.

Після перегляду протравленого мікрошліфу для виявлення мікроструктури шліф протравлюють. Частіше за все для протравлення використовують метод вибіркового розчинення фаз. При протравлюванні, внаслідок неоднакової стійкості границь зерен, різних фаз і структурних складових до хімічного розчинника, виявляється мікрорельєф.

Найбільш розповсюдженим протравлювачем є 5%-ний розчин HNO_3 в етиловому спирті. Для протравлювання мікрошліф занурюють полірованою поверхнею в розчин вибраного розчинника і через певний час виймають, при цьому поверхня стає матовою. Шліф промивають водою, підсушують і далі використовують для аналізу.

Досліджуючи отриманий мікрошліф під мікроскопом спостерігають форму, розміри зерен, фази, домішки. По мікроструктурі сплавів, що мають дві і більше фаз, можна встановити кількісне співвідношення цих фаз, і по відомим залежностям визначити хімічний склад основних компонентів.

В даній роботі досліджується мікроструктура залізобуглецевих сплавів. В сталях та чавунах залежно від вмісту вуглецю існують як окремі фази так і сукупність декількох фаз. Основними фазами залізобуглецевих сплавів є тверді розчини (ферит, аустеніт), механічні суміші (перліт, ледебурит), хімічні сполуки (цементит) та графіт. На рисунку 1 представлені схеми мікроструктур сталі.

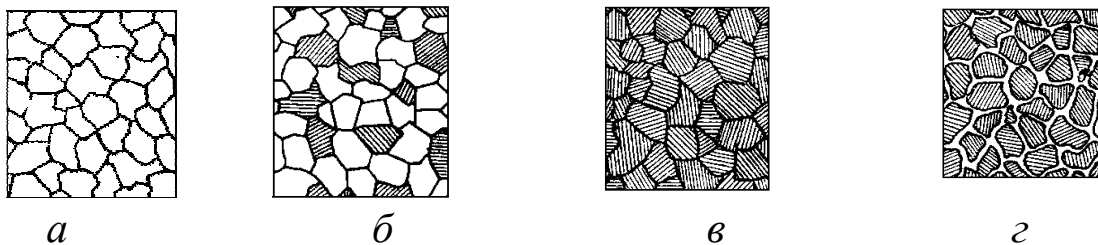


Рисунок 1. Схеми мікроструктури сталі:

a – феритної; *б* – ферито-перлітної; *в* – перлітної; *г* – перліто-цементитної.

Досліджуючи мікроструктуру можна з'ясувати кількісне відношення фазових складових структури, яке визначають по відліковій сітці окуляра-мікрометра. Для цього визначають дольові частини фаз у структурі по кількості їх зерен. Так якщо в мікроструктурі сталі позначити ферит через X , а перліт через Y то використовуючи кількісне відношення фаз можна визначити приблизний вміст вуглецю і твердість сталі по формулам:

- вміст вуглецю в сталі:

$$\% C = C_{\phi} \cdot X + C_n \cdot Y$$

де C_{ϕ} – вміст вуглецю в фериті, $C_{\phi} \approx 0,02\%$;

C_n – вміст вуглецю в перліті, $C_n \approx 0,8\%$;

X, Y - кількісний вміст фаз, фериту і перліту відповідно.

- твердість сталі:

$$HB = HB_{\phi} \cdot X + HB_n \cdot Y,$$

де HB_{ϕ} – середня твердість фериту, $HB_{\phi} \approx 80 \dots 100$;

HB_n – твердість перліту, $HB_n \approx 160 \dots 200$;

X, Y - кількісний вміст фаз, відповідно.

При дослідженні мікроструктури чавунів можна не тільки дослідити мікроструктуру (рис. 2), але й виявити форму графіту.

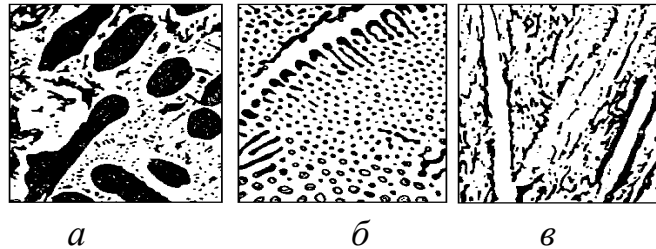


Рисунок 2. Схеми мікроструктури білого чавуну:
a – доевтектичного (перліт і ледебурит); *б* – евтектичного (ледебурит); *в* – за-
 евтектичного(ледебурит і цементит).

Конструкційні чавуни в структурі мають вільний графіт різної форми. Саме форма графіту визначає вид і властивості чавуну (рис.3). В сірому чавуні графіт має пластинчасту форму, в ковкому – хлоп'євидний графіт; високоміцний чавун має кулясту форму графіту.

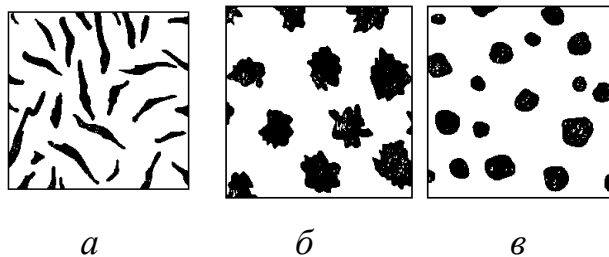


Рисунок 3. Вид графіту в чавуні:*a* – пластинчастий; *б* – хлоп'євидний; *в* – ку-
 лястий.

Однак включення графіту в чавуні, порушуючи суцільність металевої матриці є концентраторами напружень, і тому негативно впливають на механічні властивості чавуну.

В таблиці 1 приведені усереднені показники механічних властивостей сталі 45, що має ферито-перлітну структуру, і чавунів з подібною основою і різною формою графітових включень.

Таблиця 1
 Порівняльні властивості сталі 45 і чавуну.

Сплав	Форма графіту	Границя міцності	Відновне видовження
Сталь 45	-	620	15
Високоміцний чавун	куляста	6550	12
Ковкий чавун	хлоп'євидна	250	10
Сірий чавун	пластинчата	150	0,2

З таблиці видно, що властивості чавуну в найменшій мірі знижує куляста форма графіту.

Порядок виконання роботи

1. Вивчити методику проведення мікроаналізу і структурні класи сталі і чавуну.
2. Для отриманих зразків мікрошліфів сталей провести мікроскопічний аналіз. Зарисувати мікроструктуру сталі.
3. Набути навичок визначення основних структурних складових сталей та їх кількісного співвідношення.

4. Визначити по мікроструктурі вміст вуглецю та твердість сталі. Проаналізувати вплив вуглецю на кількість і співвідношення структурних складових сталі.

Результати досліджень мікроструктури та розрахунки занести в таблицю 2.

Таблиця 2.

Результати проведення мікроаналізу сталей.

№ зразка	Схема мікроструктури	Співвідношення структурних складових	Вміст вуглецю %	Твердість НВ

5. Побудувати графік залежності твердості сталі від вмісту вуглецю.
6. Провести мікроскопічне дослідження структури зразків чавунів. Встановити форму графіту та параметр відношення максимального розміру включень до мінімального. Зарисувати досліджені мікроструктури чавунів. Дані занести в таблицю 3.

Таблиця 3

Результати проведення мікроаналізу чавунів

№ зразка	Схема мікроструктури	Форма графіту	$\frac{P_{max}}{P_{min}}$	Механічні властивості	
				$\sigma_{T.O}$	δ

7. Побудувати графічну залежність границі міцності і відносного видовження від параметра форми графіту, використовуючи дані таблиці 1.

Зміст звіту по лабораторній роботі

Звіт по лабораторній роботі повинен містити:

- Опис методики проведення мікроструктурного аналізу сплавів.
- Схеми мікроструктур сталі та чавуну. Розрахунки визначення вмісту вуглецю і твердості сталі по співвідношень включень графіту.
- Необхідні схеми, малюнки, таблиці тощо.
- Графіки залежності механічних характеристик від вмісту вуглецю в сталі та від параметра форми графіту в чавунах.
- Висновки.

Контрольні питання

1. Як і з якою метою виконують аналіз мікроструктури сплавів?
2. В чом полягає мікроструктурний аналіз?
3. Як виявити мікроструктуру сплаву?
4. Назвіть і схематично змалюйте структури залізобуглецевих сплавів.
5. Як змінюються механічні властивості сталі залежно від вмісту вуглецю?
6. Яку форму може мати графіт в чавунах, і як їх поділяють за формою графіту?
7. Як впливає форма графіту на механічні властивості чавуну?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

Тема: Класифікація і маркування залізовуглецевих сплавів

Мета роботи: ознайомитися з принципами маркування залізовуглецевих сплавів; набути навиків розкриття марок сталі і чавуну.

Теоретична частина

Сталлями прийнято називати сплави заліза з вуглецем, в яких вміст вуглецю не перебільшує 2,14%. Крім того, до складу сталей входять постійні домішки: марганець, кремній, сірка і фосфор, та деякі елементи які можуть бути введеними для поліпшення фізико-хімічних властивостей, це спеціальні легуючі елементи.

Марка сталі це її умовне позначення, що відбиває особливості хімічного складу та призначення і допомагає її ідентифікувати та раціонально обрати для конкретних практичних цілей. Частіше за все маркування сталей здійснюється за якістю та за хімічним складом.

Сталі **звичайної якості** позначають буквами "Ст" і умовним номером марки від 0 до 6 залежно від хімічного складу і механічних властивостей. Чим вище вміст вуглецю, тим більше її номер і тим міцнішою вона є. Сталь звичайної якості маркується з врахуванням групи поставки:

- сталь групи **А** поставляється споживачам по механічних властивостях (така сталь може мати підвищений вміст сірки або фосфору);
- сталь групи **Б** поставляється з гарантованим хімічним складом;
- сталь групи **В** - з гарантованими хімічним складом і механічними властивостями.

При маркуванні перед маркою вказують групу якості сталі, причому група "А" в позначенні марки сталі не ставиться. Далі вказують порядковий номер сталі по ГОСТ 380 – 84. Буква "Г" після номера марки вказує на підвищений вміст марганцю в сталі. Крім того при маркуванні цих сталей вказують ступінь розкислення сталі відповідними буквами в кінці марки:

- спокійні сталі, тобто повністю розкислені. Такі сталі позначаються буквами "сп" в кінці марки (іноді букви опускаються);
- киплячі сталі – не розкислені, вказуються буквами "кп";
- напівспокійні сталі – частково розкислені сталі, позначаються – "пс".

Приклади маркування:

Ст1кп - вуглецева сталь звичайної якості, марки № 1, кипляча, поставляється споживачам по механічних властивостях (група А);

ВСт5Г - вуглецева сталь звичайної якості з підвищеним вмістом марганцю, спокійна марки №5, з гарантованими механічними властивостями і хімічним складом (група В);

БСтЗсп – вуглецева сталь звичайної якості, номер марки №3, спокійна, повністю розкислена, з гарантованими механічними властивостями і хімічним складом (група Б);

БСт0 - вуглецева сталь звичайної якості, номер марки 0, групи Б, (сталі марок Ст0 і БСт0 по ступеню розкислювання не розділяють).

Якісні та високоякісні сталі маркують таким чином:

Вуглецеві сталі маркують вказуючи вміст вуглецю у долях відсотку. У легованих сталях також вказують групи і кількість легуючих елементів.

При маркуванні цих сталей частіше за все на початку марки вказують вміст вуглецю числом, відповідно його середньої концентрації;

- Якщо число на початку марки двозначне то вміст вуглецю визначається в сотих частках відсотка, для сталей, що містять до 0,8% вуглецю;
- Якщо число однозначне, то вміст вуглецю визначається в десятих частках відсотка, для сталей, що містять від 0,5% до 1,5% вуглецю;

Приклади:

05кп – сталь вуглецева якісна, кипляча, містить 0,05% С;

60 – сталь вуглецева якісна, спокійна, містить 0,60% С;

9ХС – сталь легована якісна, містить 0,9% вуглецю.

Якщо марка сталі починається з літери "У" то вміст вуглецю визначається в десятих частках відсотка для інструментальних сталей:

Приклади:

У7 – вуглецева інструментальна, якісна сталь, що містить 0,7%С, спокійна (всі інструментальні сталі добре розкислюють);

У12 – вуглецева інструментальна, якісна сталь, спокійна містить 1,2%С;

Якщо марка сталі починається з літери легуючого елемента, то сталь є високо вуглецевою, тобто вміст вуглецю становить близько 1%:

Приклади:

Х12 – легована інструментальна, якісна сталь, вміст вуглецю ~ 1%;

ШХ15СГ – сталь легована конструкційна, шарикопідшипникова, якісна, вміст вуглецю ~ 1%

В легованих сталях вказують легуючі елементи після вмісту вуглецю.

Легуючі елементи, що входять до складу сталі, позначають прописними буквами. Легуючі елементи та їх позначення приведені в таблиці 1.

Якщо після букви, що позначає легуючий елемент, стоїть цифра, то вона вказує вміст цього елемента у відсотках. Якщо цифри немає, то сталь містить 0,8 - 1,5% легуючого елемента, за винятком молібдену і ванадію, вміст яких в солях звичайно до 0,2 - 0,3%, а також бору (в сталі з буквою Р його повинне бути не менше 0,0010%).

Приклади:

14Г2 – низько легована якісна сталь, спокійна, містить приблизно 0,14% вуглецю і до 2,0% марганцю;

03Х16Н15М3Б - високо легована якісна сталь, спокійна містить 0,03% С, 16,0% Cr, 15,0% Ni, до 3,0% Мо, до 1,0% Nb.

Умовні позначення легуючих елементів в металах і сплавах

Елемент	Символ	Позначення елементів в марках металів і сплавів		Елемент	Символ	Позначення елементів в марках металів і сплавів	
		чорні	кольорові			чорні	кольорові
Азот	N	А	-	Магній	Mg	Ш	Мг
Алюміній	Al	Ю	А	Марганець	Mn	Г	Мц(Мр)
Берилій	Be	Л	-	Мідь	Cu	Д	М
Бор	B	Р	-	Молібден	Mo	М	-
Ванадій	V	Ф	Вам	Нікель	Ni	Н	Н
Вісмут	Bi	Ві	Ви	Ніобій	Nb	Б	Нп
Вольфрам	W	В	-	Олово	Sn		О
Вуглець	C	У	-	Свинець	Pb	-	С
Германій	Ge	-	Г	Титан	Ti	Т	ТПД
Залізо	Fe	-	Ж	Фосфор	P	-	Ф
Кадмій	Cd	Кд	Кд	Хром	Cr	Х	Х(Хр)
Кобальт	Co	К	К	Цинк	Zn	-	Ц
Кремній	Si	З	Кр(К)				

Високоякісні та особливо високоякісні сталі.

Маркують, так само як і якісні, але в кінці марки високоякісної сталі ставлять букву "А", (ця буква в середині марочного позначення вказує на наявність азоту, спеціально введеного в сталь);

в кінці марки особливо високоякісної сталі через тире позначають літеру "Ш".

Приклади:

У8А - вуглецева інструментальна високо якісна сталь, що містить 0,8% вуглецю;

30ХГС-Ш – особливо високоякісна середньо вуглецева сталь, що містить 0,30% вуглецю і від 0,8 до 1,5% хрому, марганцю і кремнію кожного.

В марці легованої сталі інколи умовно вказують групу сталі за призначенням, позначаючи певною літерою на першій позиції марки.

А – те що сталь за призначенням автоматна та належить до групи звичайної якості;

Ш – сталь шарикопідшипникова;

У – сталь вуглецева інструментальна;

Р – сталь інструментальна швидкорізальна;

Е – сталь електротехнічна;

Л – сталь ливарна (однак позначається в кінці марки).

Приклади:

А30СГ – сталь конструкційна легована автоматна, середньо вуглецева, звичайної якості, вміщує 0,3%С і ~ 1% кремнію та марганцю кожного.

Р18 – сталь інструментальна швидкорізальна, високо вуглецева, якісна, вміщує ~ 1%С, 18%WС.

Маркування чавунів.

Чавуном називають сплави заліза з вуглецем, що містять більше 2,14% вуглецю. Вони містять ті ж домішки, що і сталь, але в більшій кількості. В цілому чавуни мають вміст вуглецю 2...4%, кремнію – 1,5...4%, марганцю – 0,6...1,25%, фосфору – 0,1...1,2%, сірки – $\leq 0,06\%$.

Вуглець в чавуні може знаходитись в стані цементиту, графіту чи в складі металевої фази.

Графіт збільшує зносостійкість і антифрикційні властивості чавуну, за рахунок власної мастильної дії. Чавуни добре обробляються різанням, забезпечують менш шорстку поверхню. Наявність евтектики в чавунах зумовлює їх гарні ливарні властивості. Механічні властивості чавунів в основному обумовлені кількістю і структурними особливостями графітної складової. Чим менше графітних включень, чим вони дрібніші і більше ступінь їх ізолюваності, тим вище міцність чавуну. Залежно від стану вуглецю в чавуні, розрізняють:

Білий чавун – в якому весь вуглець знаходиться в зв'язаному стані у вигляді цементиту, і **половинчастий** чавун – в якому вуглець в значній мірі або повністю знаходиться у вільному стані у вигляді графіту.

Половинчасті чавуни в залежності від форми графіту, що визначає міцність та властивості опру деформації, підрозділяють на:

- **сірі** - пластинчата або червоподібна форма графіту;
- **високоміцні** - кулястий графіт;
- **ковкі** - хлоп'євидний графіт.

Найбільшу міцність чавунів забезпечує куляста форма графіту, для хлоп'євидної форми графіту характерна збільшена пластичність. Чавун з пластинчатою або червоподібною формою графіту можна розглядати як високо вуглецеву сталь в якій графіт відіграє роль надрізів, які послаблюють металеву основу.

Чавуни поділяють на прості та спеціальні – леговані.

Прості чавуни маркують двома буквами що вказують на вид чавуну і числами, що характеризують механічні властивості.

- сірий чавун позначають буквами – "СЧ"
- високоміцний – "ВЧ"
- ковкий – "КЧ"

Перше число в марці відповідає мінімальному значенню тимчасового опору при розтягуванні $\sigma_{т.о.}$, в МПа.

Друге число, що пишеться через дефіс, або не вказується – границя міцності при згинанні (для сірих чавунів), або відносне подовження (для ковких і високоміцних чавунів).

Приклади:

СЧ10 - сірий чавун з границею міцності при розтягуванні 100 МПа;

ВЧ70 - високоміцний чавун з $\sigma_{т.о.}$ при розтягуванні 700 МПа;

КЧ35 - ковкий чавун $\sigma_{т.о.}$ розтягування приблизно 350 МПа.

В спеціальних чавунах вказується тип чавуну і перелік легуючих елементів, з вказівкою їх кількості (аналогічно легованим сталям).

Приклади:

ЖЧХ28 – жаростійкий чавун, хрому ~ 28%;

ЧХ32 – чавун корозійностійкий, хрому ~ 32%;

ИЧХНТ – зносостійкий чавун, легований Cr, Ni, Ti у кількості приблизно по 1,0...1,5 % кожного.

В марках антифрикційних чавунів позначають тип чавуну і вказують номер у відповідному ГОСТі.

Приклади:

АЧС-1 – антифрикційний чавун сірий №1,

АЧВ-2 - антифрикційний чавун високоміцний №2.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомити з принципами маркування сталі та чавуну.
2. Проаналізувати вплив легуючих елементів на властивості сплавів.
3. Для заданих марок сталей та чавунів розкрити позначення та надати характеристику сплаву.
4. Зробити висновки.

Зміст звіту по лабораторній роботі

Зміст по лабораторній роботі повинен містити:

- короткі відомості про принципи маркування сталей та чавунів;
- виконання індивідуального завдання по розкриттю марок заданих сталей і чавунів.

Контрольні питання

1. Що таке марка сплаву?
2. На яких принципах базується маркування сталей?
3. Яким чином в марці вказується якість сталі?
4. Як впливає легування на властивості сталі?
5. Як вказується призначення сталі при маркуванні?
6. За якими принципами маркують чавуни?
7. Як форма графіту впливає на властивості чавунів?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8

Тема: Маркування кольорових сплавів

Мета роботи: ознайомитись з принципами маркування кольорових сплавів; набути навиків розкриття марок кольорових сплавів.

Теоретична частина

Маркування міді та мідних сплавів

Технічно чиста мідь володіє високою пластичністю і корозійною стійкістю, малим питомим електроопором і високою теплопровідністю. По чистоті мідь підрозділяють на марки (ГОСТ 859-78):

Марка	МВЧк	МОО	МО	М1	М2	М3
вміст Cu +Ag, не менше %	99,993	99,99	99,95	99,9	99,7	99,5

Після позначення марки указують спосіб виготовлення міді: до - катодна, "б" – безкиснева, "р" - розкислена. Мідь вогняного рафінування не позначається.

Мідні сплави поділяють на бронзу і латунь.

Бронза – це сплави міді з оловом (4 - 33% Sn) ГОСТ 493-79, чи іншими елементами: свинцем (до 30% Pb) ГОСТ 613-79, алюмінієм (5-11% Al) ГОСТ 5017-74, кремнієм (4-5% Si) ГОСТ 18175-78, сурмою і фосфором.

Латунь – це сплави міді з цинком (до 50% Zn) і невеликими добавками алюмінію, кремнію, свинцю, нікелю, марганцю (ГОСТ 15527-70, ГОСТ 17711-80).

Мідні сплави призначені для виготовлення деталей методами лиття, називають ливарними, а сплави, призначені для виготовлення деталей пластичною деформацією - сплавами, оброблюваними тиском або деформованими.

Мідні сплави позначають початковими буквами їх назви (Бр або Л), після чого слідує букви, що вказують хімічний склад основних елементів, утворюючих сплав, і числа, які визначають кількість елемента у відсотках.

Латуні поділяють на прості і спеціальні – леговані.

Прості латуні маркуються буквою "Л", наступне число за нею означає вміст міді, залишком (до 100%) є цинк.

Приклад:

Л86 – латунь, міді 86%, цинку – 14%;

Л59 – латунь, міді 59%, цинку – 41%.

Леговані багатокомпонентні латуні маркуються з врахуванням технологічних властивостей.

В ливарних латунях після букви "Л" вказують цинк та його вміст у відсотках, далі іде перелік легуючих елементів з позначенням їх кількості, залишок (до 100%) є мідь.

Приклад:

ЛЦ40С – латунь, цинку 40%, свинцю – 1%, міді – 59%;

ЛЦ40МцЗЖ – латунь, цинку 40%, марганцю – 3%, заліза – 1%, міді – 56%.

Деформовані латуні маркують з вказуванням після букви "Л" всього переліку легуючих елементів після чого через дефіс їх кількості, причому на першій позиції вказують кількість міді, залишок (до 100%) є цинк.

Приклад:

ЛС59-1 – латунь, міді 59%, свинцю – 1%;

ЛАЖ60-1-1 – латунь, міді 60%, алюмінію – 1%, заліза – 1%.

Бронзи маркуються буквами "Бр", далі слідує буквене і числове позначення елементів, причому кількість міді не вказується, а визначається по різності до 100%.

В марках бронзи, оброблюваної тиском (деформована) після букв Бр стоїть буквене позначення легуючих елементів в порядку зменшення їх концентрацій, а далі в тій же послідовності через дефіс вказується їх кількість.

Приклад:

БрОФ10-1 – бронза олов'яниста, олова – 10%, фосфору – 1%, міді – 89%;

БрКМцЗ-1 – бронза кремениста, кремнію – 3%, марганцю – 1%, міді – 96%.

В ливарних бронзах після кожного буквеного позначення легуючого елемента вказується його вміст у %.

Приклад:

БрО4Ц4С17 – бронза олов'яниста, олова 4%, цинку – 4%, свинцю – 17%, міді – 75%.

БрС30 – бронза свинцева, свинцю 30%, міді – 70%.

БрА10ЖЗМц2 – бронза алюмінієва, алюмінію – 10%, заліза – 3%, марганцю – 2%, міді – 85%.

Маркування алюмінієвих сплавів.

Алюміній маркують буквою А і цифрами, що позначають частки відсотка понад 99,0% АІ.

Залежно від ступеню чистоти первинний алюміній згідно ГОСТ 11069-74 буває особливої (А999), високої (А995, А95) і технічної чистоти (А85, А87Е і ін.), буква "Е" позначає підвищений вміст заліза і знижене кремнію.

Алюмінієві сплави поділяють на ті, що деформуються і ливарні. Ті і інші можуть бути зміцнювані термічною обробкою і не зміцнювані.

До алюмінієвих сплавів що деформуються, не зміцнюваних термообробкою, відносяться сплави системи АІ – Мп і АІ – Мг.

До алюмінієвих сплавів, що деформуються, зміцнюваних термічною обробкою, відносяться сплави системи АІ – Сu – Мг з добавками деяких елементів (дюралюміній, кувальні сплави), а також високоміцні і жароміцні сплави складного хімічного складу.

При маркуванні сплавів алюмінію аббревіатура марки деяких груп сплавів включає початкові букви, що входять до складу сплаву компонентів і цифри, що вказують вміст легуючого елемента у відсотках. Для деяких сплавів до аббревіатури марки сплаву входять букви з технологічної назви сплаву.

Буквами "АВ" і "АД" позначають авіаль – деформовані сплави.

Буквою "Д" позначають дюралюміній.

Буквами "АК" позначають кувальні сплави.

Приклад:

AK4 – кувальний алюмінієвий сплав деформований, зміцнювальний, №4;

AK8 – кувальний алюмінієвий сплав деформований, зміцнювальний №8;

Д1 – дюралюміній деформований, зміцнювальний №1;

Д16 – дюралюміній деформований, зміцнювальний №16;

АМг6 – деформований, не зміцнювальний сплав №6.

Іноді сплави алюмінію маркують по хімічному складу: в цьому випадку "М" позначає мідь, "К" - кремній, "Ц" - цинк, "Н" - нікель; цифра - середнє % вміст елемента.

Приклад:

AK7M2 – Si - 7%, Cu – 2%, основа Al;

AK21M2,5H2,5 – Si – 21%? Cu – 2,5%, Ni – 2,5%, основа Al;

AK4MЦ6 – Si – 4%, Cu – 1%, Zn – 6%, основа Al.

Ливарні алюмінієві сплави (ГОСТ 2685-75) – силуміни маркуються буквами "АЛ" з подальшим порядковим номером: АЛ2, АЛ9, АЛ13, АЛ22, АЛ30.

Маркування алюмінієвих антифрикційних сплавів (ГОСТ 14113-78) здійснюється буквою "А" і початковими буквами елементів що входять їх складу. А0 9-2, А0 6-1 – у вказану кількість входять основа – алюміній, олово і мідь (перша цифра – олово, друга – мідь, у %)

АН - 2,5 – основа алюміній і нікель, 2,7- 3,3% Ni

АСМТ – алюміній, мідь, сурма і телур.

Приклад: Д1, Д12, Д18

Титан і його сплави.

Титан - тугоплавкий метал з невисокою щільністю. Питома міцність титана вище, ніж у багатьох легованих конструкційних сталей, тому при заміні сталей титановими сплавами можна при рівній міцності зменшити масу деталі на 40%. Титан добре обробляється тиском, зварюється, з нього можна виготовити складні виливки, але обробка різанням ускладнена.

Технічно чистий титан виготовляють трьох марок ВТ1-00 (99,53%Ti), ВТ1-0 (99,46% Ti), ВТ 1 (99,44% Ti).

Для отримання сплавів з поліпшеними властивостями його легують алюмінієм, хромом, молібденом, ванадієм, марганцем, у невеликій кількості кремнієм. Титан і його сплави маркують буквами "ВТ" і порядковим номером: ВТ4, ВТ8, ВТ14.

П'ять титанових сплавів позначено інакше: ОТ4-0, ОТ4, ОТ4-1, ПТ-7М, ПТ-3В.

Магній і його сплави.

Серед промислових металів магній володіє найменшою щільністю. Магній і його сплави нестійкий проти корозії, при підвищенні температури магній інтенсивно окислюється і навіть займається. Він має малу міцність і пластичність, тому як конструкційний матеріал чистий магній не використовується.

Для підвищення хіміко-механічних властивостей в магнієві сплави вводять алюміній, цинк, марганець і інші легуючі добавки.

Магнієві сплави підрозділяють на ті, що деформуються (ГОСТ 14957-76) і ливарні (ГОСТ 2856-79).

Перші маркуються буквами "МА", другі "МЛ". Після букв указується порядковий номер сплаву у відповідному ГОСТ.

Приклад:

МА1 – деформований магнієвий сплав №1;

МЛ19 – ливарний магнієвий сплав №19

Антифрикційні свинцево-олов'яні сплави.

Ця група сплавів використовується для підшипників ковзання, та інших вузлів тертя. Сплави на основі свинцю олова і сурми отримали назву **бабіти**.

Їх маркують буквою "Б" з вказуванням кількості м'якої основи.

Приклад:

Б88 – основа Pb- 88%, Sn, Sb, Cu разом – 12% ;

Б16 – основа Pb- 84%, Sn, Sb разом – 16%.

До групи антифрикційних сплавів відносять цинкові сплави з алюмінієм, міддю і магнієм (0,03 – 0,06%Mg). Ці сплави маркують з вказуванням хімічного складу.

Приклад:

ЦАМ 10-5 – основа Zn, 10% Al, 5% Cu;

ЦАМ 9,5-1,5 - основа Zn, 9,5% Al, 1,5% Cu.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомить з принципами маркування кольорових сплавів.
2. Проаналізувати вплив легуючих елементів на властивості сплавів.
3. Для заданих марок сплавів розкрити позначення та надати характеристику сплаву.
4. Зробити висновки.

Зміст звіту по лабораторній роботі

Зміст по лабораторній роботі повинен містити:

- короткі відомості про принципи маркування кольорових сплавів;
- виконання індивідуального завдання по розкриттю марок заданих сплавів.

Контрольні питання

1. Що таке марка сплаву?
2. Які принципи покладені в основу маркування мідних сплавів?
3. Дати визначення латуні та бронзи.
4. Як в марці алюмінієвих сплавів вибивається технологічне призначення?
5. Чим відрізняються прості і спеціальні сплави?
6. На якій основі сформовані антифрикційні сплави, як це відображується при маркуванні?
7. Як маркують сплави титану і магнію?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9

Тема: Термічна обробка вуглецевих сталей

Мета роботи: Ознайомитися з основними методами термічної обробки сталі. Отримати залежність твердості сталі від швидкості охолодження, температури нагріву і температури відпущення.

Теоретична частина

Властивості сплавів залежать не тільки від їх хімічного складу, але і від структури (внутрішньої будови). Сталь відноситься до групи сплавів, у яких структура може бути достатньо легко змінена за допомогою термічної обробки.

Термічна обробка полягає в нагріві сплавів до певної температури, витримці їх при цій температурі і подальшому охолодженні. Причому, якщо в сплавах (а до них відносяться і сталі) при нагріві і охолодженні в твердому стані відбуваються фазові перетворення, то за допомогою термічної обробки можна в широких межах змінювати їх механічні властивості.

Залежно від умов термічної обробки сталі одного і того ж хімічного складу можна отримати самі різні співвідношення характеристик міцності, пластичності, пружності і в'язкості. З цією метою застосовують наступні види термічної обробки:

Відпалювання - нагрів сталі вище за температуру фазових перетворень, витримка і повільне охолодження (частіше з піччю). Відпалювання застосовується для отримання рівноважної структури, зменшення твердості і внутрішніх напруг, поліпшення оброблюваності різанням.

Нормалізація – це різновид відпалювання, що полягає в нагріві сталі вище за температуру фазових перетворень, витримці та охолодженні на повітрі.

Гартування - нагрів сталі вище за температуру фазових перетворень, витримка і охолодження із швидкістю більше критичної швидкості охолодження $V_{кр}$, з метою отримання максимальної міцності, твердості, зносостійкості тощо.

При охолодженні сталі, нагрітої до високої температури, можливі два варіанти перетворення аустеніту:

- **евтектоїдне** (дифузійне) перетворення, в результаті якого утворюється суміш фериту і цементита і виникають фази з різним вмістом вуглецю. Таке перетворення відбувається при відпалі та нормалізації;

- **бездифузійне** перетворення відбувається при швидкому охолодженні в результаті поліморфного перетворення $Fe_{\gamma} \rightarrow Fe_{\alpha}$ утворюється структура мартенситу - пересиченого твердого розчину вуглецю в Fe_{α} . Оскільки це перетворення не супроводжується дифузією, то в кристалічних ґратках Fe_{α} збережеться стільки вуглецю, скільки його було в аустеніті. Такий характер перетворення аустеніту реалізується при гартуванні.

Швидкість охолодження, при якій не відбувається дифузійного розпаду аустеніту і утворюється структура мартенситу, називається критичною швидкістю охолодження $V_{кр}$. Тому для гартування сталі, нагрітої до аустенітного стану, необхідна швидкість охолодження, перевищуюча $V_{кр}$.

Структура мартенситу, отримана після гартування, є нестійкою. Вона має високу міцність, твердість, але при цьому має дуже великі внутрішні напруги і крихкість. Для зменшення внутрішніх напруг і отримання необхідного комплексу механічних властивостей після гартування проводять відпусчення.

Відпусчення - нагрів загартованої сталі нижче за температуру фазових перетворень. При відпусненні нестійка структура мартенситу розпадається і переходить в більш стабільний стан. При цьому структура і властивості обробленої сталі залежать від температури відпусчення. Чим вище температура відпусчення, тим менше твердість і міцність, але більше пластичність і в'язкість сталі.

Температура нагріву при термічній обробці сталі визначається по діаграмі стану Fe - Fe₃C (рис. 1). В практиці термічної обробки прийнято називати горизонтальну лінію PSK (727°C) лінією A1; лінію GS – A3; а лінію SE – Acm.

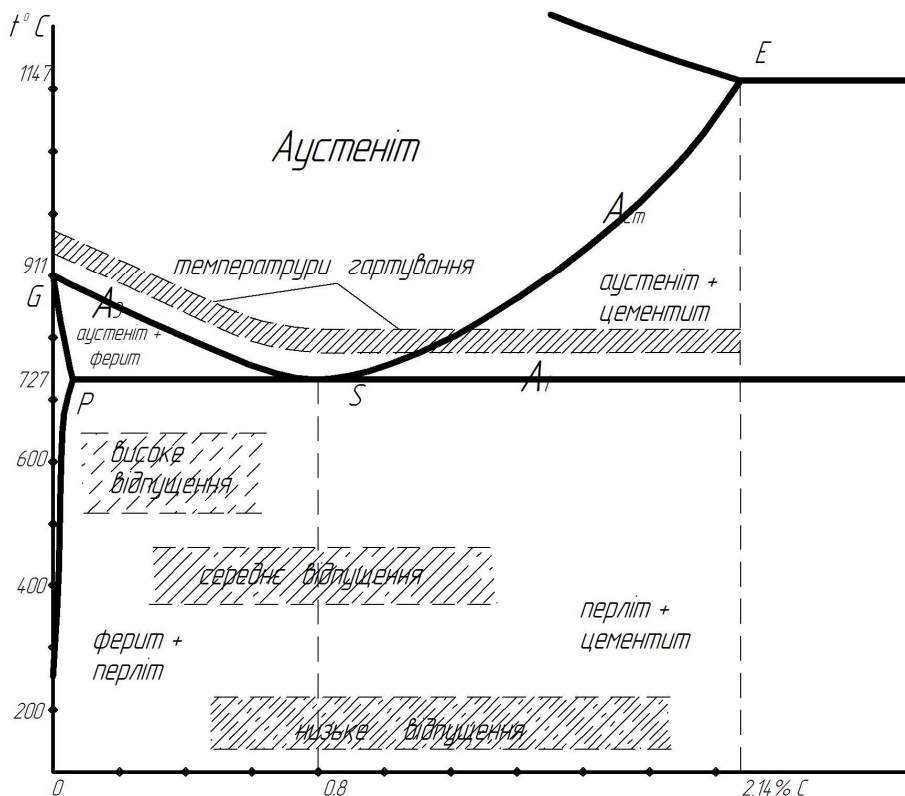


Рисунок 1. Фрагмент діаграми Fe – Fe₃C і інтервали температури нагріву сталі при термічній обробці.

Якщо при термічній обробці сталь нагрівають вище лінії A3 – Acm, то таку термічну обробку називають **повною**. Якщо нагрів проводять вище лінії A1, то нижче лінії A3 – Acm, термічну обробку називають **неповною**.

Для доєвтектоїдних сталей застосовується повна термічна обробка.

При відпалі, нормалізації і гартуванні оптимальна температура нагріву доєвтектоїдних сталей складає $A3 + (30...50^\circ)$. При цій температурі вихідна структура сталі складається з дрібних зерен аустеніту.

При повільному охолодженні відбувається дифузійний розпад аустеніту, тому доєвтектоїдна сталь після відпалу одержує рівноважну структуру фериту і перліту. Після нормалізації структура сталі аналогічна відпаленій, але через прискорене охолодження вона дещо дрібніша, що викликає незначне підвищення твердості і міцності.

Для перевищення критичної швидкості охолодження при гартуванні вуглецевих сталей часто використовують як охолоджувач – воду. Структура доєвтектоїдної сталі після гартування з температури $A3 + (30...50^\circ)$ – дрібно голчастий мартенсит (2 - 5% аустеніту, що залишається завжди після гартування, на властивості не впливають).

Температура нагріву сталі при гартуванні має важливе значення. Якщо доєвтектоїдну сталь нагрівати значно вище за лінію $A3$ (перегріти), то відбудеться помітне зростання зерен аустеніту. В результаті при гартуванні утворюється крупногольчатий мартенсит. Такий мартенсит має знижену твердість, міцність і підвищену крихкість.

При гарті доєвтектоїдних сталей з температурою вище $A1$, але нижче $A3$ (неповному гартуванні) в структурі окрім мартенситу збережеться м'який ферит, що приводить до зниження міцності і твердості сталі.

Якщо вуглецеві сталі гартувати в мінеральному маслі, то швидкість охолодження буде не тільки менше ніж при охолодженні у воді, але і менше за критичну швидкість охолодження $V_{кр}$. При такому охолодженні частина аустеніту розпадатиметься дифузійним шляхом на мілкодисперсну суміш фериту і цементиту – троостит. Аустеніт що залишився, досягши температури M_n , перетворюється на мартенсит. Структура, що складається з мартенситу і трооститу, поступається по твердості і міцності однорідній мартенситній.

Доєвтектоїдні сталі є називають конструкційними – з них виготовляють деталі машин (вали, шестерні, пружини і т.д.) і різні конструкції.

Заєвтектоїдні сталі є інструментальними. З них виготовляють різний ріжучий, штамповий і вимірювальний інструмент: різці, свердла, матриці, пуансони, лінійки, скоби і т.д. Інструмент повинен мати високу міцність, твердість, зносостійкість, стабільність розмірів.

Для заєвтектоїдних сталей застосовують неповну термічну обробку. При цьому їх нагрівають з метою відпалу або гарту до температури $A3 + (30...50^\circ)$. При такій температурі структура заєвтектоїдної сталі складається з аустеніту і цементиту. При відпалі в результаті зетектоїдного перетворення аустеніт перетворюється на перліт, і структура заєвтектоїдної сталі складається з перліту і цементиту.

Після гартування заєвтектоїдна сталь має структуру мартенситу і цементита з невеликою кількістю залишкового аустеніту. Наявність цементиту в структурі інструментальної сталі додатково підвищує її твердість і зносостійкість (твердість цементиту більше твердості мартенситу). Нагрів

заевтектоїдних сталей вище за лінію A_{cm} (повна термічна обробка) не застосовується. Повільне охолодження (відпалювання) з температурою вище A_{cm} приводить до утворення структури з дуже грубою цементитною сіткою і підвищеною крихкістю. Гартування з такої температури приводить до утворення крупногольчатого мартенситу і підвищеної кількості залишкового аустеніту, в результаті сталь набуває зниженої твердості, міцності і підвищену крихкість.

Термічна обробка загартованої сталі закінчується відпусненням. Залежно від призначення і умов роботи деталей для забезпечення необхідного комплексу механічних властивостей застосовують три види відпуснення:

Низькотемпературне відпуснення ($t = 150 - 200^{\circ}\text{C}$) служить для зменшення внутрішніх напруг, крихкості при збереженні високої твердості і міцності. Мартенсит гартування перетворюється на мартенсит відпуснення. Цей вид відпуснення застосовують, як правило, для ріжучого і вимірювального інструменту. Залежно від вмісту вуглецю в сталі твердість мартенситу складає 550 - 650 НВ.

Середньотемпературне відпуснення ($t = 300 - 450^{\circ}$) приводить до розпаду мартенситу і утворення високодисперсної суміші фериту і цементиту, яка називається трооститом відпуснення. Структура трооститу має знижену міцність і підвищену в'язкість в порівнянні з мартенситом. Сталь із структурою троостита відпуснення характеризується найвищою пружністю серед інших структур. Тому таке відпуснення застосовується для ресор і пружин різного призначення. Твердість троостита знаходиться в межах 400 - 550 НВ.

Високотемпературне відпуснення ($t = 450 - 600^{\circ}\text{C}$) приводить зростання цементитних частинок, що з'явилися при температурі середнього відпуснення. Така, менш дисперсна, суміш фериту і цементиту називається сорбітом відпуснення. Сорбіт має оптимальне поєднання високої пластичності і ударної в'язкості з гарною міцністю. Твердість сорбіту 250 - 350 НВ. Термічна обробка, що складається з гартування і високого відпуснення, називається **поліпшенням**. Більшість деталей машин відповідального призначення піддають поліпшенню.

Порядок виконання роботи

1. Вивчити основні види термічної обробки сталі. З'ясувати їх критичні точки.
2. Вивчити технологію проведення різних видів термічної обробки.
3. Для виконання роботи одержують підготовлені зразки доевтектоїдної вуглецевої сталі 45 (0,45%С) і заевтектоїдної сталі У10 (1,0%С). Досліджують їх структуру та вимірюють їх твердість. Дані заносять в таблицю 1.

Таблиця 1

Властивості сталі до термічної обробки

Марка сталі	Структура	Твердість
Сталь 45		
Сталь У10		

4. Для дослідження впливу температури гартування на властивості сталі 45 зразки нагрівають до температур: 600, 770, 850, 1000°C, витримують 15 хвилин і охолоджують у воду.
5. Для дослідження впливу температури гартування на властивості заевтектоїдної сталі У10 зразки нагрівають до температур: 600, 770, 1000°C, витримують 15 хвилин і охолоджують у воду.
6. Охолоджені зразки досуха витирають, зачищають з двох сторін наждачним папером і вимірюють твердість. Дані впливу температури гартування на властивості сталі заносять в таблицю 2.

Таблиця 2.

Вплив температури гартування на властивості сталі

t °C	Твердість	t °C	Твердість
600		600	
770		770	
850		1000	
1000			

7. За отриманими даними будують криві зміни твердості загартованої сталі залежно від температури нагріву.
8. Для вивчення впливу швидкості охолодження на міцність і твердість сталі зразки із сталі 45 нагрівають до 850°C і охолоджують в різних середовищах:
 - один - у воді,
 - другий - в маслі,
 - третій - на повітрі.
9. Вимірюють їх твердість, результати заносяться в таблицю 3.

Таблиця 3

Вплив охолоджувального середовища на властивості сталі

Марка сталі	охолоджувач	твердість
Сталь 45	вода	
	масло	
	повітря	

10. Для вивчення впливу температури відпущення на твердість загартованої сталі три зразки із сталі 45 гартують з температури 850°C у воду, вимірюють твердість і проводять відпущення при різних температурах:
 - один зразок відпускають при 150°,
 - другий - при 350°,
 - третій - при 600°.
11. Зразки витримують 45 хвилин. Охолоджують на повітрі і вимірюють твердість. Дані заносять в таблицю 4. За отриманими даними будують криву, залежність твердості сталі від температури відпущення.

Вплив відпущення на властивості загартованої сталі

Марка сталі	t°C відпущення	твердість
Сталь 45	150	
	350	
	600	

12. Зробити висновки.

Зміст звіту по лабораторній роботі

Звіт по лабораторній роботі повинен містити:

- короткі дані та теорії та технології термічної обробки сталі;
- фрагмент діаграми Fe – Fe₃C з визначенням критичних точок для сталі 45 сталі У10;
- результати впливу різних режимів на властивості сталі при термічній обробці, тобто заповнені таблиці 1 – 4, графіки залежностей впливу режимів термічної обробки на твердість сталі;
- обґрунтовані висновки по проведеним дослідженням.

Контрольні питання

1. Що називають термічною обробкою, відпалом, нормалізацією, гартуванням, відпущенням, критичною швидкістю охолодження, поліпшенням?
2. Які структури отримують конструкційні сталями та інструментальним сталі при різних видах термічної обробки?
3. З якою метою проводиться термічна обробка сталі?
4. У яких сплавів можна підвищити міцність при термічній обробці?
5. Як і чому змінюється твердість доевтектоїдних сталей при зміні температури гартування?
6. Як і чому змінюється твердість заевтектоїдних сталей при зміні температури гартування?
7. Яка температура гартування дає максимальну твердість в доевтектоїдних і заевтектоїдних сталях?
8. Як змінюються механічні властивості сталі при підвищенні температури відпущення?
9. Чим відрізняється структура доевтектоїдних і заевтектоїдних сталей після гартування в масло від гартування в воді?
10. Чому при гартуванням в масло в порівнянні з гартуванням у воду твердість сталі знижується?
11. Які структури і механічні властивості придбаває сталь після поліпшення?
12. З якою метою застосовують відпалювання сталей, нормалізацію?
13. Яка остаточна термічна обробка звичайно проводиться для деталей машин і інструменту.
14. Який дефект виходить при перегріві сталі?
15. Які лінії на діаграмі Fe – Fe₃C позначаються А1, А3, Асг?

ЗМІСТ

	Стор.
Лабораторна робота № 1.	
Визначення показників міцності і пластичності сталі випробуванням на розтяг.....	3
Лабораторна робота № 2.	
Визначення твердості матеріалів.....	7
Лабораторна робота № 3.	
Визначення мікротвердості.....	15
Лабораторна робота № 4.	
Макроскопічний аналіз сплавів.....	20
Лабораторна робота № 5.	
Аналіз діаграми стану системи Fe –Fe ₃ C.....	26
Лабораторна робота № 6.	
Дослідження мікроструктури залізовуглецевих сплавів.....	32
Лабораторна робота № 7.	
Класифікація і маркування залізовуглецевих сплавів.	36
Лабораторна робота № 8.	
Маркування кольорових сплавів.....	41
Лабораторна робота № 9.	
Термічна обробка вуглецевих сталей.....	45