


ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

МАТЕРІАЛОЗНАВТВО

методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт

Запоріжжя 2024



УДК 669.01 (072)
М33

Рекомендовано Науково-методичною радою
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ
ПОЛІТЕХНІКА»
(протокол № 1 від 27.09.2024 р.)

Укладачі

Пашинський В.В., докт. техн. наук, доцент
Бойко І.О, канд.техн.наук, доцент
Пашинська О.Г., докт. техн. наук, ст. наук. співр.

М33 Матеріалознавство : методичні вказівки до виконання лабораторних робіт /
уклад.: В. В. Пашинський, І. О. Бойко, О. Г. Пашинська. Запоріжжя :
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2024. 65 с.

В методичних рекомендаціях наведено тематику лабораторних робіт,
методичні пояснення щодо порядку та приклади їх виконання, вимоги до
оформлення звітів, питання для самоперевірки тощо.

УДК 669.01 (072)

© ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2024



ЗМІСТ

ВСТУП	4
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1 Твердість та методи її вимірювання	5
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2 Визначення механічних характеристик при статичному навантаженні	10
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3 Визначення механічних характеристик при динамічних випробуваннях	17
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4 Дослідження макроструктури та мікроструктури вуглецевої сталі	23
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5 Дослідження мікроструктури чавунів	31
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6 Термообробка вуглецевих сталей	36
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7 Алюміній та сплави на його основі	44
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №8 Конструкційні неметалеві матеріали	54
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №9 Дослідження наноструктурних металевих матеріалів	60
ДОДАТОК А ПРИКЛАД ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА	64




ВСТУП

Лабораторний практикум дисципліни «Матеріалознавство» містить дев'ять лабораторних робіт, які виконуються дистанційно за заняттях та під час офлайн сесії.

Основою кожної роботи є теоретична частина, устаткування, методики дослідження, прикладні програми та нормативна документація, які використовуються в практичній роботі лабораторій підприємств

Для кожної роботи наведені завдання, теоретична частина, в якій описані основна інформація (теоретичні основи процесів, що вивчаються, методики досліджень та ін.), детально описані вимоги до виконання роботи. Розміщено перелік літературних джерел та наведено контрольні питання для самоперевірки знань студентів.

Рекомендовано для студентів ОПП за спеціальностями 132 «Матеріалознавство» та 136 «Металургія» другого (бакалаврського) рівня освіти.



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

Твердість та методи її вимірювання

Мета роботи: вивчити методи оцінювання твердості металів та сплавів, будову приладів для її вимірювання та засвоїти техніку визначення твердості. Експериментально вивчити вплив вуглецю, що міститься у сталі, на її твердість.

ЗАВДАННЯ

1. Згідно ДСТУ ISO 6506-4 «Металеві матеріали. Визначення твердості за Брінеллем. Частина 4. визначити твердість за методом Брінелля.
2. Визначити твердість НВ розрахунковим методом згідно варіантів завдань (таблиця 1).

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Твердість – це здатність матеріалу чинити опір впровадженню в нього іншого, більш твердого тіла під дією навантаження. Випробування на твердість може проводитися на деталі без руйнування цілісності металу і його використовують як метод контролю якості металу в готових виробах.

Для визначення твердості металів найбільше поширення мають засоби вдавлювання, при яких у випробуване тіло під відповідним навантаженням вдавлюється інше тіло (індентор). Про твердість судять за величиною отриманого відбитка.

Існують такі основні засоби вимірювання твердості:

- 1) вдавлюванням сталеві кульки з визначенням твердості за величиною поверхні залишеного відбитка;
- 2) вдавлюванням алмазного конуса (або сталеві кульки) з визначенням твердості за глибиною проникнення індентора;
- 3) вдавлюванням алмазної піраміди з визначенням твердості за величиною отриманого відбитка.

Випробування деталей на твердість завдяки своїй простоті є поширеним методом масового контролю якості виробів. В основному зі збільшенням вмісту вуглецю у сталі зростає її твердість.

Вимірювання твердості за методом вдавлювання сталеві кульки (за Брінеллем).

Випробування твердості за цим методом проводиться вдавлюванням сталеві кульки діаметром 10, 5 і 2,5 мм. У поверхню зразка. В результаті на цього на поверхні зразка з'являється відбиток.

Відношення сили вдавлювання до площі отриманого відбитка приймається за твердість НВ:

$$HB=P/F \quad (1.1)$$

де НВ - число твердості за Брінеллем, МПа;
Р - навантаження, Н;

F - кульова поверхня відбитка (сегмента), мм^2 .

Як відомо з геометрії, поверхня кульового сегмента (мал.1.1) дорівнює

$$F = \pi \cdot D \cdot h,$$

де D - діаметр кульки, що вдавлюється, мм ;

h - глибина відбитка, мм .

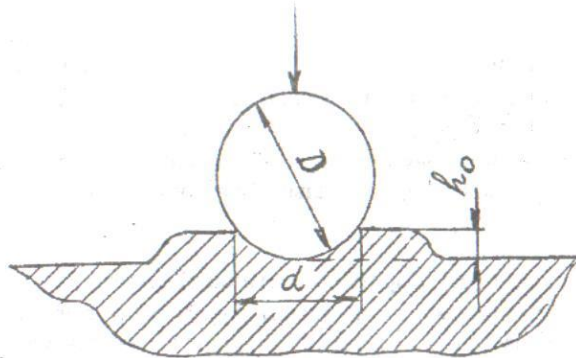


Рисунок 1.1 – Схема випробування твердості за методом Брінеля



Рисунок 1.2 – Схема твердоміра Брінеля

У зв'язку з тим, що глибину відбитка h заміряти важко, простіше виміряти діаметр відбитка. Якщо виразити h через D і d) і підставити цей вираз в формулу 1.1 отримаємо:

$$HB = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot d \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1.2)$$

Для прискорення підрахунку твердості за Брінеллем існують спеціальні таблиці, у яких значення твердості HB дані в залежності від діаметра відбитка для відповідних умов випробування. Умови випробування (значення P і D , тривалість витримки під навантаженням) стандартизовані і повинні

вибиратися відповідно до табл. 1.1. Приклад позначення твердості за Брінеллем - HB350 (твердість за Брінеллем 350 кгс/мм², або 3500 МПа).

Вимірювання твердості за методом вдавлювання алмазного конуса або сталеві кульки (за Роквеллом)

В деяких випадках не представляється можливим визначити твердість за Брінеллем, щоб уникнути деформування індентора. У цьому випадку вдавлюють алмазний конус із кутом при вершині 120° і радіусом заокруглення 0,2 мм або рідше - сталеву кульку діаметром 1,586 мм.

Навантаження при цьому прикладається відповідно 1500 або 1000 Н. Алмазний конус застосовується для випробування твердих матеріалів, кулька - для м'яких. За величину твердості беруть пропорційне число, обернене глибині вдавлювання (індентування) конуса. В залежності від умов випробування (типу індентора та навантаження) визначається твердість матеріалу за Роквеллом. Умови для випробування за Роквеллом стандартизовані ДСТУ ISO 6508-1:2013. Галузі застосування методу Роквелла, умови випробування і принцип позначення твердості приведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.1 - Товщина дослідного зразка і тривалість витримки під навантаженням при визначенні твердості по Брінеллю

Матеріал	Твердість HB, кгс/мм ²	Товщина дослідного зразка, мм	Діаметр кульки, мм	Навантаження, P, кгс
Чорні метали	150 - 450	Більше 6	10	3000
		3 - 6	5	750
		менше 3	2,5	187
	Менше 150	Більше 6	10	1000
3 - 6		5	250	
менше 3		2,5	62,5	
Час витримки під навантаженням - 10 секунд				
Мідь, латунь, магнієві й алюмінієві сплави.	Більше 35	Більше 6	10	1000
		3 - 6	5	250
		менше 3	2,5	62,5
Час витримки під навантаженням - 30 секунд				
Алюміній, кольорові сплави	8 - 35	Більше 6	10	250
		3 - 6	5	62,5
		менше 3	2,5	15,6
Час витримки під навантаженням - 60 секунд.				

Таблиця 1.2 – Умови випробувань та принцип позначення твердості

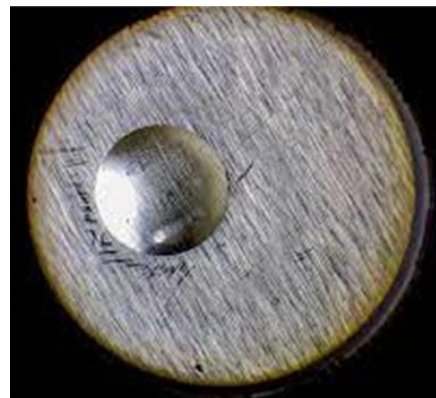
Приблизна твердість за Брінелем, HB	Позначення шкали за Роквеллом	Тип індентора	Навантаження, Н	Допустимі межі вимірювання твердості за шкалою Роквелла	Позначення твердості
60-230	B	Кулька	1000	25-100	HRB
230-700	C	Конус	1500	25-70	HRA
700	A	Конус	600	70	HRC

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

1. Провести вимірювання твердості на твердомірі ТШ. Спочатку зачистити наждаковим папером поверхню випробуваного зразка, встановити його на предметний столик. Відповідно до табл. 1.1 підібрати і установити необхідний індентор (кульку) і вантаж. Виставити предметний столик обертанням маховика приладу із випробуваним зразком до кульки до упору. При цьому створюється попереднє навантаження 1000 Н. Натисканням кнопки включити прилад. Після припинення дії навантаження прилад автоматично відключається. Опустити предметний столик, за допомогою мікроскопа-луи МПБ-2 (мал. 3) виміряти діаметр отриманого відбитка у двох взаємно перпендикулярних напрямках.



а



б

Рисунок 1.3 – Мікроскоп-луа МБП-2 (а) та зображення відбитку в окулярі (б)

2. Заповнити таблицю 1.3. за результатами експерименту і зробити висновки.
3. Провести розрахунок твердості згідно індивідуального варіанту завдань (таблиця 1.4) за формулою 1.2
4. Зробити висновки та відповіді на контрольні запитання.

Таблиця 1.3 - Результати експерименту

Марка сталі	Вміст вуглецю, %	Товщина металу, мм	Діаметр кульки, мм	Навантаження на кульку, Н	Діаметр відбитка, мм			Твердість, НВ
					1	2	3	
Ст.3 сп								
45								

Таблиця 1.4 – Варіанти завдань

№ вар.	Зусилля Р, кгс	Діаметр кульки D, мм	Діаметр відбитка d, мм
1	3000	10	5
2	1500	5	4
3	250	2,5	1,5
4	100	1	0,88
5	3000	10	5,2
6	1500	5	4,2
7	250	2,5	1,8
8	100	1	0,9
9	3000	10	5,4
10	1500	5	4,4
11	250	2,5	2,05
12	100	1	0,88
13	3000	10	5,2
14	1500	5	4,3
15	250	2,5	2,15

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які способи вимірювання твердості матеріалів Ви знаєте?
2. Чому для різних матеріалів використовуються не однакові способи вимірювання твердості?
3. Що таке індентор?
4. Чи прослідковується кореляція між міцністю та твердістю матеріалів?
5. Як залежить твердість від хімічного складу матеріалу?

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Холявко В. В., Владимирський І. А., Жабинська О. О. Фізичні властивості та методи дослідження матеріалів : навчальний посібник. Київ : Центр учбової літератури, 2017. 156 с.
2. Холявко В. В., Владимирський І. А. Механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів : підручник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 270 с.



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

Визначення механічних характеристик при статичному навантаженні

Мета роботи: Здобути практичні навички визначення механічних характеристик при статичних випробуваннях.

ЗАВДАННЯ

Після ознайомлення з матеріалом теоретичної частини цієї лабораторної роботи, а також з джерелами [1-3], з переліку рекомендованої літератури, виконати наступні завдання.

Завдання 1. Ознайомитися з лабораторною процедурою визначення механічних властивостей вуглецевих сталей при випробуваннях на розтягнення

Пояснення: На сьогоднішній день найбільш поширеними механічними випробуваннями матеріалів є випробування на одновісний розтяг, оскільки вони дозволяють у межах одного методу отримати механічні характеристики в умовах пружного та пластичного деформування матеріалу, а також значення напруження руйнування та величини критичної деформації. До переваг цього виду механічних випробувань слід також віднести його простоту та досить високу точність визначення напружень та деформацій.

Завдання 2. З використанням нормативної документації оцінити відповідність контрольованої продукції вимогам до її механічних властивостей

Пояснення: Питання визнання продукції якісною вирішується як встановлення відповідності фактичних значень параметрів (механічних властивостей) продукції вимогам тієї нормативної документації, по якій продукція виробляється. Один і той же аналіз може відповідати або не відповідати вимогам конкретного стандарту

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Методи випробувань на розтяг є стандартизованими. Існують окремі стандарти на випробування для кімнатної температури (ДСТУ EN 10002-1:2006, ДСТУ EN ISO 6892-1:2022), для підвищених (ДСТУ EN 10002-5:2006) і низьких та криогенних температур (ДСТУ 7305:2013). В даних стандартах сформульовані визначення характеристик, що оцінюються протягом випробування, подані типові форми і розміри зразків, описані основні вимоги до устаткування, методика проведення випробування і розрахунку результатів. Обговорені в стандартах основні вимоги до методики випробувань на одновісний розтяг варто розглядати як мінімальні. При виконанні, наприклад, дослідницьких робіт вони можуть бути значно підвищені. Дотримання стандартної методики випробувань особливо важливо на виробництві у тих випадках, коли результати є критерієм якості продукції чи її паспортними характеристиками.

Безпосередньо в процесі випробувань записуються діаграми розтягу зразка в координатах «навантаження (P) – видовження (U)» (рис. 2.1). Для полікристалічних матеріалів всі можливі форми цих кривих можна розділити на три типи (рис. 1). Діаграма типу I характерна для зразків, що руйнуються без суттєвої пластичної деформації. Діаграма типу II характерна для зразків, що рівномірно деформуються аж до руйнування. Діаграма типу III є найпоширенішою і характерна для зразків, в яких перед руйнуванням відбувається локалізація пластичної деформації – формується «шийка».

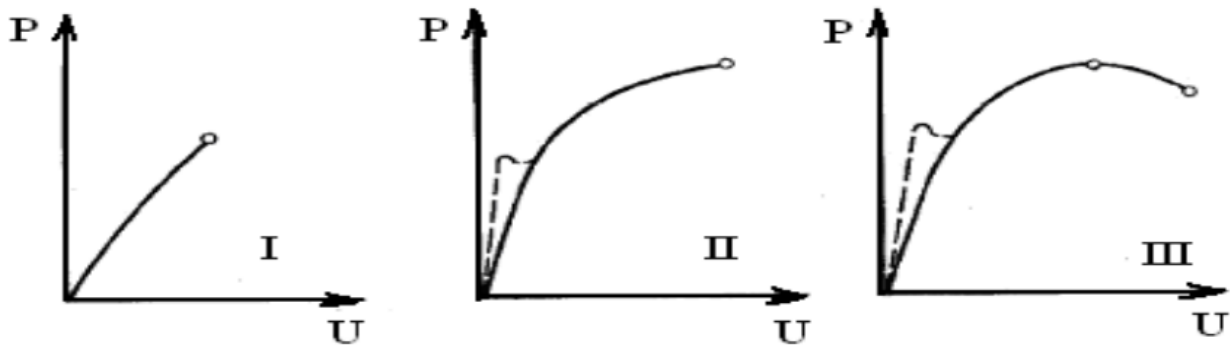


Рисунок 2.1 - Типи первинних діаграм випробувань зразків на одновісний розтяг

В залежності від властивостей матеріалу ці діаграми можуть мати “зуб” та “полічку” плинності, або монотонне зростання напруження при переході від пружної до пластичної деформації матеріалу (рис. 2.2). Ці діаграми є вихідними для побудови діаграм деформації та визначення характеристик міцності і пластичності, які в залежності від методики обробки експериментальних даних поділяються на умовні та істинні (рис. 2.3). Відмінність між істинними та умовними діаграмами полягає в тому, що перші побудовані в координатах “істинне напруження (S) – істинна деформація (ε)”, а другі – в координатах “умовне напруження (σ) – відносне видовження (δ)”. В умовах одновісного розтягу істинні напруження завжди перевищують умовні, оскільки при їх визначенні враховується зменшення площі поперечного перерізу зразка. Проте, за малих пружно-пластичних деформацій істинні та умовні напруження практично співпадають (рис. 2.3). В області деформацій за межею плинності істинні та умовні діаграми суттєво відрізняються. Це обумовлено тим, що істинні діаграми характеризують механічні властивості матеріалу, а умовні слугують лише для їх оціночного (попереднього) виявлення.

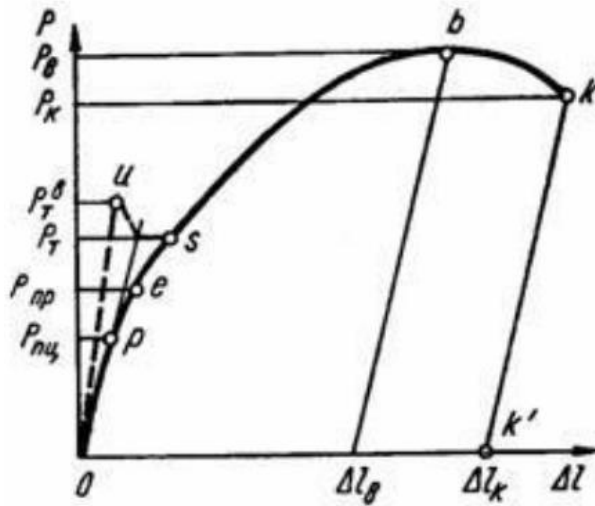


Рисунок 2.2 - Діаграми розтягу зразка з зубом та полочкою плинності чи без зубу та полочки плинності

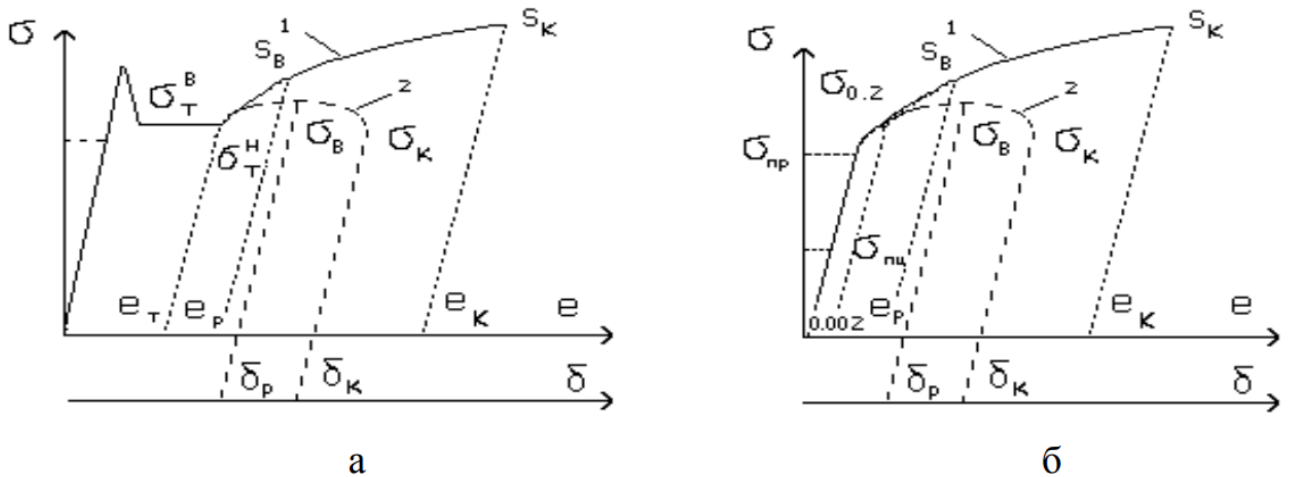


Рисунок 2.3 - Істинні (1) та умовні (2) діаграми деформації матеріалу а) із зубом та полочкою плинності, б) без зубу та полочки плинності

Методика випробувань та розрахункові співвідношення

Для випробувань на статичний одновісний розтяг найчастіше використовують розривні машини з механічним або гідравлічним приводом (рис.2.4). Загальний вид зразків приведено на рис. 2.5. Перевага цього типу машин полягає в тому, що вони здатні підтримувати постійну швидкість деформування зразка, що необхідно для коректного визначення характеристик міцності та пластичності матеріалів. Зазвичай при стандартних статичних випробуваннях швидкість деформації матеріалу обирають рівною $\sim 10^{-3} \text{ c}^{-1}$

Розривна машина AVORY



mip metinvest polytechnic

Універсальна розривна машина INSTRON 5585

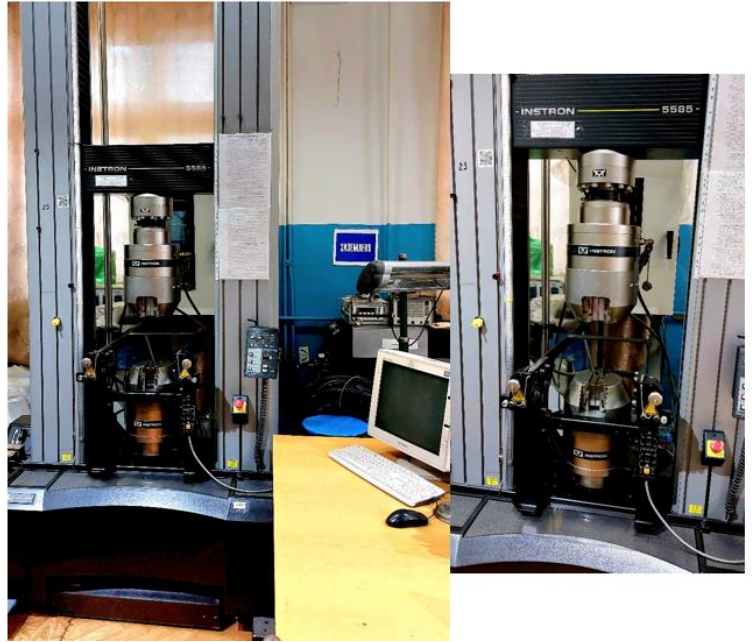


Рисунок 2.4 - Устаткування для проведення випробувань на розтягування

Зразки плоскі для випробування на розтяг для тонколистового прокату:



Зразки циліндричної форми для випробування на розтяг для товстостісового прокату (товщиною більше 16 мм):



Діаграма розтягнення, отримана під час випробування на розтяг на розривній машині Instron 5585

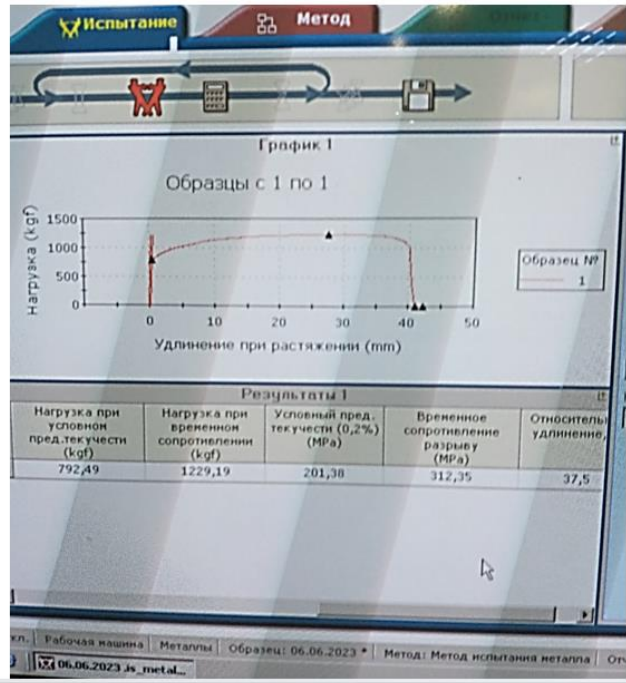


Рисунок 2.5 - Зразки для проведення випробувань на розтягування та діаграма випробувань

Основні характеристики, що визначаються при випробуваннях на розтяг

Механічні характеристики, що можуть бути визначені при випробуваннях на розтяг можуть бути розділені на три основні групи: характеристики міцності, пластичності та в'язкості

Перехід від пружної до пластичної деформації матеріалу характеризується чотирма критичними рівнями напружень, а саме

- межею пропорційності $\sigma_{пц}$;
- межею пружності $\sigma_{пр}$;
- верхньою $\sigma_{ТВ}$ та нижньою $\sigma_{ТН}$ межами плинності;
- умовною межею плинності $\sigma_{0,2}$ (для матеріалів, у яких відсутній "зуб" та "полічка" плинності).

Механічні властивості матеріалу при деформаціях поза межею плинності характеризуються:

- межею міцності $\sigma_{в}$;
- показником деформаційного зміцнення n ;
- рівномірною деформацією δ_r ;
- істинним S_k та умовним σ_k напруженнями руйнування;
- відносним звуженням Ψ .
- відносним подовженням δ

Площа поперечного перетину F_0 визначається за такими формулами:

для циліндричного зразка

$$F_0 = \pi d_0^2 / 4$$

для плоского зразка

$$F_0 = a_0 * b_0$$

де a_0 - початкова товщина; b_0 - початкова ширина зразка.

$$\begin{aligned}\sigma_{пц} &= P_{пц} / F_0; \\ \sigma_{0,05} &= P_{0,05} / F_0; \\ \sigma_{0,2} &= P_{0,2} / F_0; \\ \sigma_{Т} &= P_{Т} / F_0, \\ \sigma_{в} &= P_{max} / F_0;\end{aligned}$$

Якщо на діаграмі немає площадки текучості, то для обчислення *умовної межі текучості* необхідно провести графічні побудови на діаграмі (рис). Спочатку знаходять величину залишкової деформації, що дорівнює 0,2% від l_0 , далі відзначають відрізок на осі деформації, що дорівнює 0,2% від l_0 , і проводять лінію, паралельну пропорційного ділянки діаграми розтягування, до перетину з кривою розтягування. Навантаження $P_{0,2}$ відповідає точці їх перетину.



Іноді розраховується *істина напруга руйнування*. При цьому навантаження руйнування ділять на кінцеву площу поперечного перерізу зразка після руйнування F_k :

$$S_k = P_k / F_k$$

Всі розраховані таким чином величини є характеристиками міцності матеріалу.

Пластичність, тобто здатність деформуватися без руйнування, характеризується змінами розмірів зразка. При випробуванні на розрив визначають наступні характеристики пластичності:

відносне подовження

$$\delta = (l_k - l_0) / l_0 * 100\%$$

Важливо: відносне подовження, що визначено на коротких зразках, завжди вище, чим на довгих. Тому їх позначають δ_5 і δ_{10} відповідно

Іноді потрібно визначити рівномірне подовження $\delta_{рвн}$ (до моменту початку утворення «шийки» зразка). У цьому випадку значення l_k беруть те, що відповідає точці b на діаграмі розтягнення

відносне звуження

$$\Psi = (F_0 - F_k) / F_0 * 100\%$$

де l_k , F_k - відповідно, довжина робочої частини і площа поперечного перерізу зразка після розриву.

ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Порядок проведення роботи

1. Ознайомитись з конструкцією та принципом роботи універсальної випробувальної машини (розривної машини).
2. Виміряти розміри зразка. Встановити зразок в захвати розривної машини та провести випробування, записати діаграму розтягу зразка.
3. Розрахувати напруження і деформації та інші необхідні механічні характеристики.
4. Зафіксувати умовну діаграму деформації
5. Розрахувати похибки визначення основних механічних характеристик
6. Заповнити протокол випробувань (зразок на рис. 2.6)
6. Зробити висновки щодо рівня міцності, пружності, пластичності та здатності до деформаційного зміцнення досліджуваного матеріалу
7. Зробити висновок щодо відповідності результатів випробування вимогам нормативної документації

Результати механічних випробувань холоднокатаного прокату марки 08кп на розривній машині AVORY вносимо до Протоколу випробувань:

ПАО «Запорожсталь»

ЦНАПК - 41

Протокол механічних випробувань № 1

№ партії	№ зразок	Марка	Товщина	НД	σ_s кгс/мм ²	σ_b кгс/мм ²	δ_4 %	δ_5 %	φ %	Нити	Температура НРВ/100
14 463		08кп	1.6		36.0	34.5	35.0			d=0.49	51
14 138		08кп	1.8		35.5	34.0	34.0			d=0.49	

Рисунок 2.6 - Зразок протоколу випробувань

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які характеристики міцності та пластичності можливо визначити за результатами випробувань на одновісний розтяг?
2. Чим відрізняються процеси пластичної деформації матеріалу до та після межі міцності?
3. Поясніть причину відмінності ходу кривих істинної та умовної деформації зразка після досягнення межі міцності матеріалу.
4. Чому виникає на деформаційній кривій «зуб» та поличка плинності?
5. Як визначається, що матеріал, зразок якого був випробуваний, є якісним?

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Холявко В. В., Владимирський І. А., Жабинська О. О. Фізичні властивості та методи дослідження матеріалів : навчальний посібник. Київ : Центр учбової літератури, 2017. 156 с.
2. Холявко В. В., Владимирський І. А. Механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів : підручник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 270 с.
3. ДСТУ EN ISO 6892-1:2022 Металеві матеріали. Випробування на розтягування. Частина 1. Метод випробування за кімнатної температури (EN ISO 6892-1:2019, IDT; ISO 6892-1:2019, IDT). [Чинний від 2023-12-31]. Вид. офіц. Київ, 2022.



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

Визначення механічних характеристик при динамічних випробуваннях

Мета роботи: оволодіти методикою випробувань для визначення ударної в'язкості. Вивчити метод визначення схильності сталі до крихкого руйнування шляхом випробування на ударний вигин. Познайомитись з обладнанням для реалізації випробувань матеріалів на ударну в'язкість.

ЗАВДАННЯ

1. Провести випробування зразків на ударну в'язкість.
2. Розрахувати енергію поглиненого удару згідно табличних даних та ударну в'язкість з урахуванням площі поперечного перетину зразка.

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Динамічні випробування проводяться при впливі на зразок з великою швидкістю зростання діючого навантаження. Швидкість деформації дуже велика – від 10^2 до 10^3 с⁻¹. Динамічними називаються тому, що швидкість деформації суттєво вища, ніж швидкість процесів перерозподілу навантажень і деформацій в матеріалі, тому процеси пластичної деформації не встигають повністю реалізуватися. Матеріал веде себе, як більш крихкий. Тому властивості матеріалу суттєво відрізняються від властивостей при статичному навантаженні.

Основним методом динамічних випробувань є випробування на ударний вигин за Шарпі. Він регламентується ДСТУ EN 10045-1:2006. Суть методу полягає в ударному прикладенні навантаження до зразка, який випробується на вигин за триточковою схемою. При цьому сам зразок має спеціальний концентратор, розміщений на протилежній від удару стороні.

Маятник вагою P перед випробуванням піднімають на висоту h_1 . Звільнений від закріплення маятник вільно падає, руйнуючи зразок, встановлений на опорах. Частина енергії маятника витрачається на руйнування зразка, і після удару маятник піднімається на висоту h_2 , яка менше, ніж h_1 .

Робота, витрачена на руйнування зразка, визначається як різниця запасів енергії маятника до і після удару і визначається як KU, KV, KT в залежності від типу зразка, що випробується:

$$KU, KV, KT = P \times (h_1 - h_2), \text{ Дж},$$

де P – вага маятника, Н;

h_1 - висота підйому центра ваги маятника до удару, м;

h_2 - висота підйому центра ваги маятника після удару, м

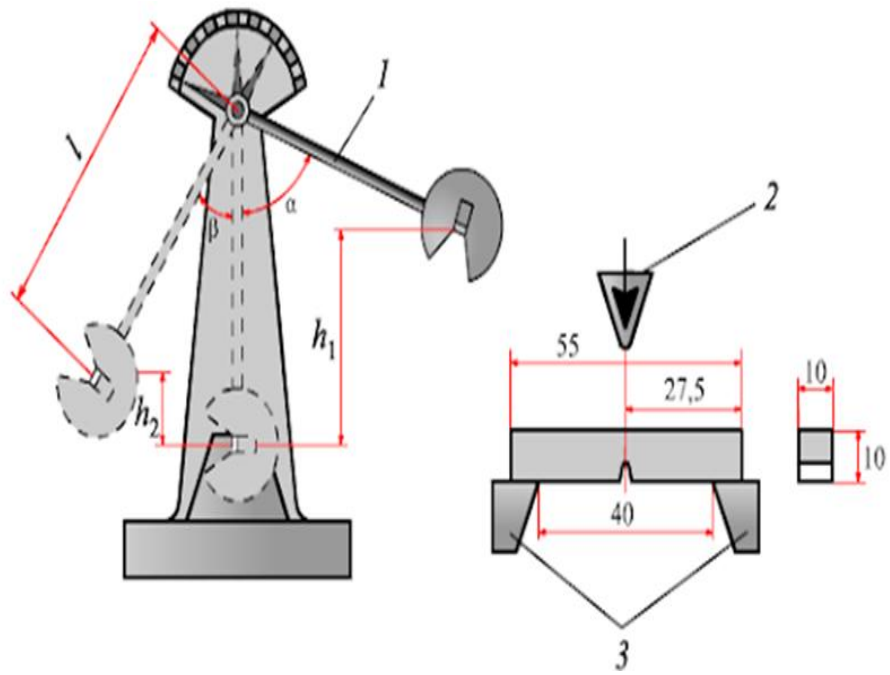


Рисунок 3.1 – Схема проведення досліджень матеріалів на ударну в'язкість



Рисунок 3.2 – Загальний вигляд маятнікового копра для випробувань матеріалів на динамічну міцність

Ударна в'язкість, яка позначається КСУ, КСВ, КСТ відповідно до типу зразка, розраховується за формулою:

$$КСУ, КСВ, КСТ = (KU, KV, KT) / F_0 \text{ (МДж/м}^2 \text{ або Дж/см}^2\text{)}$$

де F_0 – площа перетину зразка в місці розташування концентратора.

Для позначення роботи удару і ударної в'язкості при зниженій і підвищеній температурах вводиться цифровий індекс, який вказує температуру випробування. Цифровий індекс ставлять вгорі після буквених складових, наприклад KCV⁻⁴⁰.

Зразок з концентратором типу U має радіус при вершині концентратору $R=1\text{мм}$. Для отримання концентратору типу T спочатку Зразок з концентратором типу V має радіус при вершині концентратору $R=0,25\text{мм}$ робиться надріз з радіусом при вершині (Мал.3.3)

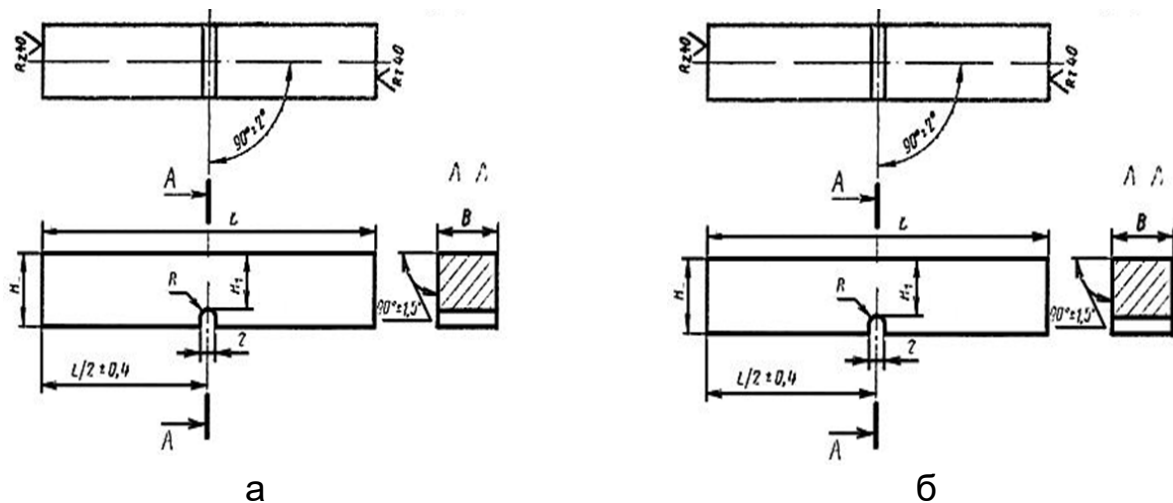
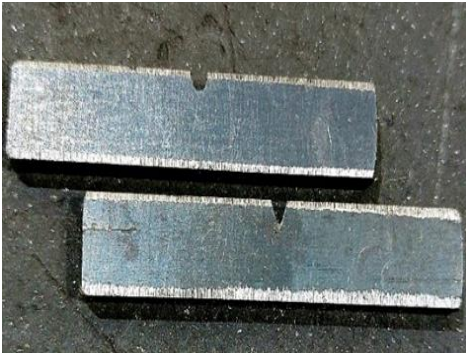


Рисунок 3.3 – Зразки для випробувань на ударну в'язкість з U-подібним (а) та V-подібним (б) надрізом

Зразки при випробуваннях на ударний вигин не є геометрично подібними на відміну від зразків для випробування на розтягування. Тому співставлення значень ударної в'язкості, отриманих на зразках різних типів неможливо. Також неможливо співставлення значень, отриманих на зразках одного типу, але при різних температурах. Тип зразка та температура випробування визначається в нормативній документації на конкретну продукцію і їх заміна неприпустима. Для забезпечення необхідної температури випробування зразки перед установкою на копер повинні бути переохолоджені (при температурі випробування нижче кімнатної) або перегріті (при температурі випробування вище кімнатної). Ступінь переохолодження або перегріву повинна забезпечувати необхідну температуру випробування і повинна визначатися експериментальним шляхом. Для нагріву використовують спеціальні печі, для охолодження можуть використовуватися спеціальні морозильні камери, або охолодження проводять в рідині (етилловий спирт), температуру якого понижують додаванням «сухого льоду» - твердого двоокису вуглецю, або додаванням рідкого азоту. Безпосереднє використання рідкого азоту або кисню недопустиме. При серійному контролі продукції використовують автоматичні системи, які за заданою програмою проводять нагрів чи охолодження зразків



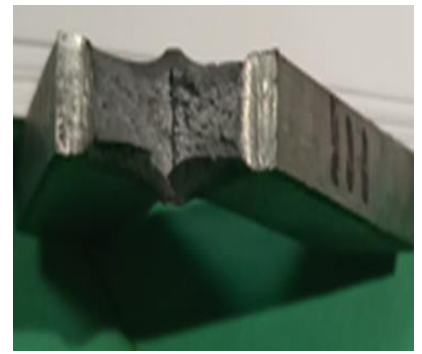
у кліматичній камері та механізовану подачу їх у копер для випробування, що забезпечує високу стабільність умов випробування.



а



б



в

Рисунок 3.4 – Зразки для визначення ударної в'язкості до (а) та після випробувань (б, в)

Сутність методу випробування на маятниковому копрі полягає в установці зразка з концентратором напруги (надрізом) посередині, підйомі маятника і руйнуванні зразка при вільному падінні маятника. Під час підйому маятника фіксується кут α (кут підйому). Після руйнування зразка маятник відхиляється на кут β . Далі розраховується робота удару K , витрачена на руйнування зразка, і ударна в'язкість.

ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Випробування проводяться на маятниковому копрі. Піднятий маятник копра має певний запас потенціальної енергії. Відпущений маятник ламає своїм ножем встановлений зразок, після чого, володіючи надлишком енергії, піднімається на деяку висоту.

Роботу A_k , витрачену на руйнування, можна визначити за як масу копра помножену на різницю висот падіння маятнику і його підйому після руйнування зразка.

$$A_k = m_k * g * (H_o - H_n) \text{ [Дж]},$$

де m_k – маса маятнику, кг

g – прискорення вільного падіння, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$

H_o – початкова висота маятнику, м

H_n – висота підйому маятнику після удару, м

Ударна в'язкість KC матеріалу зразка обчислюється за формулою:

$$KC = A_k / F_0 \text{ [Дж/см}^2\text{]}$$

де F_0 – площа перерізу зразка в зоні надрізу, $F_0 = h * b \text{ [см}^2\text{]}$

В ході даної лабораторної роботи необхідно виконати наступні дії:

1. Виміряти основні габарити зразка, замалювати ескіз зразка, проставити всі розміри.

2. Ознайомитися з будовою маятникового копра МК-30, записати його характеристику.

3. Підняти маятник на визначену висоту і зафіксувати його. Визначити запас енергії.

4. Установити зразок на дві опори.

5. Звільнити маятник. Після зламу зразка записати кут підйому маятника (роботу руйнування зразка).

Вивчити злам зразка, при цьому мати на увазі, що при крихкому руйнуванні злам кристалічний, блискучий; при в'язкому руйнуванні злам волокнистий, матово-сірий.

6. Розрахуйте ударну в'язкість зразків згідно даних наведених в таблиці 3.1

7. Заповніть таблицю 3.2 згідно вхідних даних та виконаних розрахунків

Таблиця 3.1 – Вхідні дані для розрахунку ударної в'язкості

№ варіанту	m_k ,	h ,	b ,	H_0 ,	H_n ,
	кг	мм	мм	м	м
1	5	5	5	1	0,485
2	10	10	6	0,5	0,025
3	15	10	8	0,8	0,234
4	5	5	4	1	0,445
5	10	5	5	1	0,48
6	15	10	9	1,5	0,367
7	5	4	5	1,2	0,115
8	10	8	6	1	0,435
9	10	8	8	1,2	0,495
10	20	10	10	1,1	0,235
11	10	9	9	0,9	0,123
12	15	7	8	1	0,345
13	20	10	10	0,9	0,134
14	5	4	5	1	0,313
15	10	8	7	1	0,315
16	5	5	5	1	0,485
17	10	10	6	0,5	0,025
18	15	10	8	0,8	0,234
19	10	8	4	1	0,445
20	15	7	7	1,1	0,48

Таблиця 3.2 – Результати роботи

№ варіанту	m_k , кг	h , мм	b , мм	H_o , м	H_p , м	A_k , Дж	$F_{z,2}$, см	KC , Дж/см ²
Х								

де m_k – маса молоту копра, кг

- h та b – розміри поперечного перетину зразка, мм

- H_o – висота падіння молоту, м

- H_p – висота підйому молоту, м

- A_k – енергія поглиненого удару, Дж

- F_z – площа поперечного перетину зразка, см²

- KC – розрахована ударна в'язкість, Дж/см²

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Для чого використовуються динамічні випробування металів?
2. У чому полягає випробування на ударне загинання, як називається і як улаштована випробувальна машина, за допомогою якої воно проводиться?
3. Який порядок випробування на ударне загинання?
4. Що являють собою зразки для випробувань на ударне загинання?
5. Зразки з якими концентраторами використовують при випробуваннях на ударне згинання?
6. Які характеристики визначають при випробуваннях на ударне загинання? По яких формулах вони розраховуються і у яких одиницях вимірюються?
7. Який з видів концентраторів обумовлює найбільшу жорсткість випробувань?
8. Які з відомих вам факторів впливають на роботу удару й ударну в'язкість сталі? Які з них сприяють підвищенню цих характеристик?
9. Що більше: KCU чи KCU того ж самого матеріалу? Чому?
10. Що більше KV⁻²⁰ чи KV того ж самого матеріалу (при випробуваннях зразків з однаковими розмірами)? Чому?

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Холявко В. В., Владимирський І. А. Механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів : підручник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 270 с.
2. ДСТУ EN ISO 6892-1:2022 Металеві матеріали. Випробування на розтягування. Частина 1. Метод випробування за кімнатної температури (EN ISO 6892-1:2019, IDT; ISO 6892-1:2019, IDT). [Чинний від 2023-12-31]. Вид. офіц. Київ, 2022.



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

Дослідження макроструктури та мікроструктури вуглецевої сталі

Мета роботи: вивчити методи макро- та мікроаналізу; дослідити характерні види макро- та мікроструктури; ознайомитися з будовою та принципом роботи металографічного мікроскопа

ЗАВДАННЯ

Після ознайомлення з матеріалом теоретичної частини цієї лабораторної роботи, а також з джерелами [1], з переліку рекомендованої літератури, виконати наступні завдання.

Завдання 1. Отримати практичні навички проведення макроаналізу заготовки.

Пояснення: дослідження полягає у вивченні будови металу (його макроструктури) неозброєним оком, або за допомогою лупи чи бінокулярного мікроскопа при невеликих збільшеннях (до 30...50 раз). Це дозволяє спостерігати водночас велику поверхню заготовки або деталі та одержувати таким чином загальні відомості про якість матеріалу, а також вибрати ділянки для подальшого мікроскопічного аналізу. За допомогою макроаналізу виявляють: особливості будови литого або гарячедеформованого металу; характер руйнування матеріалу; газові пухирі, усадочні раковини, вкраплення жужелі; якість та будову зварних з'єднань; характер обробки, що застосована для надання деталі кінцевої форми та властивостей (литво, обробка тиском, різання, термічна та хіміко-термічна обробка).

Завдання 2. Отримати практичні навички проведення мікроаналізу

Пояснення: Мікроскопічний метод дослідження застосовують для вивчення мікроструктури за допомогою світлового мікроскопа при збільшеннях 50...1500 разів. При використанні мікроскопічного аналізу виявляють форму та розмір зерен, зміни в структурі після гарячої та холодної деформації, термічної та хіміко-термічної обробок; мікродефекти металу: тріщини, шпарини, раковини; неметалеві вкраплення: сульфідиди, оксиди, нітриди, алюмінати, силікати, графіт (у чавунах) тощо. Частіше проводять якісний аналіз, а при необхідності за допомогою спеціальних методик - кількісний.

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Темплет в металознавстві - плоский зразок, вирізаний з металевого виробу або заготовки і призначений для виявлення і вивчення на ньому макроструктури виробу (рис. 4.1). Для цих цілей темплет шліфують, а потім обробляють розчинами лугів і кислот (*травлять*).

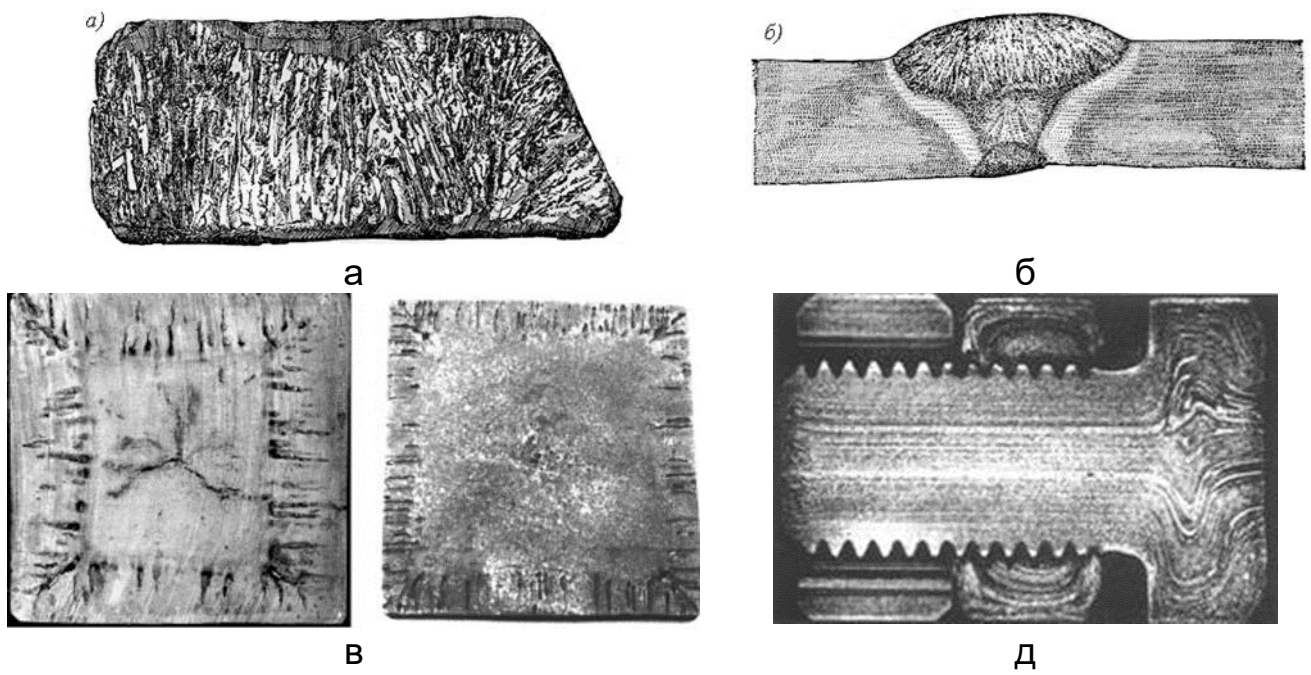


Рисунок 4.1 - Приклади макроструктури зразків, а – дендритна структура литого металу; б – структура зварного з'єднання, в - макроструктура безперервнолитого блюму, д – волокниста структура деформованого металу

Залежно від призначення макрошліфів вирізаються з великих заготовок (злитків, оковок, прокату і т. д.), а також з виробів в поздовжньому або поперечному напрямку. Загальним при виготовленні макрошліфів є вирізка темплетів, одна поверхня яких плоска. Остання піддається шліфовці на плоскошліфувальному верстаті наждачним кругом, а потім наждачним папером різної зернистості з поступовим переходом від грубої до тоншої. Шліфування зазвичай закінчується папером з зерном 120-140. Подальша обробка темплетів залежить від цілей дослідження. Розрізняють *глибоке травлення* для виявлення дефектів суцільності та грубих неметалевих включень і *поверхнєве травлення* для виявлення фізичної і хімічної неоднорідності. Рекомендовані стандартом ДСТУ 8975:2019 Сталь. Методи випробування та оцінювання макроструктури реактиви для виявлення макроструктури приведені нижче в табл 3.1.

Рекомендовані стандартом ДСТУ 8975:2019 Сталь. Методи випробування та оцінювання макроструктури реактиви для виявлення макроструктури приведені нижче в табл 4.1.

Таблиця 4.1 - Реактиви для глибокого травлення (на зображенні вказана нумерація таблиці в стандарті)

Марки сталі	Склад реактиву	Температура розчину, °С	Час травлення, хв	Примітка
Реактив 1				
Усі марки сталі, крім наведених нижче	Кислота соляна згідно із чинним нормативним документом, 50-відсотковий водний розчин	60—80	5—45	—
Реактив 2				
Корозійнотривкі, жароміцні та інші сталі аустенітного класу	Кислота соляна згідно із чинним нормативним документом — 100 мл. Кислота азотна згідно із чинним нормативним документом — 10 мл. Вода — 100 мл	60—70	5—10	—
Реактив 3				
Корозійнотривкі, жароміцні та інші сталі аустенітного класу	Кислота соляна згідно із чинним нормативним документом — 100 мл. Кислота азотна згідно із чинним нормативним документом — 100 мл. Вода — 100 мл	60—70	5—10	—
Реактив 4				
Корозійнотривкі, жароміцні та інші сталі аустенітного класу	Кислота соляна згідно із чинним нормативним документом — 100 мл. Кислота азотна згідно із чинним нормативним документом — 100 мл. Вода — 100 мл. Калій двохромовокислий згідно із чинним нормативним документом — (11,0—11,5) г	20	5—10	—
Реактив 5				
Корозійнотривкі, жароміцні та інші сталі аустенітного класу та сталі феритного класу	Кислота соляна згідно із чинним нормативним документом — 100 мл. Кислота сірчана згідно із чинним нормативним документом — 7 мл. Мідь сірчаноокисла згідно із чинним нормативним документом — 30 г або мідь сірчаноокисла безводна — 20 г	20	15—25	Травлення рекомендовано виконувати протиранням ватою, змоченою реактивом. Шліф промити водою та (5—10) % розчином хромпіку (згідно із чинним нормативним документом)

Марки сталі	Склад реактиву	Температура розчину, °С	Час травлення, хв	Примітка
Реактив 4				
Корозійнотривкі, жароміцні та інші сталі аустенітного класу	Кислота соляна згідно із чинним нормативним документом — 100 мл. Кислота азотна згідно із чинним нормативним документом — 100 мл. Вода — 100 мл. Калій двохромовоокислий згідно із чинним нормативним документом — (11,0—11,5) г	20	5—10	—
Реактив 5				
Корозійнотривкі, жароміцні та інші сталі аустенітного класу та сталі феритного класу	Кислота соляна згідно із чинним нормативним документом — 100 мл. Кислота сірчана згідно із чинним нормативним документом — 7 мл. Мідь сірчаноокисла згідно із чинним нормативним документом — 30 г або мідь сірчаноокисла безводна — 20 г	20	15—25	Травлення рекомендовано виконувати протиранням ватою, змоченою реактивом. Шліф промити водою та (5—10) % розчином хромпіку (згідно із чинним нормативним документом)

Крім цього оцінка макроструктури металопродукції регламентується стандартами ДСТУ 4061-2001 Заготовки безперервнолиті. Метод оцінювання макроструктури та ДСТУ 3123-95 Рейки залізничні. Метод оцінки макроструктури.

Контроль макроструктури. Фрактографія

При вивченні виду зламу (рис. 4.2) можна встановити характер руйнування виробу (крихке, в'язке або втомне), структурну і хімічну неоднорідність, створену термічною або хіміко-термічною обробкою (гартуванням або цементациєю). У площині зламу вироби також можна виявити дефекти, які сприяли його руйнуванню.

Крихкий злам має кристалічну будову. У зламі зазвичай видно форму і розмір зерен металу, так як злам відбувається без значної пластичної деформації. При цьому злам може відбуватися як по границях зерен (міжкристалітний), так і по тілу зерна (транскристалітний). Метал, схильний до крихкого руйнування, може зруйнуватися навіть під дією невеликих зовнішніх сил.

В'язкий злам має характерне волокнисту будову (останнє не слід змішувати з волокнистою макростробудовою металу, що формується при пластичній течії при обробці тиском). Форма і розмір зерен спотворені так як руйнування в цьому випадку супроводжується великою пластичною деформацією. В'язкий злам характеризується більшою або меншою мірою деформації металу, що передувала його руйнування. Границі окремих зерен в цьому випадку не проглядаються.

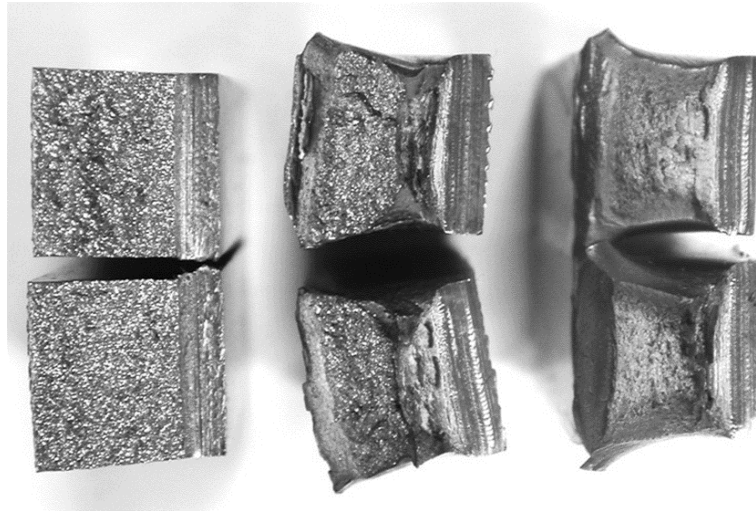


Рисунок 4.2 - Характер зламу зразків (крихкий, змішаний, в'язкий)

Втомний злам розвивається при дії перемінних напруг щодо невеликої амплітуди. Процес руйнування в цьому випадку зазвичай починається у концентратора напружень (дефекту) яким може виступати мікронесуцільність, шлакові включення або механічне пошкодження (подряпина, слід різця, різкий перехід профілю) і поступово поширюється вглиб, даючи згладжену поверхню в місцях зародження тріщин. Згладжена поверхня формується в результаті тривалого контакту (тертя) двох поверхонь утворилася мікротріщини. Коли перетин деталі значно слабшає, в результаті збільшення кількості мікротріщин і зростання їх протяжності, відбувається миттєве, повне руйнування деталі з кристалічною будовою. Другій частині зламу. Втомний злам (завжди має дві зони руйнування: втомну з дрібнозернистою, фарфоровидною часто східчасто-складною будовою, іноді з окремими ділянками блискучою як би шліфованої поверхні, і зону в'язкого або крихкого руйнування (в залежності від будови і властивостей металу). Втомна зона починається від концентратора руйнування. Зона втоми переходить потім в зону долому.

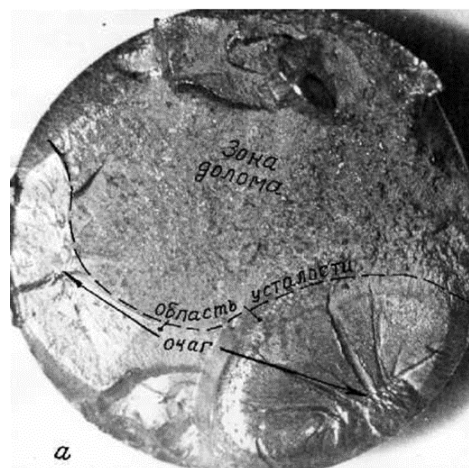


Рисунок 4.3 - Будова втомного зламу

Пробопідготовка для металографічного контролю методом мікроаналізу

Це процес підготовки мікрошліфа – зразка для проведення мікроскопічного аналізу з випробуваного матеріалу. Основні етапи: вирізка, шліфування, полірування і травлення. Місце вирізки проби, кількість проб та види досліджень або контролю жорстко регламентуються нормативною документацією на продукцію.

В лабораторії для первинної підготовки проб використовують абразивно-відрізні машини з охолодженням проби. Також вирізка може виконуватися на металообробних верстатах. Головна умова – зразок не повинен нагріватися вище 70-80°C. Шліфування проводиться на шліфувальних станках з використанням шліфувального паперу різної абразивності, полірування – на полірувальних станках з використанням спеціального фетру та суспензій для полірування (рис. 4.4). Травиться метал в 3-4%-розчині HNO₃ та спирту.



Рисунок 4.4 - Устаткування пробо підготовки для мікроаналізу та готові зразки

Мікроструктурний аналіз в Контрольній експрес-лабораторії ЦВАПК проводиться згідно ДСТУ 8972:2019 «Сталі та сплави. Методи виявлення та визначення величини зерна», ДСТУ 8974:2019 «Металографічний метод оцінювання мікроструктури листів та стрічки». Принципова схема оптичного металографічного мікроскопу (рис. 3.5) включає в себе два основних елементи: об'єktiv (6), звернений до поверхні шліфа (7) і окуляр (9), звернений до ока спостерігача. Крім того, в систему мікроскопа входить ряд оптичних елементів: джерело світла (1), конденсор (2), світлофільтр (3), щілина (4), плоскопаралельна пластина (5) і призма (8).



Оптичний мікроскоп Olympus GX-51

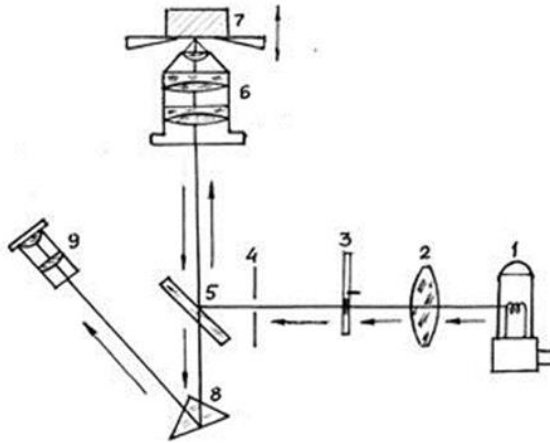
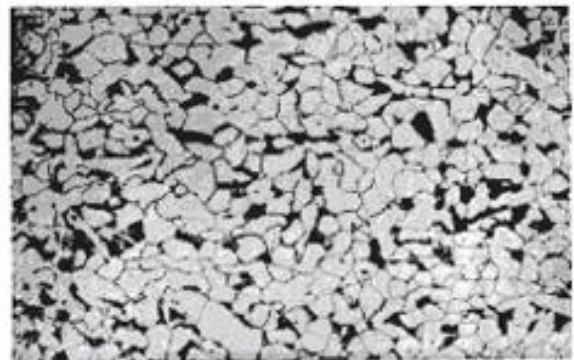
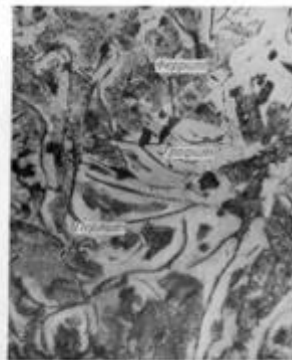
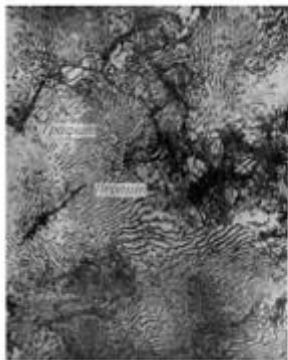


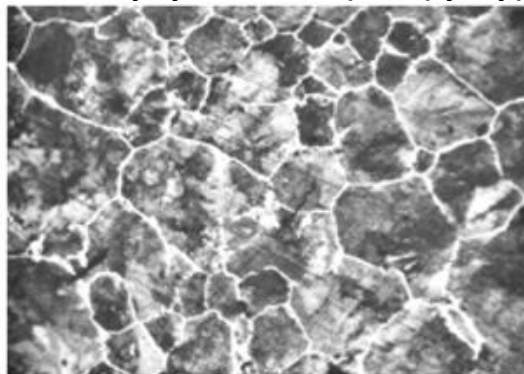
Рисунок 4.5 - Оптична схема та загальний вигляд оптичного металографічного мікроскопу

Приклади типових мікроструктур приведені на рис. 3.6.



мікроструктура сірого чавуну

мікроструктура доевтектоїдної сталі



мікроструктура заевтектоїдної сталі

Рисунок 4.6 - Приклади мікроструктури чавунів та сталей

Оцінювання та опис мікроструктури проводять з використанням такої нормативної документації як:

- ДСТУ 9074:2021 Сталь. Еталони мікроструктури
- ДСТУ 9074:2021 Сталь. Еталони мікроструктури. Поправка № 1 (ІПС № 5-2023)



- ДСТУ 8972:2019 «Сталі та сплави. Методи виявлення та визначення величини зерна»,
- ДСТУ 8974:2019 «Металографічний метод оцінювання мікроструктури листів та стрічки».
- ДСТУ 7214:2011 Прокат листовий із низьколегованої сталі. Металографічний метод оцінювання мікроструктури
- ДСТУ 8966:2019 Сталь. Металографічні методи визначення неметалевих включень
- ДСТУ 3295-95 Труби сталеві. Металографічний метод визначення забрудненості металу неметалевими включеннями
- ДСТУ ISO 4967:2017 Сталь. Визначення вмісту неметалевих включень. Металографічний метод оцінювання за стандартними шкалами (ISO 4967:2013, IDT)
- ДСТУ ISO 13947:2014 Порошки металеві. Метод визначення неметалевих включень у металевих порошках, що використовуються у штампованих зразках (ISO 13947:2011, IDT)

Існує також велика кількість галузевих стандартів. Деякі замовники створюють власні еталони мікроструктур. Науково-дослідні організації також видають атласи мікроструктур.

ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Вивчити будову литого та гарячедеформованого металів, визначити особливості макроструктури.
2. Вивчити та охарактеризувати злами зразків, за видом зламів встановити характер руйнування.
3. Вивчити будову мікроскопа, дослідити мікроструктури зразків залізовуглецевих сплавів.
4. Описати макроструктури вивчених зразків.
5. Описати мікроструктуру досліджених зразків до та після травлення (сталі з різним вмістом вуглецю та чавуни із різними формами графіту)

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Сутність і призначення макроаналізу.
2. Що таке макроструктура? Види її контролю.
3. Види зламів. Яким чином за виглядом зламу визначається
4. Характер руйнування матеріалу: крихке, в'язке або втомне
5. Що таке макрошліф? Методика його приготування
6. Макроструктура литого та гарячедеформованого металів, їх особливості.
7. Технології приготування мікрошліфів
8. Будова металографічного мікроскопа. Хід променів в оптичному мікроскопі
9. Сутність і призначення мікроаналізу.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5 Дослідження мікроструктури чавунів

Мета роботи: Вивчити мікроструктуру білих, сірих, ковких і модифікованих чавунів. Установити зв'язок між структурами білих чавунів і діаграмою стану системи "залізо-цементит".

ЗАВДАННЯ

1. Вивчити мікроструктуру шліфів після травлення в 4%-ному спиртовому розчині азотної кислоти в порядку, зазначеному викладачем.

2. Замалювати та охарактеризувати структури, що спостерігаються, супроводжуючи замальовки висновками. У висновках відбити форму графіту, структуру металевої основи, назву чавуна і збільшення, при якому розглядалася мікроструктура.

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Залізовуглецеві сплави, що містять більше 2,14% С, називаються чавунами. В залежності від швидкості охолодження, вмісту домішок і наступної обробки розрізняють чавуни білі, сірі, половинчаті, ковкі, модифіковані та високоміцні.

Білі чавуни

У цих сплавах весь вуглець знаходиться у вигляді цементиту, тому вони тверді і крихкі. Відповідно до діаграми стану "залізо-цементит" білі чавуни поділяються на наступні класи:

- доевтектичні, що містять вуглецю менше 4,3 %;
- евтектичні, що містять вуглецю 4,3 % ;
- заевтектичні, що містять вуглецю більше 4,3 %.

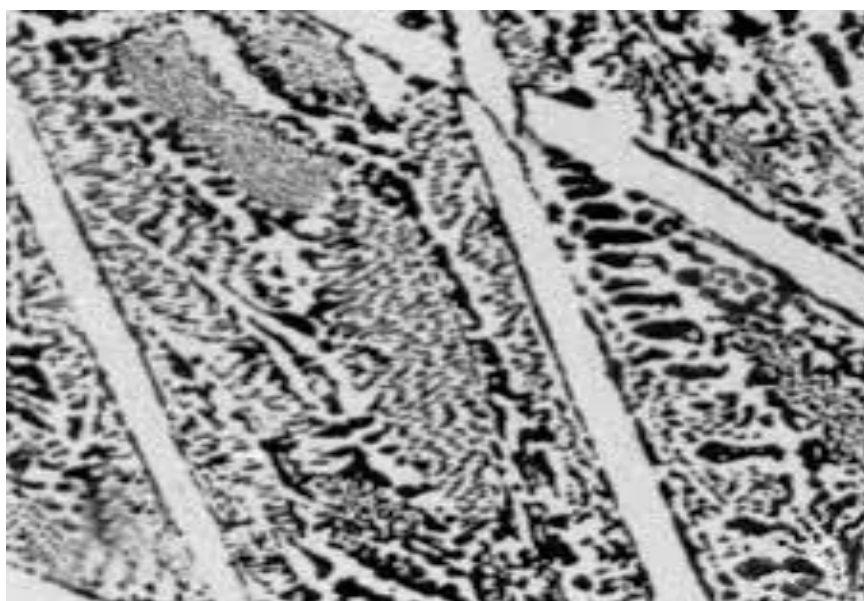


Рисунок 5.1 – Типова мікроструктура білого чавуна

При кімнатній температурі структура чавуна складається:

- доевтектичного - з перліту, цементиту вторинного і ледебуриту;
- евтектичного - з ледебуриту;
- заевтектичного - з цементиту первинного і ледебуриту.

Сірі чавуни

У цих сплавах вуглець знаходиться у вигляді пластинчастого графіту або у виді графіту і цементиту. У залежності від ступеня графітизації (за металевою основою) розрізняють наступні види чавунів, що відрізняються за структурою і властивостями:

- феритний чавун - весь вуглець у ньому графітизований. Чавун має структуру: ферит і графіт;

- перлітний чавун - із загальної кількості вуглецю 0,80 % його знаходиться у виді цементиту, інший графітизований. Цей чавун має структуру: перліт і графіт;

- ферито-перлітний чавун - із загальної кількості вуглецю менше 0,80% його знаходиться у виді цементиту, інший графітизований. Цей чавун має структуру: ферит, перліт і графіт.

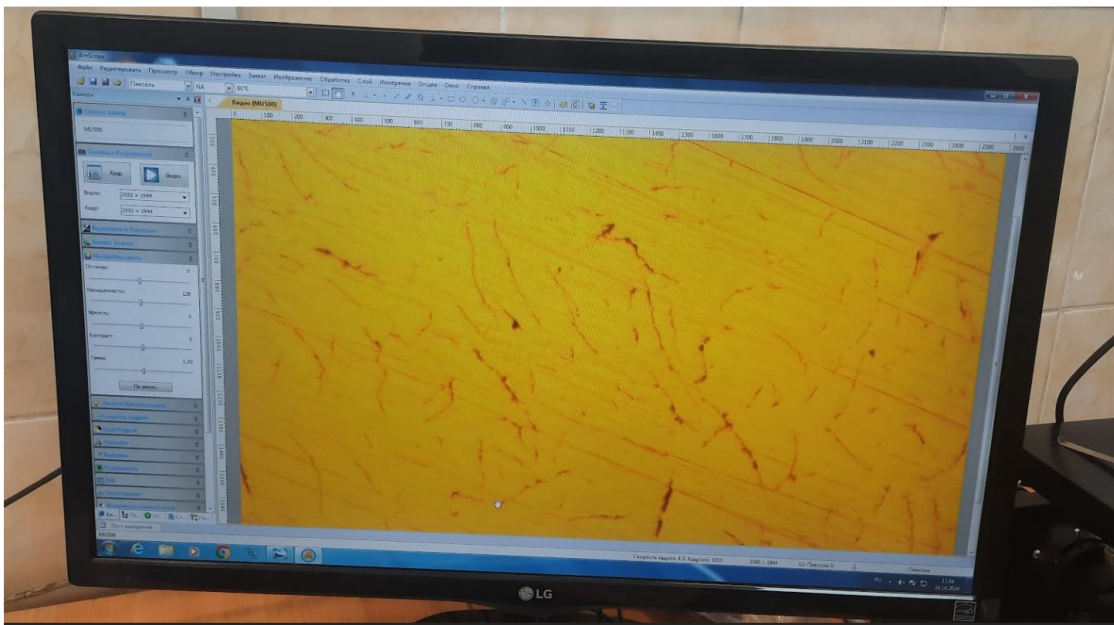


Рисунок 5.2– Типова структура сірого чавуна з пластинчастим графітом на моніторі телемікроскопу

Ковкий чавун

Цей сплав одержують шляхом тривалої витримки при високій температурі білого чавуну. В результаті цементит розпадається, і чавун містить графіт у вигляді пластинок. У залежності від ступеня графітизації чавун може бути феритним, перлітним і ферито-перлітним.

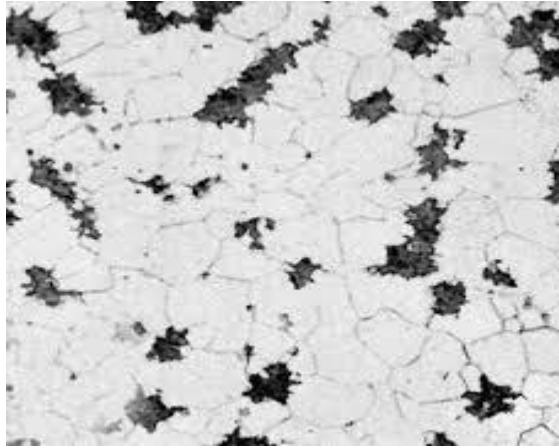


Рисунок 5.3 – Типова мікроструктура ковкого чавуна

Модифікований чавун

Одержують цей чавун шляхом добавки у розплав модифікаторів (сплавів, що містять Ca, Si, Al та ін.) у малій кількості (частки відсотків).

Структура представляє дрібнопластинчатий перліт і дуже роздрібнений графіт.

Високоміцний чавун

Одержують цей сплав шляхом подвійного модифікування добавкою у рідкий чавун перед розливанням магнію і феросиліцію. Графіт виходить у формі куль (глобулів). Металева основа чавуна може бути ферито-перлітною і перлітною.

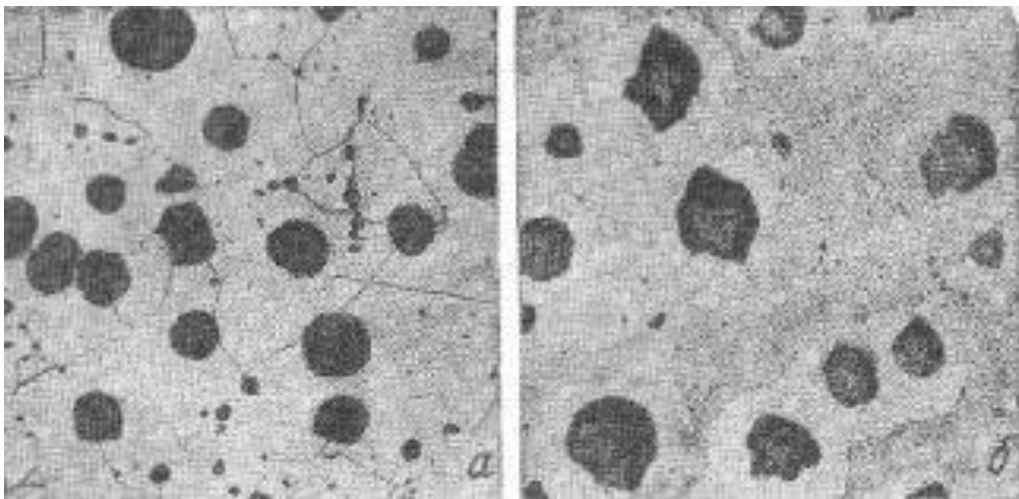


Рисунок 5.4 – Типова мікроструктура високоміцного чавуна

Половинчатий чавун

Сірий чавун, що містить у структурі надлишковий цементит, називається половинчастим. Структура такого чавуна отримується у великих виливках у перехідній зоні від білого чавуна (у поверхневих шарах) до сірого (у серцевинних частинах виливків).

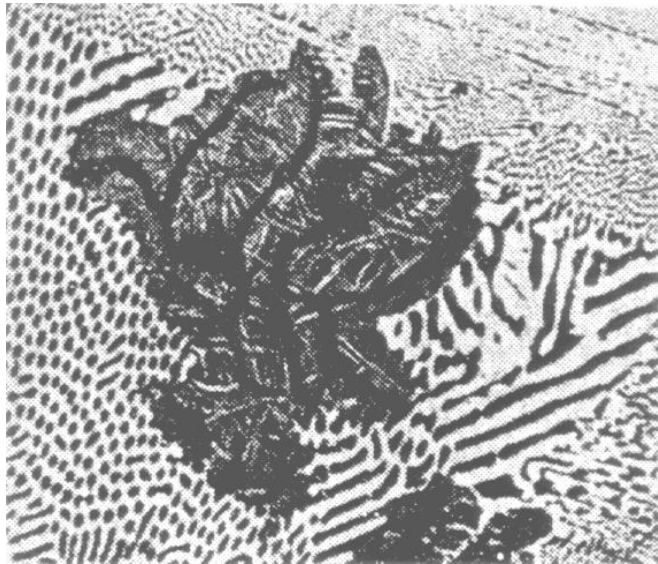


Рисунок 5.5 – Типова мікроструктура половинчастого чавуну

ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1 Підготувати до роботи телемікроскоп, установити оптику, що забезпечує збільшення в 200...300 разів. Сфокусувати зображення структури на екрани телевізорів і, регулюючи макро- і мікрогвинтами мікроскопа, домогтися виразного (різкого) зображення мікроструктури на екранах телевізорів. При цьому варто мати на увазі, що на чорно-білих зображеннях перліт буде виглядати у виді темних (сірих) зерен, а ферит і цементит - білих. У дійсності зерна перліту мають коричневий колір, фериту - жовтий, цементиту - яскраво-білий.

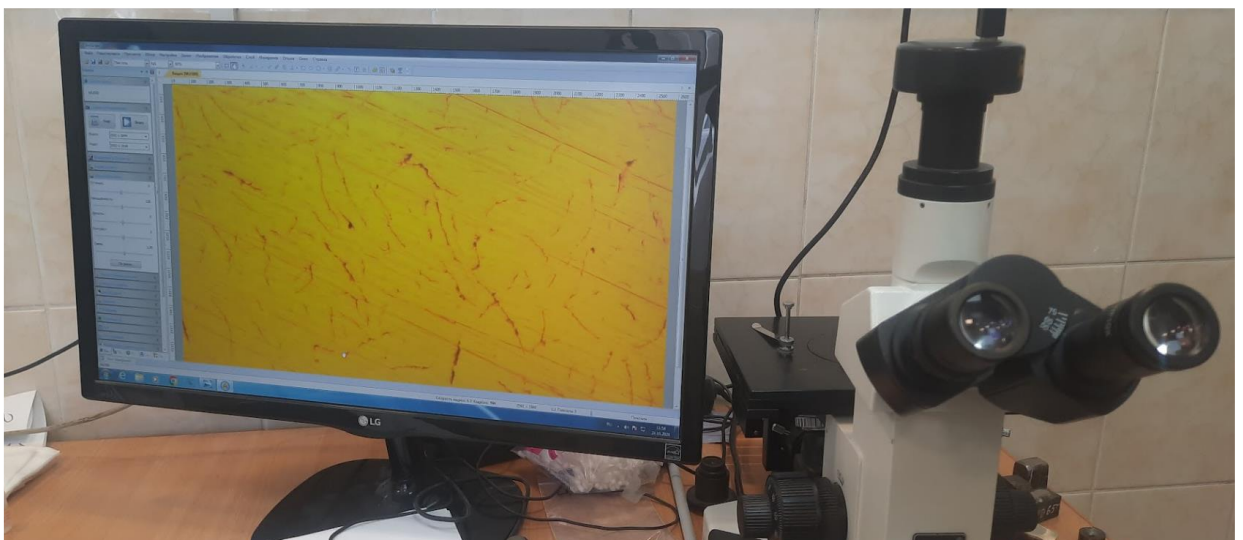



Рисунок 5.6 – Телемікроскоп ММО-1600

2 Почати вивчення мікрошліфа з нетравлених зразків для оцінки форми і розмірів графітних включень. На екранах телевізорів металева основа - яскраво біла, графіт виглядає у виді включень темного кольору.



3 Вивчити мікроструктуру шліфів після травлення в 4%-ному спиртовому розчині азотної кислоти в порядку, зазначеному викладачем.

4 Замалювати та охарактеризувати структури, що спостерігаються, супроводжуючи замальовки висновками. У висновках відбити форму графіту, структуру металевої основи, назву чавуна і збільшення, при якому розглядалася мікроструктура.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Яка форма графіту може бути у чавунах?
2. Яка металева основа зустрічається у чавунах?
3. За якими показниками оцінюють структуру чавунів?
4. Яка вимога до зразків чавунів, що піддають металографічному аналізу?
5. Якими реактивами оброблюють зразки чавунів для виявлення графіту та металевої основи?
6. При яких збільшеннях проводять аналіз структури чавунів?
7. Яка кількість вуглецю у перліті?
8. Як визначити кількість зв'язаного вуглецю у чавуні?

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Холявко В. В., Владимирський І. А. Механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів : підручник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 270 с.
2. ДСТУ 3925 – 99 Чавун з кулястим графітом для виливків. Марки. З поправками (ІПС № 9-2002, ІПС № 8-2006). [На заміну ГОСТ 7293-85 ; чинний від 2000-07-01]. Вид. офіц. Київ, 1999.
3. ДСТУ 8833:2019 Виливки із сірого чавуну з пластинчастим графітом. Загальні технічні умови. [На заміну ГОСТ 26358-84 в частині виливок із сірого чавуну з пластинчастим графітом та ГОСТ 1412-85 ; чинний від 2020-01-01]. Вид. офіц. Київ, 2019.
4. ДСТУ EN 1562:2017 Литво. Чавун ковкий (EN 1562:2012, IDT). [на заміну ДСТУ EN 1562:2010; ДСТУ EN 1562:2015 ; чинний від 2019-01-01]. Вид. офіц. Київ, 2017.



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6

Термообробка вуглецевих сталей

Мета роботи: Вивчити вплив термічної обробки на структуру та властивості вуглецевих сталей.

ЗАВДАННЯ

Після ознайомлення з матеріалом теоретичної частини цієї лабораторної роботи, а також з джерелами [1], з переліку рекомендованої літератури, виконати наступні завдання.

Завдання 1. Отримати практичні навички проведення термічної обробки вуглецевих сталей

Пояснення: дослідження полягає у проведенні термічної обробки (гартування з відпуском) зразків вуглецевих сталей, для чого необхідно визначити температуру та тривалість витримки при нагріві під час виконання кожної операції, а також швидкість охолодження зразків в залежності від мети обробки та марки матеріалу

Завдання 2. Проаналізувати вплив параметрів термічної обробки на структуру та твердість зразків і зробити висновок.

Пояснення: Аналіз мікроструктури проводять за допомогою світлового мікроскопа при збільшеннях 500...1000 разів. При використанні мікроскопічного аналізу виявляють тип мікроструктури та форму та розмір зерен (якщо вони виявляються в структурі). Для визначення твердості попередньо необхідно визначити метод вимірювання в залежності від очікуваної твердості зразка після обробки.

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

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

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

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

Відпал - нагрівання стали вище температури фазових перетворень, витримка та повільне охолодження (з піччю). Відпал застосовується для отримання рівноважної структури, зменшення твердості та внутрішніх напруг, поліпшення оброблюваності різанням.



Нормалізація – нагрівання сталі вищими за температуру фазових перетворень, витримка та охолодження на повітрі. Для низьковуглецевої сталі нормалізація застосовується для тих же цілей, що і відпал, але вона простіше та дешевше. Для високовуглецевих та легованих сталей нормалізації не може замінити відпал, оскільки можливе одержання нерівноважних структур.

Гартування - нагрівання сталі вище температури фазових перетворень, витримка та охолодження зі швидкістю більше критичної швидкості охолодження $V_{кр}$.

В результаті гартування отримують нерівноважну структуру, яка має високу міцність, твердість і зносостійкість.

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

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

- бездифузійне перетворення, коли при швидкому охолодженні в результаті поліморфного перетворення $Fe_{\gamma} \rightarrow Fe_{\alpha}$ виходить структура мартенситу – пересиченого твердого розчину вуглецю в Fe_{α} . Так як це перетворення не супроводжується дифузією, то в кристалічній решітці Fe_{α} збережеться стільки вуглецю, скільки його було в аустеніті. Такий характер перетворення аустеніту реалізується при загартуванні.

Найменша швидкість охолодження, коли він відбувається дифузійного розпаду аустеніту і виходить структура мартенситу, називається критичної швидкістю охолодження $V_{кр}$. Тому для гарту сталі, нагрітої до аустенітного стану, необхідна швидкість охолодження, що перевищує $V_{кр}$.

Структура мартенситу, отримана після загартування, є нестійкою. Вона має високу міцність, твердість, але одночасно має дуже великі внутрішні напруження і крихкість. Для зменшення внутрішньої напруги та отримання необхідного комплексу механічних властивостей після гарту проводять відпустку.

Відпуск – нагрівання загартованої сталі нижче температури фазових перетворень. При відпустці нестійка структура мартенситу розпадається і перетворюється на стабільніший стан. При цьому структура і властивості сталі залежать від температури відпустки. Чим вище температура відпустки, тим менша твердість і міцність, але більша пластичність і в'язкість сталі.

Температура нагрівання при термічній обробці сталі визначається діаграмою стану Fe-Fe₃C (рис. 6.1).

У практиці термічної обробки прийнято називати:

- горизонтальну лінію PSK (727 °C) лінією A₁;
- лінію GS – A₃;
- лінію SE – A_{cm}.

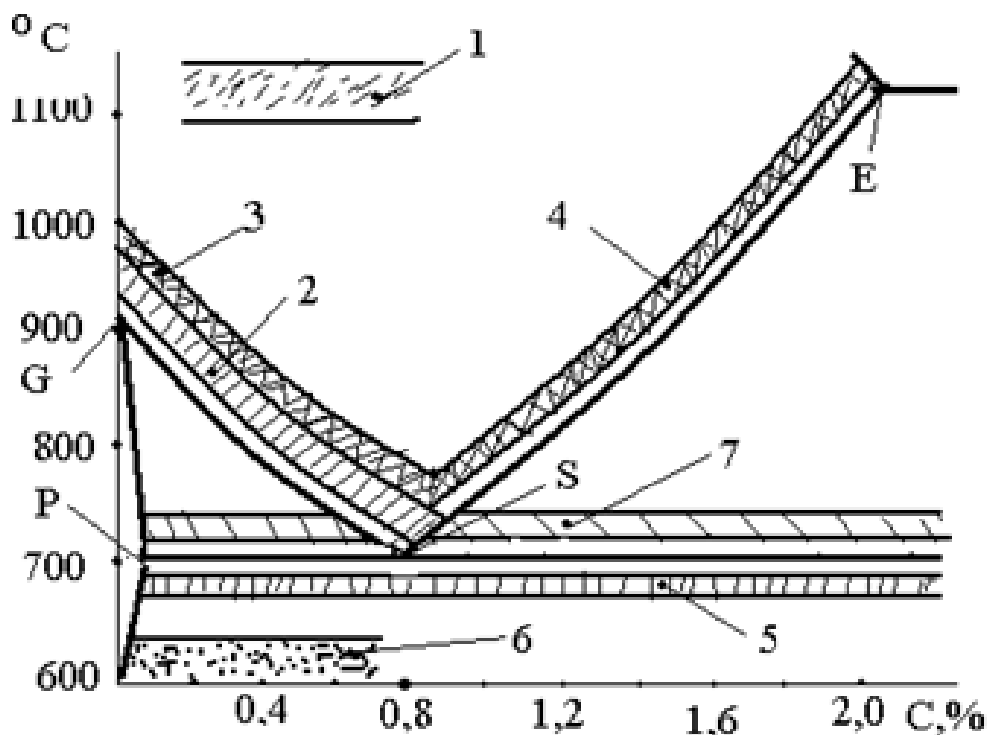


Рисунок 6.1 – Температурні області нагрівання при термічній обробці сталі 1 – дифузійний (гомогенізуючий) відпал; 2 – повний відпал, повне гартування; 3, 4 – нормалізація; 5 - рекристалізаційний відпал; 6 – відпуск; 7 – неповний відпал, неповне гартування

Якщо при термічній обробці сталь нагрівають вище за лінію A_3-A_{cm} , то таку термічну обробку називають повною. Якщо нагрівання проводять вище за лінію A_1 , то нижче за лінію A_3-A_{cm} , термічну обробку називають неповною.


Для доєвтектоїдних сталей застосовується повна термічна обробка. Доєвтектоїдні сталі називають конструкційними; з них виготовляють деталі машин (вали, шестірні, пружини тощо) та різні конструкції.

При відпалі, нормалізації та загартуванні оптимальна температура нагріву доєвтектоїдних сталей становить $A_3 + (30 + 50 \text{ }^\circ\text{C})$. За цієї температури структура сталі складається з дрібних зерен аустеніту.

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

Для перевищення критичної швидкості охолодження при загартуванні вуглецевих сталей часто використовують як охолодний агент - воду. Структура доєвтектоїдної сталі після загартування з температури $A_3 + (30 + 50 \text{ }^\circ\text{C})$ – дрібноголковий мартенсит (2-5 % аустеніту, що залишається завжди після загартування, на властивості не впливають).

Температура нагрівання сталі при загартуванні має важливе значення. Якщо доєвтектоїдна сталь нагріта значно вище лінії A_3 (перегрів), то відбудеться помітне зростання зерен аустеніту. В результаті при загартуванні



утворюється великогальчастий мартенсит. Такий мартенсит має знижену твердість, міцність та підвищену крихкість.

При гартуванні доетектоїдних сталей з температурою вище A_1 , але нижче A_3 (неповному загартуванні) у структурі крім мартенситу збережеться м'який ферит, що призводить до зниження міцності та твердості сталі.

Температура нагрівання сталі при загартуванні має важливе значення. Якщо доетектоїдна сталь нагріти значно вище лінії A_3 (перегрів), то відбудеться помітне зростання зерен аустеніту. В результаті при загартуванні утворюється великогальчастий мартенсит. Такий мартенсит має знижену твердість, міцність та підвищену крихкість.

При загартуванні доетектоїдних сталей з температурою вище A_1 , але нижче A_3 (неповному загартуванні) у структурі крім мартенситу збережеться м'який ферит, що призводить до зниження міцності та твердості сталі.

Якщо вуглецеві сталі загартувати в рослинному або мінеральному оліях, то швидкість охолодження буде не тільки меншою, ніж при охолодженні у воді, але й меншою за критичну швидкість охолодження $V_{кр}$. При такому охолодженні частина аустеніту розпадатиметься дифузійним шляхом на дрібнодисперсну суміш фериту та цементиту – троостит. Аустеніт, що залишився при досягненні температури M_n перетворюється на мартенсит. Структура, що складається з мартенситу та трооститу, поступається за твердістю та міцністю чисто мартенситною.

Заевтектоїдні сталі отримали назву інструментальних. З них виготовляють різний різальний, штамповий та вимірювальний інструмент: різці, свердла, матриці, пуансоны, лінійки, скоби і т. д. Інструмент повинен мати високу міцність, твердість, зносостійкість, стабільність розмірів.

Для заевтектоїдних сталей застосовують неповну термічну обробку. При цьому їх нагрівають з метою відпалу або гарту до температури $A_3 + (30 + 50 \text{ }^\circ\text{C})$. При такій температурі структура заевтектоїдної сталі складається з аустеніту та цементиту. При відпалі в результаті евтектоїдного перетворення аустеніт перетворюється на перліт, і структура заевтектоїдної сталі складається з перліту та цементиту.

Після гартування заевтектоїдна сталь має структуру мартенситу та цементиту з невеликою кількістю залишкового аустеніту. Наявність цементиту в структурі інструментальної сталі додатково підвищує її твердість та зносостійкість (твердість цементиту більша за твердість мартенситу). Нагрівання заевтектоїдних сталей вище лінії A_{cm} (повна термічна обробка) не застосовується. Повільне охолодження (відпал) із температурою вище $A_{ст}$ призводить до утворення структури з дуже грубою цементитною сіткою та підвищеною крихкістю. Загартування з такої температури призводить до утворення великогальчастого мартенситу і підвищеної кількості залишкового аустеніту, в результаті сталь набуває зниженої твердості, міцності і підвищеної крихкості.

Термічна обробка загартованої сталі закінчується відпусткою. Залежно від призначення та умов роботи деталей для забезпечення необхідного комплексу механічних властивостей застосовують три види відпустки:



Низький відпуск ($T = 150-200\text{ }^{\circ}\text{C}$) служить для зменшення внутрішніх напруг, крихкості при збереженні високої твердості та міцності. Мартенсит загартування перетворюється на мартенсит відпустки. Цей вид відпустки застосовують, як правило, для різального та вимірювального інструменту. Залежно від вмісту вуглецю сталі твердість мартенситу становить 550-650 НВ.

Середній відпуск ($T = 300-450\text{ }^{\circ}\text{C}$) призводить до розпаду мартенситу та утворення високодисперсної суміші фериту та цементиту, яка називається трооститом відпустки. Структура трооститу має знижену міцність і підвищену в'язкість у порівнянні з мартенситом. Сталь із структурою трооститу відпустки характеризується найвищою пружністю серед інших структур. Тому така відпустка застосовується для ресор та пружин різного призначення. Твердість трооститу лежить у межах 400-550 НВ.

Високий відпуск ($T = 450-600\text{ }^{\circ}\text{C}$) призводить до укрупнення цементитних частинок, що з'явилися при температурі середньої відпустки. Така, менш дисперсна суміш фериту і цементиту називається сорбітом відпустки. Сорбіт має оптимальне поєднання високої пластичності та ударної в'язкості з гарною міцністю. Твердість сорбіту 250-350 НВ. Термічна обробка, що складається із гарту та високої відпустки, називається поліпшенням. Більшість деталей машин відповідального призначення піддають поліпшенню.

ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Порядок виконання роботи:

1. Вибрати за діаграмою Fe-Fe₃C температуру нагріву під повне і неповне загартування сталей 50 і У12 і занести в табл. 6.1 та 6.2.

Таблиця 6.1 - Термообробка сталі 50

Вид ТО	Режим ТО			Твердість по:		Структура
	Температура, °C	Витримка, хв.	Охолоджуюче середовище	Роквеллу	Бринеллю	
Відпал						
Нормалізація						
Гартування						
Високий відпуск						
Середній відпуск						

Таблиця 6.2 -Термообробка сталі У12 (або У8)

Вид ТО	Режим ТО			Твердість по:		Структура
	Температура, °С	Витримка, хв.	Охолоджуюче середовище	Роквеллу	Бринеллю	
Відпал						
Нормалізація						
Гартування						
Високий відпуск						
Середній відпуск						

2. Провести повне та неповне загартування сталей 50 та У12 та нормалізацію. Для цього:

- заміряти переріз зразків і вибрати час витримки для нагрівання під нормалізацію, повне та неповне загартування та занести до табл. 6.1. та 6.2;
- помістити зразки в лабораторні печі, розігріті до заданих температур, витримати їх протягом необхідного часу та охолодити у вибраних середовищах;
- виміряти твердість нормалізованих та загартованих зразків (шкала HRB, HRC). На кожному зразку зробити не менше 3 уколів та середнє значення занести до табл. 6.1 та 6.2;
- записати в табл. 6.1 та 6.2 передбачувані структури, проаналізувавши отримані результати.

Примітка: мікроструктуру вуглецевих сталей після різної ТО вивчають на спеціально приготуваній колекції мікрошліфів, яка включає мікрошліфи сталей 50 і У12 після відпалу, нормалізації, повного та неповного загартування, а також після загартування та відпустки.

3. Піддати загартовані зразки сталі У12 низькому, а сталі 50 середньої та високої відпустки, попередньо вибравши температури. Виміряти твердість (за шкалою HRB, HRC) відпущених зразків і дані занести до табл. 6.1 та 6.2.

4. Замалювати мікроструктуру запропонованих мікрошліфів. Під кожним малюнком вказати травник, збільшення, марка сталі та режим термообробки. При замальовці мікроструктури треба дотримуватись певної схеми із зазначенням стрілками структурних складових.

5. Описати мікроструктури. Праворуч від малюнка дати опис мікроструктури з обов'язковим зазначенням умов її отримання та властивостей.

6. Побудувати графік залежності твердості від виду проведеної термічної обробки.


7. Скласти звіт.

Зміст звіту

1. Назва роботи та мета.
2. Заповнені таблиці 6.1 та 6.2.
3. Графіки залежності твердості (НВ) сталей 50 та У12 від виду термообробки.
4. Малюнки та опис мікроструктур.
5. Висновки.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Дайте визначення:
 - термічної обробки;
 - відпалу;
 - нормалізації;
 - гартування;
 - відпуску;
 - повного гартування;
 - неповного гартування;
 - критичної швидкості охолодження;
 - поліпшення;
 - мартенситу;
 - трооститу;
 - сорбіту;
 - конструкційним сталям;
 - інструментальним сталям
2. З якою метою проводиться термічна обробка сталі?
3. Які сплави можуть підвищити міцність при термічній обробці?
4. Яка структура формується у доєвтектоїдних сталях після відпалу, нормалізації, гартування?
5. Яка структура формується у заєвтектоїдних сталях після відпалу, нормалізації, гартування?
6. Яка структура формується у сталі після низької, середньої та високої відпустки?
7. Як і чому змінюється твердість доєвтектоїдних сталей при зміні температури гарту: нижче A_1 ; вище за A_1 , але нижче за A_3 ; трохи вище за A_3 значно вище за A_3 ?
8. Як і чому змінюється твердість заєвтектоїдних сталей при зміні температури гарту: нижче A_1 ; вище за A_1 , але нижче за A_{cm} ; вище A_{cm} ?
9. Яка температура загартування дає максимальну твердість у доєвтектоїдних та заєвтектоїдних сталях?
10. Як змінюються механічні властивості сталі у разі підвищення температури відпустки?
11. Яка структура виходить у доєвтектоїдних сталях після неповного загартування?

- 
12. Яка структура виходить у заевтектоїдних сталях після гарту з температури вище A_{cm} ?
 13. Яка структура вийдуть після гарту в масло доевтектоїдних та заевтектоїдних сталей?
 14. Чому при загартуванні в масло порівняно із загартуванням у воду твердість сталі знижується?
 15. Які структури та механічні властивості набуває сталь після покращення?
 16. З якою метою застосовують відпал сталей, нормалізацію, загартування, відпустку?
 17. Яка остаточна термічна обробка зазвичай проводиться для деталей машин та інструменту?
 18. Який дефект виходить під час перегріву сталі?
 19. Як позначаються конструкційні та інструментальні вуглецеві сталі?
 20. Які лінії на діаграмі Fe-Fe₃C позначаються A_1 , A_3 , A_{cm} ?

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бузило В. І., Сердюк В. П., Яворський А. В., Гайдай О. А. Матеріалознавство : навч. посіб. Дніпро : НТУ «ДП», 2021. 243 с.
2. Скуріхін В. І., Гарбуз Н. В. Матеріалознавство та технологія матеріалів : конспект лекцій. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. 59 с.
3. Дубовий О. М., Лебедева Н. Ю. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Прикладне матеріалознавство». Миколаїв : НУК, 2017. 20 с.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7 Алюміній та сплави на його основі

Мета роботи – дослідити структуру та властивості алюмінієвих сплавів. Ознайомитися з режимами термічної обробки та застосуванням сплавів.

ЗАВДАННЯ

Описати структуру, маркування, основні властивості та застосування сплавів на основі алюмінію.

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Алюміній – метал світло-сріблястого кольору, має ГЦК гратку. Температура плавлення 660 С, густина = 2,7 г см³. Технічно чистий алюміній має невисоку міцність та високу пластичність; високу тепло-та електропровідність (електропровідність алюмінію (99,5%Al) складає приблизно 62,5% від електропровідності міді). Алюміній відноситься до хімічно активних металів. На повітрі алюміній покривається тонкою, щільною плівкою Al₂O₃, яка перешкоджає подальшій взаємодії металу з навколишнім середовищем.

Технічно чистий алюміній маркують АД0, АД1 (А – алюміній, Д – деформівний напівфабрикат, цифра – номер марки). В технічно чистому алюмінії та його сплавах найчастіше зустрічаються такі домішки: Fe, Si, Cu, Mn, Zn. На механічні властивості технічно чистого Al впливає його чистота (табл. 7.1).

Таблиця 7.1 – Вплив ступеню чистоти алюмінію на його механічні властивості

Вміст алюмінію, %	в, МПа	0,2, МПа	10, %	НВ, МПа
99,99%	49	22	45,5	84...112
99,5	70	28	31,5	126...175

Технічно чистий Al може зміцнюватися холодною пластичною деформацією, при цьому збільшується не тільки границя міцності та плинності, а і міцність на зріз та опір втомі.

Технічний алюміній випускають у вигляді прутків, листів, дроту та різного профілю. Використовують алюміній для виготовлення про-водів, оболонок для високовольтного кабелю, в харчовій промисловості – різні ємності, фольга.

В промисловості використовують сплави алюмінію, основні системи: Al-Cu, Al-Si, Al-Mn, Al-Mg, Al-Cu-Mg. Основні структурні складові сплавів на основі Al при кімнатній температурі: -фаза (твердий роз-чин заміщення атомів легувальних в ГЦК гратці Al) та інтерметалідні фази (наприклад -фаза (Al₂Cu), Mg₂Si, Mg₂Al₃ та інші).

За способом виготовлення виробів алюмінієві сплави поділяють на:

а) деформуємі, що призначені для пластичного деформування

при виготовленні напівфабрикатів та деталей:

- деформуємі алюмінієві сплави, що не зміцнюються термообробкою;
 - деформемі і алюмінієві сплави, що зміцнюються термообробкою.
- б) ливарні, що призначені для фасонного литва.
в) сплави, що отримують за технологією порошкової металургії:
г) спечені алюмінієві порошки (САП);
д) спечені алюмінієві сплави (САС).

Деформуємі сплави, що не зміцнюються термообробкою. Сплави систем Al-Mn, Al-Mg характеризуються високою пластичністю та низьким рівнем міцності.

Сплави систем Al-Mn (АМц, АМц1). Відповідно до діаграми стану (рис.7.1), марганець може знаходитись в сплавах в твердому розчині та у вигляді сполуки $MnAl_6$. Максимальна розчинність марганцю в - твердому розчині при температурі 658 С – 1,4%; в інтервалі 550...450 С спостерігається різке її зменшення. При температурі 658 С з рідини, що містить 1,95% Mn, кристалізується евтектика (+ $MnAl_6$).

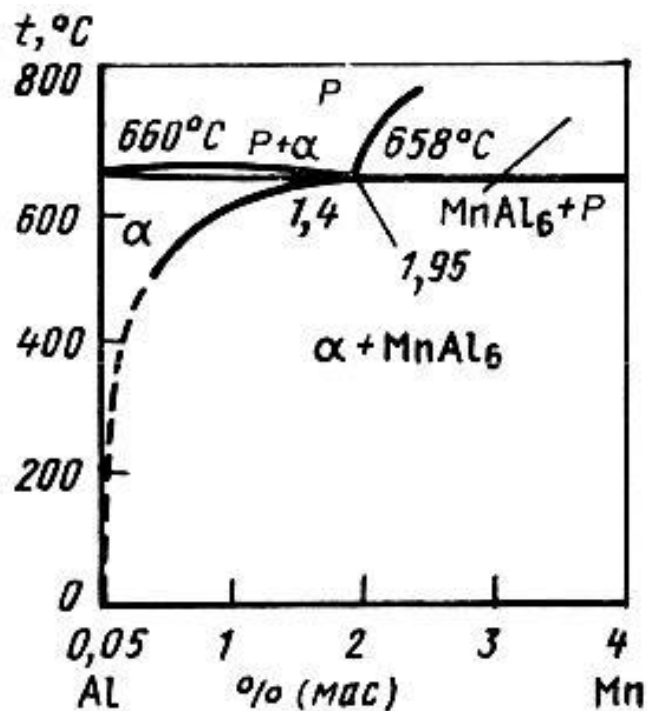


Рисунок 7.1 – Діаграма стану системи Al-Mn

Промислові сплави містять від 1 до 1,6% Mn; вони характеризуються високою пластичністю, технологічністю, добре зварюються і є корозійностійкими. Термічна обробка сплавів – рекристалізаційне відпалення (450...470 С). Напівфабрикат з АМц випускають у м'якому, відпаленому (АМцМ, М – м'який стан) та напівнагартваному (АМцП, П – напівнагартований стан) станах. Використання: АМц – малонавантажнені вироби (зварні баки, бензо- та маслопроводи), на будівництві, на транспорті

(радіатори для тракторів та автомашин). АМц1 – тільки в електротехнічній промисловості для чутливих елементів електричних тахометрів.

Сплави систем Al-Mg (АМг1, АМг2, АМг5). В сплавах типу АМг відповідно до діаграми стану (рис.7.2) Mg розчиняється в α -фазі та утворює з Al сполуку Mg_2Al_3 . При температурі 450 С з рідини (36,9%Mg) кристалізується евтектика (Mg_2Al_3). Розчинність магнію в алюмінії при температурі 450 С – 17,4%, при кімнатній – 1,4%. При швидкому охолодженні під час кристалізації існує можливість появи евтектичної α -фази в структурі сплавів, що містять понад 1...2% Mg. Після гомогенізаційного відпалювання α -фаза зникає.

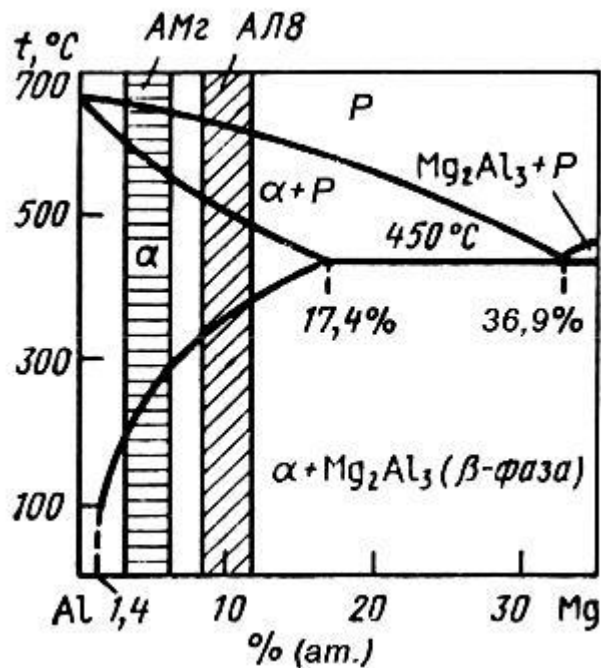


Рисунок 7.2 – Діаграма стану системи Al-Mg

Зі збільшенням вмісту Mg, приблизно до 15%, міцність зростає, а пластичність при концентрації від 3 до 12%Mg майже не змінюється. Корозійна стійкість погіршується при вмісті Mg понад 6%. Сплави легують Mn (утворює сполуки $MnAl_6$) та Cr для збільшення міцності, Ti – для поліпшення технологічності при зварюванні. Хром, титан, ванадій сприяють рівномірному виділенню α -фази, підвищують корозійну стійкість сплавів.

Сплави системи Al-Mg характеризуються поєднанням достатньої міцності, високої пластичності, корозійної стійкості та зварюваності, є вібростійкими. Основна термічна обробка – рекристалізаційний відпал. Напівфабрикати можуть бути «м'якими» (АМг5М), напівнагарткованими (АМг5П) та нагарткованими (АМг5Н, ступінь деформації – 20...30%). Приклади використання: АМг3 – зовнішня та внутрішня обшивка пасажирських та вантажних (для перевезення продуктів, мінеральних добрив та інше) вагонів; маслотрубопроводи літальних апаратів; зварні баки для рідин з нафтопродуктів; вузли легкових автомобілів (навесні деталі, бампери, радіатори охолодження). АМг5 – заклепки, болти; борти вантажних

автомобілів; рами та баки кузовів залізничних вагонів; перегородки кораблів, палубні надбудови, обшивка річкових кораблів.

Деформуємі алюмінієві сплави, що зміцнюються термічною обробкою. Дюралюміни – сплави алюмінію з міддю (система Al-Cu), які додатково леговані Mn та Mg. Промислові сплави поділяють на групи (цифри в марках сплавів вказують на умовний номер за стандартом):

- класичний дюралюмін (Д1);
- дюралюмін підвищеної міцності (Д16) (з підвищеним вмістом Mg);
- дюралюміни підвищеної жароміцності (Д19, ВАД1, ВД17) (мають збільшене, порівняно з Д1, співвідношення Mg/Cu);
- дюралюміни підвищеної пластичності (Д18, В65) (зі зниженим вмістом легувальних елементів).

Зміцнююча термічна обробка сплавів базується на змінній розчинності міді в алюмінії зі зниженням температури. Істинне гартування передбачає нагрівання сплавів в однофазну область (рис. 7.3, вище лінії сольвус kf), витримку при цій температурі та прискорене охолодження з метою фіксації пересиченого міддю -твердого розчину.

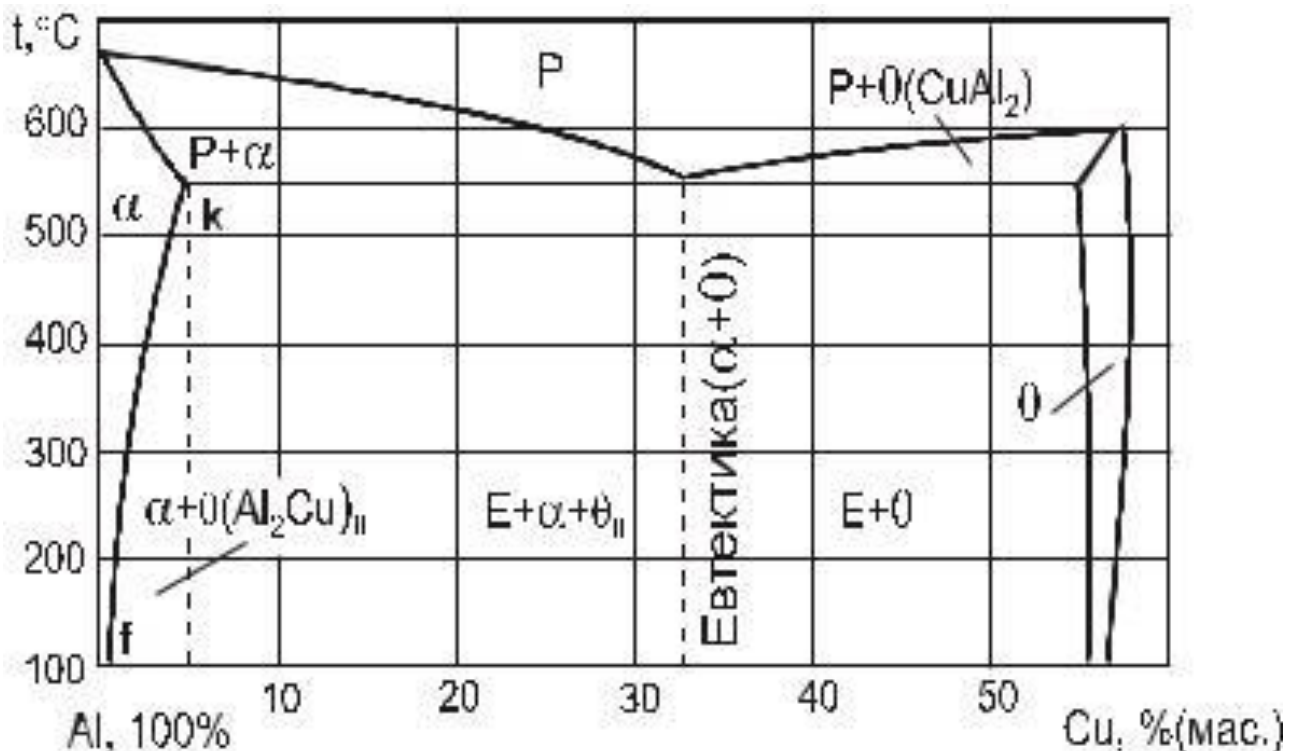



Рисунок 7.3 - Діаграма стану системи Al-Cu

Після цієї операції пластичність сплавів зростає, міцність, порівняно з відпаленим станом, збільшується. Такий стан є нестабільним, із часом проходить виділення надлишку міді у вигляді дисперсних фаз (або зон). В α -твердому розчині залишається 0,2% Cu. Таке явище має назву – старіння. Процес супроводжується зростанням міцності. Розрізняють природне




старіння (процес відбувається при кімнатній температурі, тривалість процесу залежить від легування, для класичного дюралюміну Д1

– 4...5 діб) та штучне (процес проходить при підвищеній температурі (250...300 С), тривалість процесу скорочується до кількох годин).

При температурі 20 °С під час витримки в сплаві утворюються дископодібні скупчення атомів міді, які розташовуються паралельно площинам {100} ГЦК-гратки -фази. Ці скупчення когерентно пов'язані з граткою -фази, приводять до її спотворення і зміцнюють сплав. Такі утворення (товщиною 0,5...1,0 нм, діаметром 4...10 нм) мають назву зон Гіньє-Престона 1 (ГП-1). При подальшій витримці або при підвищенні температури виникають зони Гіньє-Престона 2 (ГП-2). Ці утворення мають впорядковану структуру, містять більшу кількість міді. За хімічним складом наближаються до сполуки Al_2Cu , когерентний зв'язок з матрицею зберігається. Товщина виділень – 10 нм, діаметр – до 150 нм. Природне старіння завершується на стадії утворення зон (зонне старіння). Подальше збільшення часу витримки або температури супроводжується перетворенням зон ГП-2 на метастабільну фазу, когерентно пов'язану з матрицею, але відмінну за типом гратки від -твердого розчину (фазове старіння). При штучному старінні отримують фазу. При подальшому збільшенні температури або часу витримки когерентність порушується, утворюється стабільна -фаза (Al_2Cu). Частинки стабільної фази швидко коагулюють, що призводить до знеміцнення сплаву.

Дюралюміни знайшли широке застосування в авіабудуванні через високу питому міцність.

Сплави системи Al-Mg-Si (авіалі). Характерною особливістю цих сплавів є висока пластичність, корозійна стійкість. За міцністю авіалі поступаються дюралюмінам. Маркують авіалі: АВ, АД31, АД33, АД35. Додатково авіалі можуть легувати Cu, Mn та Cr. Максимальне значення в мають природньо та штучно зістарені сплави системи Al-Mg-Si із трифазною структурою + Mg_2Si + Si при сумарному вмісті Mg та Si 2,5...4% ($Mg/Si = 1,73$). До сплавів застосовують термічну обробку: гартування та старіння. Температура гартування 540...560°C, охолодження на повітрі. Старіння може бути як природнім так і штучним. Природнє старіння за часом триваліше ніж у дюралімінів (близько 2 тижнів). На практиці частіше використовують штучне старіння, воно забезпечує більший приріст міцності. Оптимальні механічні властивості отримують після старіння за режимом 160...170°C, 12...15 год. У випадках, коли від сплаву вимагається поєднання помірної міцності, високої пластичності та доброї корозійної стійкості, сплави АВ, АД31, АД33 використовують після природнього старіння. Зміцнення сплавів відбувається завдяки утворенню зон ГП та метастабільної фази -фази (Mg_2Si). Приклади використання сплавів: АВ, АД33 – виготовлення порожнистих лонжеронів лопатей вертольоту; АД33 – барабани коліс гідролітаків; АД31 – широко використовують в цивільному будівництві для віконних вітражів, дверних рам, перегородок, ескалаторів, а також в меблевій, автомобільній та легкій промисловості.



Ковочні сплави відповідають системі Al-Mg-Si-Cu. Марки: АК6, АК8, АК4, АК2. Ці сплави займають проміжне положення між дюралюмінами та авіалями. Сплави мають високу технологічність при литті та гарячій пластичній деформації (450...475°C); їх використовують для виготовлення штамповок та поковок. Основні вимоги – пластичність і відсутність утворення тріщин при деформації. Сплави зміцнюють гартуванням (500...520 С) та штучним старінням (160...170 С – 12...15 год.).

Приклади використання: АК6 – крильчатки компресора, крильчатки вентилятора компресорів реактивних двигунів, корпусні деталі, відповідальні силові деталі в авіаційній техніці (наприклад деталі крила пасажирського літака), АК8 – важконавантажені деталі літака (рами, фітінги та інше). АК4 – крильчатки компресора, поршні, головки циліндрів, які працюють при підвищених температурах. Недоліком цих сплавів є низька корозійна стійкість, обов'язковим є захист поверхні деталей.

Сплави системи Al-Cu-Mg, додатково леговані Fe та Ni, належать до жароміцних (марка АК4-1). Хімічний склад цього сплаву (%): 1,9...2,7 Cu; 1,2...1,8 Mg; 0,8...1,4 Fe; 0,8...1,4 Ni. Сплав зміцнюється істинним гартуванням (530 С) з охолодженням у воді та подальшим старінням (190...200 С – 12...24 год.). Структура після термообробки: α -фаза S-фаза (Al_2CuMg) + Al_9FeNi . Сплав АК4-1 використовують для виготовлення поковок та штамповок деталей з температурою експлуатації до 250...300 С (поршні авіадвигунів, лопатки компресора, обшивка та силовий каркас надзвукових літаків).

Високоміцні алюмінієві сплави належать до систем Al-Zn-Mg, Al-Zn-Mg-Cu. Сплави маркують В95, В96, В93, В96Ц (Ц – цирконій). Цинк та магній мають найбільшу розчинність в гратці Al (70% та 17,4% відповідно) і ця розчинність із зниженням температури різко зменшується, це дозволяє сплави системи Al-Zn-Mg суттєво зміцнювати при термічній обробці внаслідок розпаду пересиченого твердого розчину і утворення дисперсних частинок зміцнювальних фаз. Недолік сплавів системи Al-Zn-Mg – схильність до корозії під навантаженням. При загальній добрій корозійній стійкості ці сплави руйнуються під дією розтягувальних напружень в умовах корозійного середовища (наприклад, звичайна атмосфера). Легування міддю підвищує опір сплаву корозії під навантаженням. Сплави зміцнюють істинним гартуванням з температури 460...470 С, охолодження проводять у воді, з подальшим штучним старінням при температурі 120...140 С впродовж 16...24 год. Перевага надається штучному старінню, після якого забезпечується най-вища міцність. Основні структурні складові сплавів: α -фаза; М-фаза ($AlCuMgZn$); Т-фаза ($AlCuMgZn$); S-фаза (Al_2CuMg). Високоміцні сплави можуть тривало експлуатуватися до 100...120°C. Їх використовують для важконавантажених деталей конструкцій, які в основному працюють в умовах напруження стиснення (обшивка, стрингери, шпангоути, лонжерони літаків).

Ливарні алюмінієві сплави. Ливарні сплави на основі алюмінію належать до систем Al-Si та Al-Si-Mg; Al-Si-Mg-Cu; Al-Cu; Al-Mg; Al – інші

елементи (Ni, Zn, Fe). Ливарні сплави відповідно до ГОСТ 1583-93 маркують із зазначенням хімічного складу: перша буква.

– сплав на основі Al; К – кремній, М – мідь, Мг – магній, Мц – марганець, Н – нікель, Ц – цинк. Цифри після букв вказують на середній вміст даного елемента у відсотках (мас.). Якщо вміст елемента менший за одиницю, то, як правило, він буквою не позначається. Наприклад, АК5М7 – ливарний алюмінієвий сплав з середнім вмістом Si 5%, Cu 7%, Al – основа; АК12 (ливарний алюмінієвий сплав, що містить близько 12% Si). Марка АЦ4Мг відповідає ливарному сплаву системи Al-Zn-Mg з вмістом цинку – 3,5...4,5%, магнію – 1,55...2,05%.

Ливарні сплави алюмінію поділяють на п'ять основних груп:

Сплави на основі систем Al-Si та Al-Si-Mg (силуміни).

Марки:

АК12, АК9, АК13, АК7, АК8.

Сплави на основі системи Al-Si-Mg-Cu (леговані силуміни). Марки: АК5М, АК8М, АК12М2, АК5М7.

Сплави на основі систем Al-Cu та Al-Cu-Mn (високоміцні жароміцні сплави). Марки: АМ5, АМ4,5Кд. .

Сплави на основі системи Al-Mg (високоміцні корозійностійкі сплави). Марки: АМг6, АМг5Мц, АМг11, АМг5К.

Сплави на основі систем Al – інші елементи (Ni, Zn, Fe). Марки: АЦ4Мг, АК7Ц9, АК9Ц6, АК12М2МгН, АК12ММгН, АК21М2,5Н2,5. Ці сплави відносяться до жароміцних.

Найбільш поширеною групою ливарних алюмінієвих сплавів є силуміни (система Al-Si) (рис. 7.4).

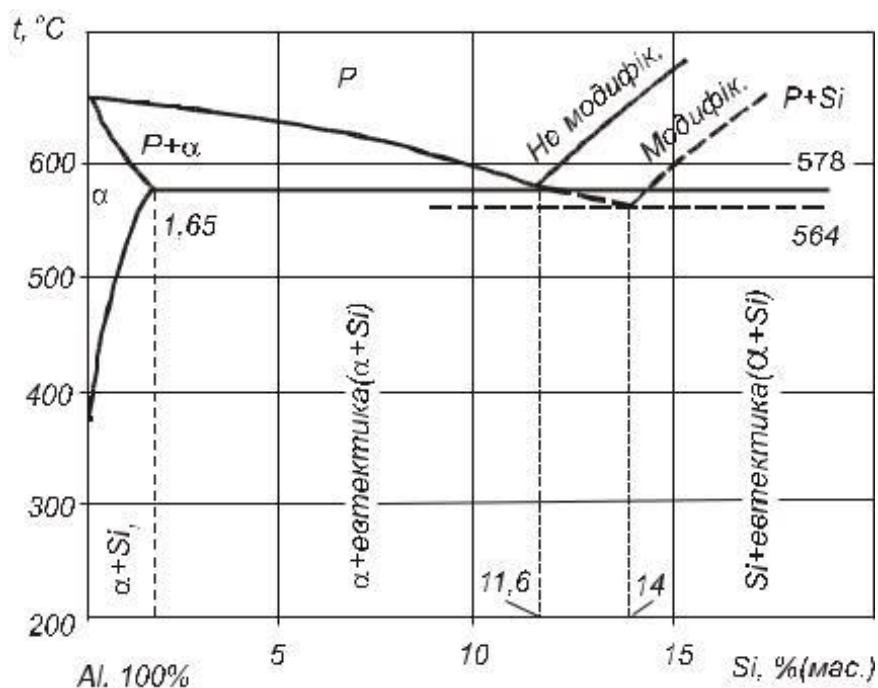


Рисунок 7.4 – Діаграма стану системи Al-Si. (штрихові лінії – для сплавів після модифікування Na)

До переваг цих матеріалів належать високі ливарні властивості. В промисловості використовують подвійні силуміни або леговані (Mg, Cu, Mn, Ni). За структурою розрізняють доевтектичні силуміни (AK7, AK9), структура яких складається з α -фази та евтектики (Si), та евтектичні сплави (AK12), структура яких представлена евтектикою (Si). По-двійні силуміни (Al-Si) не зміцнюються термообробкою. В легованих силумінах існує можливість проведення зміцнювальної термічної обробки: істинне гартування + старіння. Зміцнення забезпечується, переважно, частинками Mg_2Si або Al_2Cu , в залежності від схеми легування.

Сплав AK12 (10...13% Si) має склад близький до евтектичного (11,6% Si). Найчастіше при кристалізації сплаву виникає структура, що складається з α -твердого розчину на основі Al та грубих кристалів кремнію голчастої морфології, які через високу крихкість є джерелом зародження тріщин. Рівень механічних властивостей силуміну AK12 може бути покращений проведенням модифікування. Цей процес передбачає введення в сплав лужних металів (Na, Li) з метою впливу на форму та розміри структурних складових. Найчастіше використовують модифікування натром, який вводять у вигляді суміші солей $2/3 NaF + 1/3 NaCl$; поліпшення структури забезпечується при вмісті натру в сплаві 0,01%. При модифікуванні евтектична концентрація зсувається в бік більшого вмісту кремнію (14%), таким чином сплав AK12 набуває до евтектичної структури (рис.7.5).

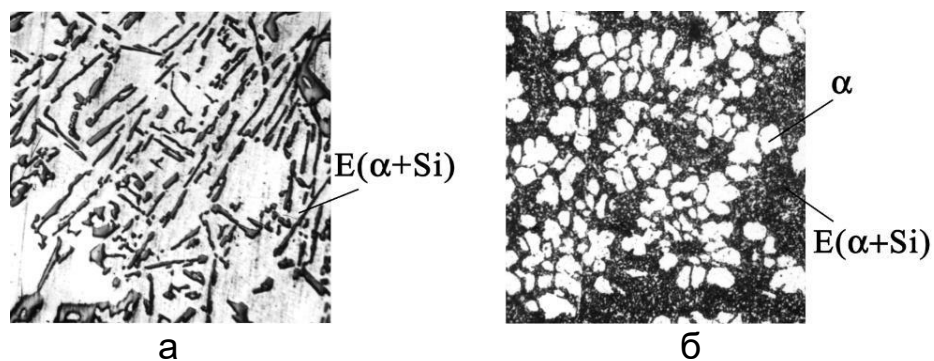


Рисунок 7.5 – Мікроструктура сплаву AK12 до (а) та після (б) модифікування

Модифікування сприяє підвищенню пластичності та міцності силуміна. Ливарні сплави системи Al-Cu, порівняно із силумінами, мають низькі показники ливарних властивостей. Для цих сплавів характерна низька рідкотекучість, вони схильні до утворення тріщин при литві та виникнення усадкової пористості. Сплави характеризуються високою міцністю, зміцнюються термічною обробкою. При легуванні сплавів системи Al-Cu нікелем, марганцем, титаном підвищується жароміцність.

Ливарні сплави системи Al-Mg характеризуються поєднанням високої міцності із високою пластичністю, мають високу корозійну стійкість в морському середовищі, а також в тропічних умовах з максимальною вологістю. Також ці сплави добре оброблюються різанням. До недоліків слід



віднести низькі показники жароміцності. Сплави на основі системи Al-Mg мають низькі ливарні властивості: широкий інтервал кристалізації (100...120°C), високий вміст газів (це приводить до утворення розвиненої газової пористості у відливках), підвищена здатність до окислення в розплавленому стані та взаємодії з азотом повітря (це призводить до утворення неметалевих включень у відливках). Термічна обробка передбачає істинне гартування сплавів та старіння. Старіння погіршує пластичність, тому не проводиться (процес природного старіння триває впродовж кількох років, при незначних змінах у міцності, пластичність сплаву після старіння суттєво погіршується).

Приклади використання ливарних сплавів: АК12 – щільні герметичні відливки складної форми, що не випробовують в процесі експлуатації значних навантажень (перехідники, деталі двигунів, апаратури та побутових приладів); АК5М – для виготовлення литих заготовок деталей, що зберігають постійність розмірів в процесі експлуатації (корпуси приладів, деталі авіаційних, автомобільних та тракторних двигунів); АМг11 – для виготовлення корозійностійких фасонних відливок.

ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Робота виконується з використанням зразків сплавів Д1, АК12 та деталей з алюмінієвих сплавів. Для вимірювання твердості використовується прилад ТК-2, для вивчення мікроструктури – металографічний мікроскоп ММО-1600 або його аналог.

Порядок виконання роботи

1 Визначити твердість (HRB) зразків сплаву Д1 до термічної обробки, після гартування від температури 500°C у воді та старіння при 100, 200 та 300 °C з витримкою 15, 30 та 45 хвилин. Дані занести в таблицю 7.1.

Таблиця 7.1 – Вплив гартування та старіння на твердість сплаву Д1

Марка сплаву	Твердість до термообробки	Тип термообробки, температура	Час витримки	Охолоджувальне середовще	Твердість після термообробки

2 Згідно літературними даними заповнити таблицю 7.2.

Таблиця 7.2 – Хімічний склад, структура, механічні властивості та призначення досліджених сплавів

Марка сплаву	Вміст елементів, % (решта Al)				Структура (записати)	Механічні властивості			Призначення
	Cu	Mg	Mn	інші		σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ %	

- 
- 3 Зарисувати мікроструктуру зразків алюмінієвих сплавів.

Зміст звіту

Загальні відомості згідно завдання,
рисунок 7.3, 7.4, мікроструктури,
табл. 7.1 та 7.2,
Висновки.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Маркування алюмінієвих сплавів, їх застосування.
2. Які деформуємі алюмінієві сплави зміцнюються термообробкою ?
3. Що відбувається під час гартування та старіння алюмінієвих сплавів?
4. Що таке природне та штучне старіння?
5. Які сплави алюмінію мають високі ливарні властивості ?
6. Модифікування алюмінієвих сплавів.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бузило В. І., Сердюк В. П., Яворський А. В., Гайдай О. А. Матеріалознавство : навч. посіб. Дніпро : НТУ «ДП», 2021. 243 с.
2. Скуріхін В. І., Гарбуз Н. В. Матеріалознавство та технологія матеріалів : конспект лекцій. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. 59 с.
3. Дубовий О. М., Лебедева Н. Ю. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Прикладне матеріалознавство». Миколаїв : НУК, 2017. 20 с.



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №8

Конструкційні неметалеві матеріали

Мета роботи:-вивчити деякі групи неметалевих конструкційних матеріалів, порівняти їх експлуатаційні властивості із властивостями металевих конструкційних матеріалів, навчитись обирати неметалеві матеріали для конкретних виробів.

ЗАВДАННЯ

Описати склад, властивості і призначення пластмас та конструкційних керамік.

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Використання в машинобудуванні різноманітних неметалевих матеріалів (пластмас, кераміки, композиційних матеріалів на основі пластмас, гуми, неорганічного скла тощо) на протязі багатьох десятиліть засвідчили низку переваг зазначених матеріалів у порівнянні зі сплавами на основі заліза та кольорових металів:

- малу густину (0,15...2,2) кг/дм³;
- високу хімічну стійкість;
- особливі фізичні властивості (парамагнетизм, високий питомий електричний опір; особливі оптичні властивості);
- високу технологічність;
- низькі або високі значення коефіцієнтів тертя;
- високу зносостійкість;
- малу вартість.

Поєднання унікальних властивостей неметалевих матеріалів робить їх за певних умов незамінними конструкційними матеріалами.

Термопластичні пластмаси

Пластична маса-це матеріал, що є композицією полімера чи олігомера із різними компонентами, які знаходяться при формуванні виробів у в'язкоплинному або високоеластичному стані, а при експлуатації-у склоподібному або кристалічному стані.

Полімер-речовина, котра характеризується багаторазовим повторенням однієї або більше основних макромолекулярних ланок, поєднаних між собою у кількості, достатній для прояви комплексу властивостей, що залишаються практично незмінними при додаванні або вилученні однієї або декількох ланок.

Олігомер-речовина, молекули котрої вміщують складові ланки, з'єднані одна із однією певним чином, комплекс властивостей котрої змінюється при додаванні або вилученні однієї або декількох складових ланок.

До складу пластмас входять полімери (зв'язка), наповнювачі, пластифікатори, стабілізатори, забарвники, уповільнювачі старіння, антистатики, антифрикційні домішки, прискорювачі твердіння тощо. У



пластмасах, що розглядаються, використовують термопластичні полімери, котрі при багаторазовому нагріванні розм'якшуються, а при охолодженні твердіють без зміни властивостей внаслідок термоциклювання. Їх основа-полімери із лінійною або розгалуженою структурою.

Для більшості термопластмас робоча температура не перевищує 90°C. При довготривалому статичному навантаженні спостерігається еластична деформація. Границя міцності при розтягу знаходиться в межах 10...100МПа, модуль нормальної пружності (1,8...3,5)·103МПа. В табл.8.1 наведено дані про механічні властивості та максимальні температури експлуатації основних термопластів. Для виготовлення виробів найчастіше використовується лиття під тиском.

Таблиця 8.1 - Механічні властивості та максимальні температури експлуатації термопластів

Термопласт	Межа міцності, МПа	Відносне видовження, %	Ударна в'язкість, кДж/м ²	Максимальна температура експлуатації (без навантаження)	Густина, кг/м ³
Поліетилен ПЕВТ	10-18	300-600	Не руйнується	75	0,93
Поліетилен ПЕНТ	18-32	250-1000	Не руйнується	80	0,95
Поліпропілен	26-38	700-800	30-70	100	0,9
Капрон	75-85	50-130	3-10	100	1,16
Фторопласт-4	20-40	250-300	100	250	1,9-2,2
Органічне скло	80	5-6	2-10	90	1,18
Полівінілхлорид (жорсткий)	50-65	20-50	2-4	85	1,1
Полівінілхлорид (пластифікований)	10-40	50-350	Не руйнується	55	1,05

Температура розтопу, температура пресформи, тиск та тривалість витримки під тиском визначають якість виробів. Завищена температура розтопу може привести до деструкції полімеру.

Тому, наприклад, для полістиролу рекомендують наступні режими лиття: температура розтопу 170...250°C, тиск 6...10 МПа, температура пресформи 40...60°C. Для зниження внутрішніх напружень, підвищення однорідності структури відлиті деталі термічно обробляють. Так, наприклад, поліетилен нагрівають у воді до 70...80°C, витримують 1,5...2хв на 1мм товщини і охолоджують на повітрі.

Призначення термопластів:

- поліетилен-для виготовлення контейнерів, ємностей, деталей хімічного обладнання, плівок тощо;
- поліпропілен-труби, деталі насосів, конструкційні деталі автомобілів;
- полістирол-ручки, корпуси та інші деталі приладів, ємності для хімічних речовин;



- капрон-шківи, болти, втулки, шестерні, гайки, вальниці;
- фторопласт-4-труби, вальниці, втулки, елементи ущільнень, шестерні;
- органічне скло-кришки, резервуари, деталі арматури, трубки;
- полівінілхлорид-труби, оболонки для електричних кабелів та дротів, деталі вентиляційних установок, покриття хімічного обладнання.

Терморективні пластмаси (реактопласти)

Полімери, котрі при нагріванні набувають просторову структуру, уезворотно втрачають здатність розм'якшуватися при повторному нагріванні та розчинятися, називають терморективними. Ці полімери використовують у термостабільному стані після отвердіння, що створює сітчасту структуру із високою щільністю поперечних зв'язків. Переваги реактопластів порівняно із термопластами: підвищена надійність;

стабільність механічних властивостей та відносно мала їх залежність від температури, швидкості деформування та тривалості дії навантаження; більш високий рівень допустимих напружень (15...40МПа); висока питома жорсткість (E/ρ) та питома міцність (σ_B/ρ). За останніми показниками деякі реактопласти мають перевагу над сталями, сплавами на основі міді та алюмінію. В той же час при розтягуванні реактопласти руйнуються без пластичної деформації і утворення шийки, характеризуються низькою ударною в'язкістю. До найважливіших терморективних полімерів відносяться фенолформальдегідні, епоксидні, поліефірні та кремнійорганічні смоли. В залежності від наповнювача терморективні пластмаси поділяють на порошкові, волокнисті та шаруваті. Їх властивості наведено в табл. 8.2. Пластмаси із порошковими наповнювачами використовують для виготовлення електроарматури, кнопок, ручок, контейнерів, кронштейнів, інструментального пристосування, ливарних моделей, витяжних та формовочних пристосувань. Волокнисті використовують для виготовлення виробів, що працюють на згин та кручення: маховики, зубчасті колеса, шківи, фланці, втулки тощо. Листові наповнювачі у шаруватих пластмасах надають матеріалам анізотропність, їх використовують спочатку для виготовлення листів, плит, труб, стрижнів, а потім із напівфабрикатів виготовляють деталі вальниць ковзання, зубчасті колеса, шківи, втулки, деталі автомобілів, корпусні деталі, гальмівні колодки, фрикційні диски, лопатки насосів тощо.

Конструкційна кераміка

Кераміка, що призначена для виготовлення механічно навантажених деталей, називається конструкційною. Її переваги проявляються при підвищених температурах, спрацюванні та у хімічно активних робочих середовищах. До конструкційної кераміки відносять оксидну та безкисневу кераміку. Оксидну кераміку на основі чистих оксидів алюмінію, цирконію, берилію, магнію, кальцію, церію, кремнію одержують у процесі високотемпературного випалювання (1200...2500°C). Властивості такої кераміки наведено в табл. 8.3.

Таблиця 8.2 – Властивості пластичних мас

Пластмаса	Густина, кг/м ³	Максимальна температура доготривалої експлуатації, С	Межа міцності, МПа	Відносне видовження, %	Ударна в'язкість, кДж/м ²	Модуль нормальної пружності, МПа	Твердість, МПа
Порошкова	1,4-1,45	110	30	0,3-0,7	4-6	6300-8000	300-400
Волокнит	1,3-1,45	110	30-60	1-3	9-10,4	8500	250-270
Асбоволокнит	1,95	200	40	1-3	20	18000	300
Скловолокнит	1,7-1,9	280	До 500	1-3	25-150	-	-
Гетинакс	1,3-1,4	150	80-100	1-3	12-25	10000	-
Текстоліт	1,4	115	65-100	1-3	30	5000-10000	-
Деревно-шарувата плита	1,35	140-200	180-300	-	80-90	До 30000	-

Таблиця 8.3 – Властивості оксидної кераміки

Оксид	Густина, кг/м ³	Температура плавлення °С	Границя міцності при стисканні		Модуль нормальної пружності	
			t, °С	$\sigma_{\text{в}}^{\text{ст}}$, МПа	t, °С	E, Гпа
Al ₂ O ₃	3,99	2050	20/1500	3000/50	20/1200	390/350
ZrO ₂	5,6	2700	20/1500	2100/20	20/1200	172/96
BeO	3,0	2570	20/1500	800/50	20/1200	310/70
MgO	3,58	2680	20/1500	1400/1500	20/1200	300/220

Безкиснева кераміка (карбіди, бориди, нітриди та силіциди металів) відрізняється від оксидної більшою вогнетривкістю, твердістю та зносостійкістю, але опір окисленню при температурах вище 1000°С недостатній. Тому її властивості найбільшою мірою реалізуються у вакуумі, нейтральній або відновлювальній атмосфері. Виняток складають SiC, SiN₄, на поверхні яких утворюється оксид SiO₂, котрий захищає виріб від подальшого оксидного руйнування. При експлуатації у вакуумі спостерігається сублімація, яка зростає в наступній послідовності: карбіди→бориди→силіциди→нітриди.

Порівняно із металами та сплавами безкиснева кераміка меншою мірою знеміцнюється при високих температурах. Безкиснева кераміка із кремнієм характеризується високою окалиностійкістю до 1700°С. Властивості основних безкисневих керамічних матеріалів наведено в табл. 8.4.

Конструкційна кераміка використовується для виготовлення деталей газотурбінних двигунів та двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ), що дозволяє

на 30...40% збільшити ККД внаслідок підвищення робочих температур, виключення системи охолодження, зниження втрат на тертя та зношення.

Так, наприклад, в газотурбінних двигунах камери згорання, робочі лопатки, сопловий апарат виготовляють із SiC, статорні лопатки, теплообмінники виготовляють із Si₃N₄. Для виготовлення деталей ДВЗ використовують: Si₃N₄ (гільзи циліндрів, сідла клапанів, ротори турбонаддуву); ZrO₂ (поршні); Al₂O₃, ZrO₂ (кулачки, насадки та штовхачі). Обшивання топок енергетичних установок здійснюють карбідом кремнію SiC, у верстатах вальниці ковзання та кочення виготовляють із Si₃N₄ та ZrO₂.

Таблиця 8.4 – Властивості безкисневих керамічних матеріалів

Оксид	Густина, кг/м ³	Температура плавлення °C	Границя міцності при стисканні		Модуль нормальної пружності	
			t, °C	σ_B^{CT} , МПа	t, °C	E, ГПа
SiC	3,2	2600	20	2250	20	394
BN	2,34	2350	20	550	25	1,12
Si ₃ N ₄	3,19	1820	-	-	20	317
MoS ₂	6,24	2030	50/1500	1100/50	20	430

ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Матеріали, інструменти, прилади та обладнання

Для виконання лабораторної роботи надається набір зразків із різних неметалевих матеріалів, машина для випробування на розтяг, термічна піч, твердомір, термометр, мікрометр, штангенциркуль.

Порядок проведення лабораторної роботи

1. Ознайомитись із зразками, виготовленими із термопластичних, термореактивних та керамічних конструкційних матеріалів.
2. Визначити початкові розрахункові розміри зразків і позначити *l₀*.
3. Провести випробування наданих зразків на розтяг при різних температурах.
4. Визначити границі міцності та відносне видовження і твердість.
5. Розрахувати значення питомої міцності з використанням також даних таблиць 8.1...8.4.

Зміст звіту

Коротка характеристика термопластів, реактопластів та конструкційної кераміки, опис властивостей, складу, призначення. Графіки залежності границі міцності та відносного видовження від температури випробування пластмас. Гістограми питомої міцності пластмас, кераміки, вуглецевих та легованих сталей. Висновки за отриманими даними.



КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що таке пластмаса і які компоненти входять до складу пластмас?
2. Призначення компонентів пластмас?
3. Термопластичні пластмаси: полімери для цих пластмас і їх характеристики?
4. Термопластичні пластмаси, їх властивості та призначення?
5. Терморезистивні полімери, основні види і властивості?
6. Властивості та призначення терморезистивних пластмас?
7. Види, властивості та призначення оксидної кераміки?
8. Види, властивості та призначення безкисневої кераміки?
9. Особливості складу і властивостей неметалевих конструкційних матеріалів порівняно із металами та сплавами?

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бялік О. М., Черненко В. С., Писаренко В. М., Москаленко Ю. Н. Металознавство : підручник. Київ : ІВЦ «Потітехніка», 2001. 375 с.
2. Дяченко С. С., Дощечкіна І. В., Мовлян А. О., Плешаков Е. І. Матеріалознавство : підручник. Харків : Видавництво ХНАДУ, 2007. 440 с.
3. Матеріалознавство. Лабораторний практикум : навч. посібник / за заг. ред. А. Д. Ковалю. Запоріжжя : ЗНТУ, 2011. 119 с.



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №9

Дослідження наноструктурних металевих матеріалів

Мета роботи: Ознайомлення з основними методами отримання, дослідження та оцінки властивостей наноструктурних металевих матеріалів. Аналіз їхньої мікро- та макроструктури, механічних властивостей та потенційного застосування.

ЗАВДАННЯ

- Вивчити методи отримання наноструктурних металевих матеріалів методами інтенсивної пластичної деформації.
- Провести мікроструктурний аналіз зразків наноструктурних металів.
- Зробити висновки щодо перспектив використання наноструктурних металів у техніці та промисловості.

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Наноструктурні матеріали – це матеріали, які мають структурні елементи (зерна, кластерні утворення) розміром від 1 до 100 нм. Вони характеризуються унікальними фізико-механічними властивостями, такими як підвищена міцність, корозійна стійкість, електропровідність та термічна стабільність. До основних методів отримання відносяться:

- Методи інтенсивної пластичної деформації (ІПД) – рівноканальне кутове пресування (РККП), кручення під високим тиском, гвинтове екструдювання, багатопрхідне прокатування.
- Фізико-хімічні методи – осадження з парової фази, електроосадження, плазмохімічні процеси.
- Механічні методи – ультратонке подрібнення.

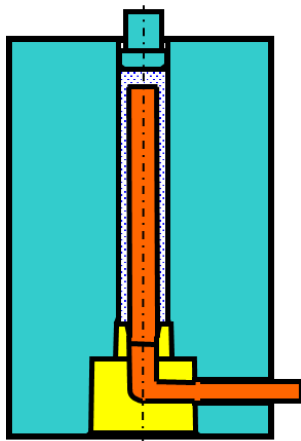
Слід зазначити, що стосовно металевих наноматеріалів саме методи ІПД дозволяють отримувати наноструктурний стан в об'ємі матеріалу, що дозволяє використовувати таку заготовку для виготовлення деталей значного розміру. Найбільш ефективні методи інтенсивної пластичної деформації це:

- Рівноканальне кутове пресування (РККП) – багаторазове пропускання матеріалу через матрицю зі спеціальною геометрією каналів, що сприяє подрібненню зерен до нанорозмірів.
- Кручення під високим тиском (КВП) – застосування високого тиску та обертального навантаження для створення ультрадрібнозернистої структури.
- Гвинтове екструдювання – процес пластичної деформації матеріалу за рахунок його проштовхування через гвинтовий канал.
- Багатопрхідне прокатування – повторне прокатування зразка під різними кутами для отримання наноструктури.

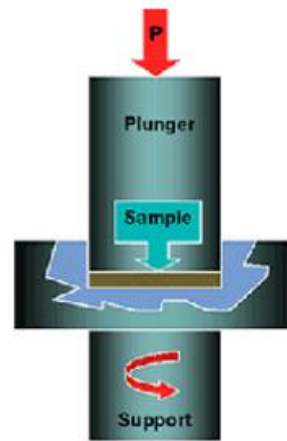
Основні методи дослідження, які використовуються для вивчення наноструктурного стану металевих матеріалів, це:

- Оптична мікроскопія – виявлення загальних характеристик структури.
- Скануюча електронна мікроскопія (SEM) – дослідження поверхневої структури наноматеріалів.
- Трансмісійна електронна мікроскопія (TEM) – аналіз внутрішньої будови матеріалу.
- Аналіз електроннограм від зразків в процесі виконання TEM
- Рентгенівська дифракція (XRD) – визначення фазового складу та розміру кристалітів.

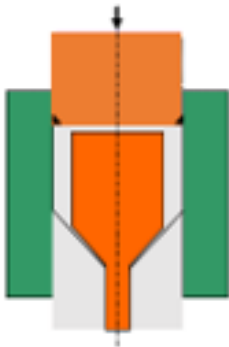
Схеми вказаних технологій наведені на рисунку 9.1.



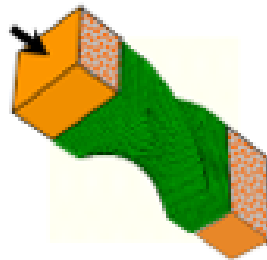
Рівноканальне кутове пресування



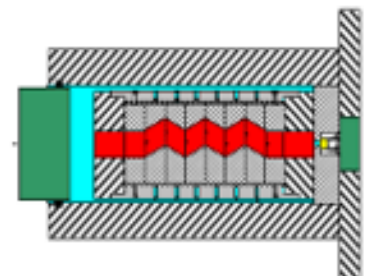
Наковальня Бріджмена



Гідростатична екструзія



Гвинтове пресування



Багатоканальне пресування

Рисунок 9.1 - Схеми отримання наноструктурного стану методами ІПД

Приклад електроннограм, отриманих при дослідженні зразків, що піддавалися ІПД порізним схемам, наведено на рис. 9.2.

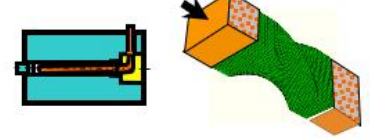
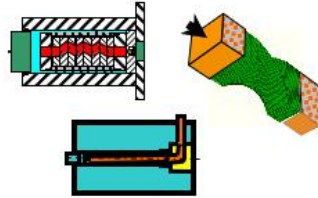
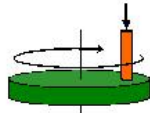
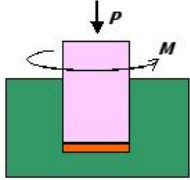
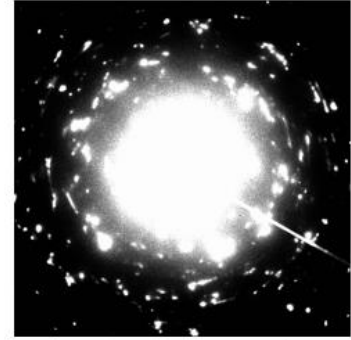
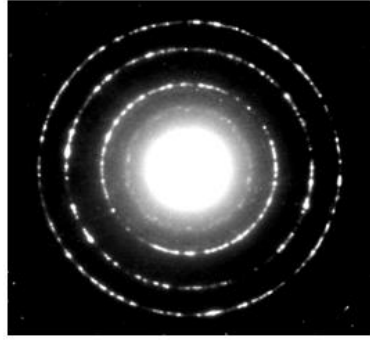


Рисунок 9.2 - Зміна тонкої структури міді після використання різних схем ІПД

ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Отримати від викладача матеріали досліджень зразків та опис схеми ІПД
2. По результатам електронномікроскопічних досліджень та значенням твердості та механічних властивостей зразків сплавів оброблених методом ІПД, визначити вплив обробки на структуру та властивості матеріалу
3. Виконати аналіз отриманих результатів
 - Виконати порівняння характеристик наноструктурного та традиційного матеріалу.
 - Зробити висновок відносно впливу ехнології ІПД на структуру та властивості матеріалу

Зміст звіту

1. Назва роботи та мета.
2. Заповнені таблиці порівняння механічних характеристик
3. Опис основних особливостей структури матеріалів
4. Висновки.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які основні методи отримання наноструктурних металів?
2. Чим відрізняється мікроструктура наноструктурного металу від традиційного?
3. Які властивості покращуються у металів при зменшенні розміру зерен до нанорівня?
4. Які методи використовуються для визначення структури наноструктурних матеріалів?
5. Які перспективи застосування наноструктурних металів у промисловості?



6. Які методи інтенсивної пластичної деформації використовуються для отримання наноструктур?

7. Які основні переваги рівноканального кутового пресування у формуванні наноструктури?

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сусліков Л. М., Дьордяй В. С. Фізика і технологія наноматеріалів : навчальний посібник для студентів фізико-технічних спеціальностей. Ужгород : Видавництво «Говерла», 2023. 437 с

2. Панченко С. П. Функціональні наноматеріали : конспект лекцій для здобувачів ступеня бакалавра спеціальності 132 Матеріалознавство. Дніпро : НТУ «ДП», 2022. 47 с.

3. Конспект лекцій з дисципліни „Фізичні принципи виготовлення аморфних та нанокристалічних сплавів” для студентів спеціальності 7.04020302 „Фізика конденсованого стану” / уклад. О. Л. Косинська. Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2013. 49 с.

4. Литвин В. А. Наноструктурні системи і матеріали : збірник задач. Черкаси : Вид. від. ЧНУ імені Богдана Хмельницького, 2014. 152 с.



ПРИКЛАД ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА

**ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Кафедра матеріалознавства та прикладної механіки**

**Звіт
з лабораторної роботи №_
<Назва лабораторної роботи>**

з навчальної дисципліни

«Матеріалознавство»

Здобувача групи 136Х-ХХ-1м
Прізвище Ім'я По батькові

Керівник:

ПІБ

Запоріжжя, 202_



Навчально-методичне видання

**Пашинський Володимир Вікторович
Бойко Ігор Олександрович
Пашинська Олена Генріхівна**

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

методичні вказівки до виконання лабораторних робіт

Самостійне електронне мережеве видання

Публікується в авторській редакції