

**Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя**

Кафедра будівельної механіки

**Методичні вказівки та протоколи лабораторних робіт
з курсу
«Світлотехнічні та конструкційні матеріали»,
розділ «Конструкційні матеріали»
для студентів бакалаврату «Електротехніка»**

Студент _____

Факультет _____

Курс _____ Група _____

**Тернопіль
2014**

УДК 621.7 (07)

ББК 30.3

М54

Методичні вказівки та протоколи лабораторних робіт з курсу « Світлотехнічні та конструкційні матеріали » , розділ « Конструкційні матеріали » для студентів бакалаврату « Електротехніка » / Г . М . Крамар , Л . Г . Бодрова . – Тернопіль , Вид - во ТНТУ ім . І . Пулюя , 2014 . – 60 с .

М54

Укладачі: канд. тех. наук, доц., *Г.М. Крамар*

канд. тех. наук, доц., *Л.Г. Бодрова*

Рецензент: канд. тех. наук, доц., *Я.О. Ковальчук*

Методичні вказівки затверджено на засіданні кафедри будівельної механіки (протокол №6 від 26 лютого 2013 року)

Схвалено до друку рішенням вченої ради механіко-технологічного факультету (протокол №5 від 15 березня 2013 року)

З М І С Т

Вступ.....	4
Правила техніки безпеки при виконанні лабораторних робіт.....	5
<i>Лабораторна робота № 1</i>	
Мікроструктура залізовуглецевих сплавів	6
<i>Лабораторна робота № 2</i>	
Термічна обробка сталей.....	16
<i>Лабораторна робота № 3</i>	
Структура і властивості легованих сталей.....	24
<i>Лабораторна робота № 4</i>	
Сплави на основі алюмінію і міді.....	30
Протоколи лабораторних робіт	
<i>Лабораторна робота № 1</i>	40
<i>Лабораторна робота № 2</i>	45
<i>Лабораторна робота № 3</i>	48
<i>Лабораторна робота № 4</i>	55
Література.....	58

ВСТУП

Дисципліна «Світлотехнічні та конструкційні матеріали», розділ «Конструкційні матеріали» – одна з основних у циклі технічних дисциплін при підготовці інженерів світлотехнічного виробництва.

При виконанні лабораторного практикуму з матеріалознавства значну увагу приділено навчально-дослідній роботі з вивчення матеріалів, які застосовуються в світлотехнічній промисловості, закономірностям залежностей їх властивостей від хімічного складу, структури, способів обробки та умов експлуатації. Вивчення теорії і практики різних способів зміцнення матеріалів дозволяє забезпечити високу надійність і довговічність деталей машин, електричних та вимірювальних приладів, інструментів і т.п.

Після виконання кожної лабораторної роботи студенти заповнюють протокол.

Перелік лабораторних робіт відповідає робочій програмі дисципліни «Світлотехнічні та конструкційні матеріали», розділ «Конструкційні матеріали» для студентів бакалаврату «Електротехніка».

Мета посібника забезпечення можливості студентам самостійно підготуватися до виконання лабораторної роботи й оформити її результати.

ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОНАННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Лабораторні роботи з курсу «Світлотехнічні та конструкційні матеріали», розділ «Конструкційні матеріали» виконуються в навчально-наукових лабораторіях кафедри будівельної механіки. **Дотримання правил техніки безпеки є обов'язковою умовою при виконанні робіт.** Для забезпечення цього кожен студент повинен ознайомитися з вимогами правил техніки безпеки та отримати допуск викладача до виконання робіт.

Забороняється перебування в лабораторіях у верхньому одязі. Студенти, які тимчасово не працюють з обладнанням, повинні перебувати в місці, вказаному викладачем.

Устаткування, яке використовується для виконання лабораторних робіт, обладнане електроприводами з напругою живлення 380 Вольт. Для попередження ураження електричним струмом загальними вимогами при використанні лабораторного обладнання є дотримання правил експлуатації промислового електроустаткування. Студентам забороняється вмикати обладнання, не призначене для виконання поточної лабораторної роботи, відчиняти дверцята електричних шаф та рубильників. Без вказівки викладача чи лаборанта забороняється вмикати або вимикати вимикачі та рубильники.

Всі зайві предмети, які не стосуються виконуваної роботи, необхідно прибрати з робочого місця. Перед запуском обладнання необхідно пересвідчитись в його безпечності. При виявленні недоліків не вмикати напругу і повідомити про це викладача або лаборанта, не вживаючи самому заходи для усунення неполадок.

При виконанні деяких робіт використовуються хімічні реактиви, тому працювати з ними потрібно з дотриманням правил поведінки в хімлабораторіях. У першу чергу, не допускати попадання реактивів на відкриті ділянки шкіри, в очі. При випадковому попаданні таких рідин на шкіру потрібно негайно змити їх струменем проточної води.

Виконуючи роботи, які передбачають нагрівання матеріалів, необхідно оберегатися термічних опіків шкіри та загоряння одягу.

Не допускайте пустощів у лабораторіях! Не користуйтеся обладнанням, яке не стосується виконуваної лабораторної роботи. Не переносьте лабораторне обладнання з одного робочого місця на інше. Студентів, які порушують правила техніки безпеки, не допускають до виконання лабораторних робіт, вони прездають ці правила.

Порушення правил техніки безпеки може призвести до нещасних випадків. **Строго дотримуйтесь цих правил.** Це збереже вам здоров'я та життя. Застерігайте від порушення правил техніки безпеки своїх колег.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

МІКРОСТРУКТУРА ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ (ВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ, ЧАВУНІВ)

Мета роботи

Вивчення мікроструктури вуглецевих сталей у відпаленому стані та чавунів.

Короткі теоретичні відомості

ВУГЛЕЦЕВІ СТАЛІ

Мікроструктура вуглецевих сталей та білих чавунів описується діаграмою стану залізо-цементит, яка наведена на рис. 1.1.

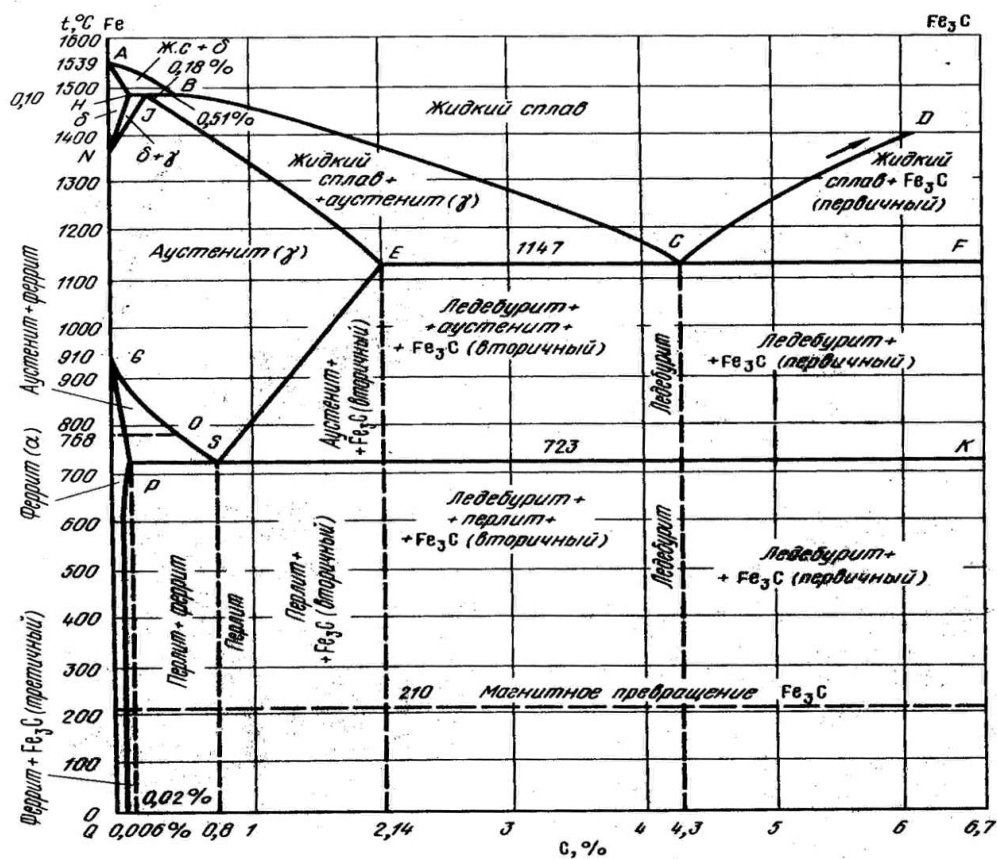


Рис. 1.1. Діаграма стану залізо-цементит

Класифікація вуглецевих сталей

Сталі класифікують за:

- структурою у рівноважному (відпаленому) стані;
- призначенням;
- складом;
- ступенем розкислення;
- способом виробництва;
- якістю.

1. Класифікація за структурою:

- доевтектоїдні сталі з умістом від 0,02 % до 0,8 % вуглецю зі структурою, яка складається з фериту – світлі зерна і перліту – темні зерна. Кількість перліту в сталі змінюється пропорційно кількості вуглецю;
- евтектоїдні, що містять 0,8 % вуглецю, із структурою – перліт;
- заевтектоїдні сталі з умістом від 0,8 % до 2,14 % вуглецю зі структурою, що складається з перліту і вторинного цементиту, розміщеного у вигляді стінки межами зерен перліту. Цементит, як і ферит, при травленні 4 %-им розчином азотної кислоти в спирті має білий колір. Тому застосовують лужний травник – нітрат натрію, який забарвлює цементит у темний колір і зовсім не діє на ферит.

2. Класифікація за призначенням:

- будівельні;
- машинобудівні або конструкційні, які залежно від термообробки поділяють на цементовані, покращувані, середньовідпушені (ресорно-пружинні), автоматні, ливарні;
- інструментальні сталі, що містять 0,7 – 1,3 % вуглецю.

3. Класифікація за ступенем розкислення:

- киплячі, розкислені лише марганцем (позначають кп);
- напівспокійні, розкислені марганцем і алюмінієм (позначають пс);
- спокійні, розкислені марганцем, кремнієм і алюмінієм (позначають сп).

4. Класифікація за складом:

- маловуглецеві (0,02 – 0,25 % вуглецю);
- середньовуглецеві (0,25 – 0,64 % вуглецю);
- високовуглецеві (0,64 – 2,14 % вуглецю).

5. Класифікація за способом виробництва:

- мартенівські, отримані в мартенівських печах;

- конверторні, отримані в конверторах;
- електросталі, отримані в електропечах;
- вакуумні, отримані у вакуумних печах;
- електрошлакові, отримані способом електрошлакового переплаву.

6. Класифікація за особливими (дефектними) структурами сталі.

Особливими (дефектними) називають структури металів і сплавів, які не є типовими, їх отримують у результаті виконання деяких технологічних операцій або відхилення від встановлених режимів. До особливих структур належать:

- крупнозерниста;
- відманштеттова;
- перепаленого металу;
- зварного заліза;
- стрічкова або лінійчаста.

Крупнозерниста структура спостерігається, як правило, в литій або перегрітій сталі. Знижує механічні властивості. виправляють її відпалом.

Відманштеттова структура є наслідком додаткового прискореного охолодження перегрітої сталі з характерним розміщенням фериту у вигляді голок межами і всередині зерен. Вона супроводжується дуже низькими механічними властивостями, особливо ударною в'язкістю. виправляють відпалом.

Структура перепаленого металу є результатом високого нагрівання (близько до точки плавлення). Цій структурі характерні крупні зерна, межі яких оплавлені. Сталь обезвуглецьована на поверхні й межами зерен. Утворені небезпечні домішки порушують зв'язок між зернами. Перепал – невивправний дефект.

Зварне залізо отримують особливим способом. Після продування в конверторі отриманий метал виливають у ванну з рідким шлаком, отримують крицю, яку піддають обробці тиском. Такий метал не містить розчиненого кисню, не має бульбашок, тріщин, усадочних раковин. Недоліком цього заліза є наявність шлаку, який знижує механічні властивості. Мікроструктура зварного заліза складається з фериту й орієнтованих шлакових домішок.

Стрічкова структура є результатом сильного забруднення сталі неметалічними домішками (оксиди, сульфід), які при гарячій обробці тиском витягуються у вигляді стрічок у напрямку деформуючого зусилля. Стрічкова структура може бути й результатом порушення технологічної

обробки тиском. Якщо кінець обробки тиском проводити при зниженій температурі у двофазній ділянці аустеніту і фериту, то ферит, що виділяється, витягується стрічками в напрямку прикладеного зусилля. Стрічкова структура супроводжується анізотропією властивостей. Усувають її відпалом або нормалізацією.

7. Класифікація за якістю.

Класифікація за якістю проводиться залежно від кількості домішок S і P.

2.7.1. Сталі звичайної якості (вміст S і P 0,04...0,06 % кожного).

2.7.2. Якісні сталі (0,035 % S, 0,035 % P).

2.7.3. Сталі високої якості (0,025 % S, 0,025 % P).

2.7.4. Сталі особливо високої якості (0,015 % S, 0,015 % P).

Маркування сталей

Сталі за ДСТ маркують буквеними і числовими індексами.

1. Сталі вуглецеві звичайної якості.

Сталі вуглецеві звичайної якості за ДСТ 380 – 71 поділяють на три групи:

А – які поставляють за механічними властивостями;

Б – які поставляють за хімічним складом;

В – які поставляють за хімічним складом і механічними властивостями.

Залежно від нормуючих показників (вміст C, P, S) сталь кожної групи поділяють на категорії.

Сталі залежно від групи маркують:

А – Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6;

Б – БСт0, БСт1...БСт6;

В – ВСт1 ... ВСт5.

Букви Ст означають «сталь звичайної якості», цифри від 0 до 6 – умовний порядковий номер марки. Букви Б і В перед маркою означають групу сталі; групу А не вказують.

Індекси кп, пс, сп після номера марки позначають ступінь розкислення сталі.

Дуже важливою експлуатаційною і технологічною характеристикою сталі є величина зерна, яку визначають з допомогою мікроскопа при 100-кратному збільшенні шляхом замірювання або порівняння зі стандартною шкалою, що містить 8 номерів. Номеру 1 відповідає найкрупніше зерно, а

номеру 8 – найменша величина. Киплячі сталі – грубозернисті, спокійні – дрібнозернисті.

2. Конструкційні якісні сталі.

Конструкційні якісні сталі класифікують за ДСТ 1050-70.

Наприклад: сталь 05кп, 08кп, 10кп, 16кп, Сталь 15, Сталь 20, Сталь 60

Цифри вказують середній вміст вуглецю в сотих долях процента.

Для позначення конструкційної якісної сталі з підвищеним умістом марганцю в кінці марки ставлять букву Г: 15Г, 20Г.

3. Інструментальні вуглецеві якісні сталі.

Інструментальні вуглецеві якісні сталі маркують за ДСТ 1435-70 буквою У і цифрою, що вказує вміст вуглецю в десятих долях процента: У7, У8 ... У13.

Для позначення високоякісної сталі в кінці марки ставлять букву А, а сталі особливо високої якості – букву-Ш: У7А, У7Ш.

ЧАВУНИ

Чавунами називають сплави заліза з вуглецем, які містять понад 2,14 % (за вагою) вуглецю. Теоретична межа між сталями і чавунами вказана на діаграмі стану системи Fe-C точкою «Е», яка визначає найбільшу кількість вуглецю, що може бути розчинений в Fe_γ при температурі 1147°C. Частіше зустрічаються чавуни з умістом 2,5 – 4,5 % С.

Крім вуглецю, який є головним компонентом сплаву, в чавунах завжди є інші елементи, постійно присутні в кожному з чавунів, переходячи до його складу в доменній печі із залізних руд, палива, флюсів. Інші, такі, як Ni, Cr, Cu, Mo, потрапляють випадково, перебуваючи в залізних рудах, або ж їх вводять у чавун для надання йому особливих властивостей.

Вуглець у чавунах може бути або в хімічно зв'язаному із залізом стані у вигляді Fe₃C, який називають *цементитом* або карбідом заліза, або у вигляді так званого вуглецю відпалу (*графіту*). Залежно від виду, в якому знаходиться вуглець у чавунах, їх поділяють на білі та сірі.

Сірі чавуни за формою графіту підрозділяють на сірі звичайні, ковкі й високоміцні. *Білі чавуни* – це граничні чавуни; їх використовують для виробництва сталі. Білі чавуни є також вихідним продуктом для отримання так званих «ковких» чавунів. Сірі звичайні, високоміцні та ковкі чавуни – це ливарні сплави, їх використовують для виготовлення відливок деталей машин. На поведінку вуглецю в сплавах з залізом впливають два фактори:

1. Хімічний склад сплаву.
2. Швидкість його охолодження, особливо в ділянці високих температур.

Білі чавуни.

У цих чавунах весь вуглець міститься у вигляді Fe_3C . Цьому сприяє, головним чином, підвищений вміст Mn у чавунах. Марганець сам утворює карбіди з вуглецем і сприяє більшій стійкості Fe_3C в чавуні. Марганцю в переробних чавунах міститься завжди від 1,0 до 2,5 %. Аналогічно до марганцю діє хром, молібден та інші карбідоутворюючі елементи.

Мікроструктура білих чавунів залежить від умісту в них вуглецю, її легко можна визначити за діаграмою стану. Характерною структурною складовою білих чавунів є евтектика *ледебурит*.

Ледебуритом називають механічну суміш аустеніту і первинного цементиту, яка утворюється при температурі $1147^{\circ}C$ і містить 4,3 % C (точка C на діаграмі).

Білий чавун, який містить 4,3 % C, має структуру, що складається тільки із зерен ледебуриту. Це – евтектичний білий чавун. При температурі $1147^{\circ}C$ аустеніт, який входить до складу евтектики, містить у розчині 2,14 % C. При зниженні температури від $1147^{\circ}C$ до $727^{\circ}C$ з аустеніту виділяється вторинний цементит (по лінії ES на діаграмі), який зазвичай структурно не виявляється, так як він об'єднується з цементитом евтектичного походження. При температурі $727^{\circ}C$ аустеніт має концентрацію, яка дорівнює 0,8 % C і при цій температурі перетворюється в перліт. І тому нижче $727^{\circ}C$ ледебурит вже є сумішшю цементиту і перліту, яка зберігає характерні ознаки механічної суміші.

На відміну від ледебуриту, що утворився при температурі $1147^{\circ}C$ та існував до температури $727^{\circ}C$, ледебурит в ділянках температур нижче евтектоїдної називають *перетвореним ледебуритом*. Білі чавуни з умістом вуглецю від 4,3 до 6,67 % називають заевтектичними. В структурі цих чавунів крім ледебуриту є зерна надлишкового первинного цементиту, який виділяється зі сплаву при його затвердінні, починаючи від лінії CD на діаграмі у формі довгих голкових кристалів.

Так як первинний цементит не має структурних перетворень, то при температурах нижче $727^{\circ}C$ структура заевтектичного білого чавуну складається з перетвореного ледебуриту і первинного цементиту. Білі чавуни з умістом вуглецю від 2,0 до 4,3 % називають доевтектичними.

Крім ледебуриту, в їх структурі є надлишковий аустеніт, який виділяється з рідкого сплаву при його кристалізації по лінії AC на діаграмі.

При охолодженні від температури 1147°C до 727°C аустеніт, що виділився спочатку, змінює свою концентрацію від 2,14 до 0,8 % С і при температурі 727°C знову зазнає перлітного перетворення. Нижче 727°C структура білого чавуну складається з перетвореного ледебуриту, перліту і вторинного цементиту.

Кількісне співвідношення між структурними складовими в білих чавунах легко визначити за діаграмою Fe-Fe₃C сплавів, використовуючи правило відрізків.

Білі чавуни за механічними властивостями відрізняються великою крихкістю і високою твердістю, яка збільшується пропорційно вмісту вуглецю.

Сірі чавуни.

Характерною структурною складовою сірих звичайних чавунів є пластинчатий *графіт*. Відносно умов утворення графіту серед матеріалознавців є дві точки зору:

1. Графіт виділяється безпосередньо з розчину.
2. Завжди за будь-яких умов графіт є продуктом розпаду цементиту.

Друга теорія розповсюдженіша і вона більш відповідає сучасним уявленням про фазові перетворення в сплавах і повністю пояснює зміни, які спостерігаються в чавунах.

Графіт непластичний, його міцність мізерна. Твердість графіту дуже мала. В сірому чавуні графіт розташований у вигляді пластинок різної форми і довжини, розрихлює його металічну основу і знижує його властивості.

Графіт, як неметалічна складова, слабо полірується і зовсім не відображає світла в мікроскопі. Тому вже на нетравленому шліфі графіт можна легко відрізнити на фоні неметалічної основи чавуну.

Вуглець у сірому чавуні в більшості знаходиться у вигляді графіту. Частина вуглецю може також бути зв'язана з залізом у вигляді Fe₃C.

$$C_{\text{заг}} = C_{\text{зв'яз}} + C_{\text{св.}} \quad (1.1)$$

На відміну від мікроструктури білих чавунів, яку визначають загальним умістом вуглецю в чавуні, мікроструктура металічної основи сірих чавунів залежить тільки від кількості зв'язаного в них вуглецю. На цю кількість впливає наявність в чавуні домішок, які сприяють графітизації, особливо кремнію. Кількість кремнію в сірих чавунах знаходиться в межах від 1,25 до 4,25 %. Аналогічно кремнію графітизації сірого чавуну сприяють також алюміній, нікель, мідь та ін.

На кількість Fe_3C в чавуні значно впливає також швидкість охолодження сплаву. Швидке охолодження, як правило, сприяє утворенню Fe_3C , повільне охолодження – його розкладу і виділенню графіту.

Класифікація сірих чавунів за видом металічної основи.

1. Якщо в сірому чавуні $C_{зв'яз.} = 0\%$ і весь $C_{заг.} = C_{граф.}$, то мікроструктура такого чавуну складається з фериту і графіту.

2. Якщо $0\% < C_{зв'яз.} < 0,8\%$, то структура сірого чавуну складається з фериту, перліту і графіту.

Сірі чавуни, в яких $C_{зв'яз.} \leq 0,8\%$, називають доевтектоїдними сірими чавунами.

3. Якщо $C_{зв'яз.}$ у сірому чавуні відповідає вмісту його в евтектоїді (0,8%), мікроструктура такого чавуну складається з перліту і графіту.

4. Якщо $C_{зв'яз.}$ в сірому чавуні від 0,8 до 2,0%, його мікроструктура складається з перліту, вторинного цементиту і графіту. Це так звані половинчасті сірі чавуни.

На практиці найчастіше отримують перлітний сірий чавун, який має високі механічні властивості, високу зносостійкість і добру оброблюваність на верстатах.

Форма виділення графіту в сірому чавуні істотно впливає на механічні властивості останнього. Чавун, в якому вуглець знаходиться у вигляді дрібних пластинок, має підвищені механічні властивості, чавун з крупнопластинчастим виділенням графіту – знижені механічні властивості. Високоміцний модифікований сірий чавун отримують шляхом додавання в чавун незадовго перед розливанням (на жолоб або в ковш) у невеликих кількостях (від 0,1 до 0,8%) магнію і феросиліцію чи інших модифікаторів. Тепер модифікований чавун отримують з межею міцності на розтяг від 450 до 1000 МПа і відносним видовженням від 1,5 до 7,8%.

Ковкий чавун.

Ковким чавуном називають чавун, отриманий спочатку у вигляді виливки білого чавуну, який шляхом подальшої термічної обробки – відпалу (томлення) змінює свій внутрішній склад і механічні властивості.

Отримання ковкого чавуну ґрунтується на властивості цементиту при нагріванні до високих температур і витримці при цих температурах розкладатися: $Fe_3C \rightarrow 3Fe_{\gamma} + C$ з виділенням вуглецю у вигляді пластівців. Цей вуглець називають *вуглецем відпалу*.

Перебуваючи в чавуні у вигляді пластівців, вуглець відпалу руйнує і розпушує зв'язок зерен його металічної основи в меншій мірі, ніж графіт у

сірому звичайному чавуні й такий чавун має підвищені механічні властивості, особливо міцність. Він також набуває деякої пластичності, яка дозволяє відливкам з ковкого чавуну сприймати пружні й незначні пластичні деформації без небезпеки їх руйнування.

Залежно від ступеня графітизації відливки структури ковкого чавуну може складатися з фериту і вуглецю відпалу або ж перліту і вуглецю відпалу.

Маркування чавунів

Сірі звичайні чавуни маркують буквами СЧ і цифрами, що означають границю міцності на розтяг в кгс/мм². Наприклад, СЧ15 і СЧ20 і т.п.

Ковкі чавуни маркують буквами КЧ і цифрами, перша з яких означає межу міцності на розтяг в кгс/мм², а друга – відносне видовження в %. Наприклад, КЧ 33-6 ($\sigma = 33$ кгс/мм² або 330 МПа, $\delta = 6$ %).

Високоміцні чавуни маркують буквами ВЧ і цифрами, які мають той же зміст, що і у сірих звичайних чавунах. Наприклад, ВЧ100 $\sigma = 100$ кгс/мм² або 1000МПа.

Прилади і матеріали:

1. Матеріали:

- зразки сталі (5 шт.);
- технічне залізо;
- сталь доевтектоїдна, евтектоїдна і заевтектоїдна;
- зразок з дефектною структурою.
- зразки чавунів у нетравленому вигляді (3 шт.);
- зразки чавунів у травленому вигляді (3 шт.);
- зразки білих чавунів (3 шт.);
- травники;
- спирт;
- промокальний папір;
- вата;
- піпетка;
- фетр.

2. Наочні посібники:

- стандартна шкала величини зерна;
- альбом з фотознімками структур сталі;
- графік залежності властивостей структур сталі від умісту вуглецю;
- таблиця марок сталі.

3. Обладнання:

- мікроскопи МИМ-7, ММР-4;
- шліфувально-полірувальна машина.

Порядок проведення роботи

1. Отримати прилади і матеріали.
2. Покласти заздалегідь підготовлений зразок на стіл мікроскопа полірованою поверхнею до об'єктива.
3. Дослідити й описати мікроструктуру заданих зразків, схематично замалювати кожну.
4. Під кожним зразком вказати збільшення і назву структури.
5. Визначити вміст вуглецю в досліджуваних сталях.
6. Визначити шляхом порівняння зі стандартною шкалою номер зерна сталі.
7. Розглянути під мікроскопом і замалювати мікроструктури доєвтектичного і заєвтектичного білих чавунів; вказати їх хімічний склад і властивості.
8. Вивчити і замалювати мікроструктури сірих звичайних чавунів з різною металічною основою до і після травлення.
9. Замалювати типові мікроструктури високоміцного і ковкого чавунів, пояснити, як впливає форма графіту на механічні властивості чавуну.

Контрольні запитання

1. Що таке сталі?
2. Вплив вуглецю та домішок на властивості сталей.
3. Охарактеризувати фазові та структурні складові сталей.
4. Ізотермічні перетворення в сталях.
5. Класифікація вуглецевих сталей.
6. Маркування вуглецевих сталей.
7. Яка різниця між сталями і чавунами?
8. В якому вигляді може бути присутнім вуглець у чавунах?
9. Яка різниця між білими і сірими чавунами? Галузь їх застосування.
10. Які структурні складові зустрічаються в білих чавунах?
11. Як поділяють білі чавуни залежно від умісту в них С?
12. Що таке аустеніт, ледебурит, перліт?
13. Яка структурна складова характерна для сірих чавунів?
14. Як впливає графіт на властивості металічної основи сірого чавуну?
Властивості модифікованого чавуну.

15. Яка різниця в хім. складі білого і сірого чавунів? Де більше марганцю, де більше кремнію? Як ці елементи впливають на властивості чавунів?
16. Як впливає фосфор і сірка на ливарні властивості сірих чавунів?
17. Як класифікують сірі чавуни за структурою?
18. Що називають ковким чавуном? Яка різниця між ковким і сірим звичайним чавуном?
19. Як маркують чавуни?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2
ТЕРМІЧНА ОБРОБКА СТАЛЕЙ
Мета роботи

Вивчити вплив на структуру і твердість сталі швидкості охолодження при термічній обробці; вмісту вуглецю; температури відпуску. Оволодіти методикою термічної обробки.

Короткі теоретичні відомості

Термічною обробкою (ТО) називають нагрівання сплаву до певної температури, витримка його при даній температурі і подальше охолодження із заданою швидкістю.

Метою термообробки є отримання заданих властивостей сплаву шляхом зміни його структури без зміни форми і складу. Термічною обробкою можна змінити властивості сплавів для найрізноманітніших цілей. Будь-який режим термообробки може бути графічно представлений в координатах «температура-час».

Зміна складу і властивостей сплавів шляхом термічної обробки тісно пов'язана з діаграмами стану. Діаграма стану показує, які сплави можуть піддаватися термічній обробці і в яких сплавах даної системи можна очікувати максимального ефекту термообробки.

Для того, щоб можна було здійснити ТО, сплав повинен мати фазові перетворення, тобто при нагріванні в ньому мають проходити або зміна розчинності (рис. 2.1а, б) або алотропні перетворення (рис. 2.1в). Сплави, що не мають фазових перетворень, зумовлених зміною розчинності чи алотропним перетворенням, не можуть зміцнюватися шляхом термічної обробки.

Основними видами ТО є:

а) **відпал I-го роду** – термічна обробка сплавів, що як правило не мають фазових перетворень, яка полягає в нагріванні до певної температури з подальшим повільним охолодженням (з піччю);

б) **відпал II-го роду** – нагрівання вище температури фазових перетворень з подальшим повільним охолодженням. Якщо охолодження проводиться прискорено, тобто на повітрі, то такий відпал називають **нормалізацією**;

в) **гартування** – нагрівання вище температури фазових перетворень із подальшим швидким охолодженням. При гартуванні різко змінюються властивості – твердість, міцність зростають, пластичність знижується, фіксується нерівноважний стан сплаву;

г) *відпуск* – термічна обробка, яка полягає у нагріванні загартованої сталі нижче температур фазових перетворень з метою зняття внутрішніх напружень і остаточного формування структури і властивостей.

Найпоширенішим видом зміцнюючої термообробки вуглецевих сталей, що містять більше 0,3 % вуглецю, є гартування з відпуском.

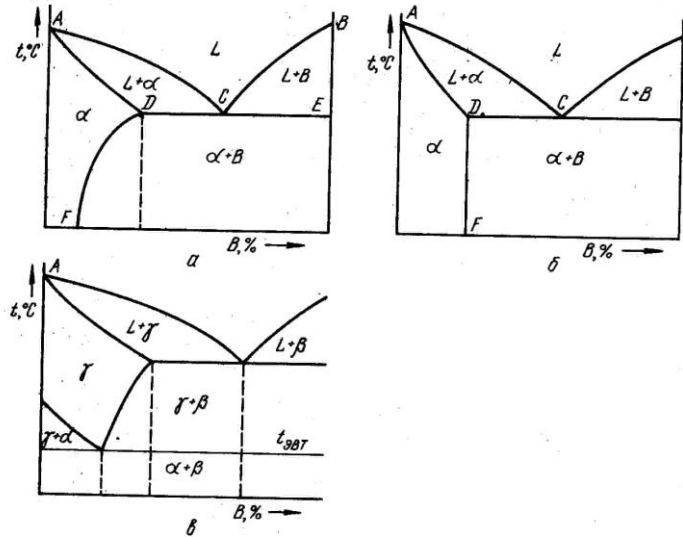
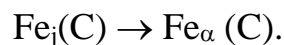


Рис. 2.1. Діаграми стану сплавів, що можуть термічно зміцнюватися

Гартуванню піддають інструменти для обробки металів – різці, свердла, зубила, напильники; вимірювальний інструмент – калібри, шаблони; інструменти, що деформують метал у холодному стані – штампи, а також різноманітні деталі машин – пружини, шийки колінвалів та ін.

Основною структурною складовою загартованих сталей є *мартенсит*, тобто пересичений розчин вуглецю в α -Fe. Мартенсит утворюється в результаті бездифузійного перетворення переохолодженого до 200 °C аустеніту.

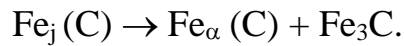


Мартенсит має дуже високу твердість і разом з тим він крихкий і непластичний.

Перетворення аустеніту в мартенсит супроводжується збільшенням об'єму на 2,5 – 3 %. Збільшення об'єму є однією з причин виникнення внутрішніх напруг, які можуть викликати деформування й утворення тріщин у виробках в процесі гартування.

Крім мартенситу, структурними складовими загартованої сталі можуть бути сорбіт, тростит і бейніт.

Сорбіт – це дрібнодисперсна суміш фериту і цементиту, яка утворюється в результаті розпаду аустеніту, переохолодженого до 650 °C.



Сорбіт має високі механічні властивості: високу міцність і добру в'язкість при підвищеній твердості (НВ 250-300).

Тростит також є сумішшю фериту і цементиту, але більш дисперсною, ніж сорбіт. Утворюється в результаті розпаду аустеніту, переохолодженого до 600 – 560 °С. Разом з високою міцністю тростит має високу границю пружності, але низьку в'язкість.

Бейніт – це структура змішаного типу – частково перлітного, частково мартенситного, оскільки складається з пересиченого розчину вуглецю в α -Fe і цементиту Fe_3C . Твердість бейніту вища, ніж у перлітних структур (сорбіту і троститу), і нижча, як у мартенситу. Бейніт утворюється в проміжній області, що межує з областями перлітного і мартенситного перетворень.

Охолодження можна проводити:

- 1) ізотермічним методом, тобто в нагрітому середовищі, що має температуру, яка лежить в інтервалі між точками A_{c1} (727 °С) і M_p (точка початку мартенситного перетворення);
- 2) шляхом неперервного охолодження.

Процес ізотермічного розпаду зображається у вигляді С-подібних кривих, що показують кількість розкладеного аустеніту залежно від часу, що пройшов з початку перетворення при даній температурі (рис. 2.2).

Перетворення при неперервному охолодженні легко пов'язати з перетвореннями при ізотермічному розпаді переохолодженого аустеніту шляхом накладання кривих неперервного охолодження на С-подібну діаграму (рис. 3.3). Як бачимо з діаграми, при малих швидкостях будуть отримані перлітні структури – сорбіт, тростит, а при великих – мартенсит.

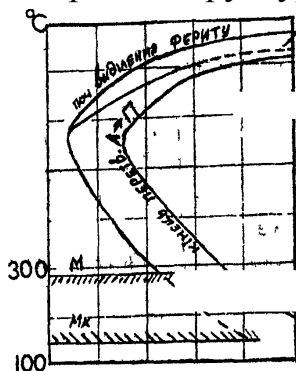


Рис. 2.2. Діаграма ізотермічного розпаду аустеніту

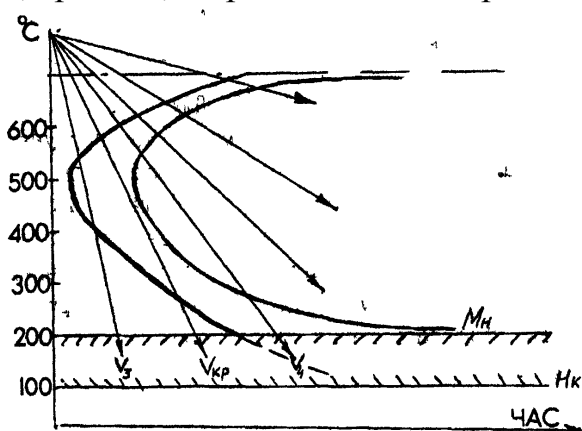


Рис. 2.3. Утворення різних структур при неперервному охолодженні

Отже, *критична швидкість гартування* ($V_{кр}$) – це така мінімальна швидкість охолодження, при якій аустеніт перетворюється в мартенсит. Температурний інтервал мартенситного перетворення (Мп-Мк) залежить від хімічного складу сталі.

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ГАРТУВАННЯ

Температура нагрівання під гартування визначається хімічним складом сталі. Для доевтектоїдної сталі температура нагрівання має бути на 30 – 50 °С вища критичної точки A_3 , а для заевтектоїдної сталі – на 30 – 50 °С вища критичної точки A_1 .

В якості *гартувальних середовищ* використовують: воду, розчини солей, лугів, кислот; мінеральні масла; розплави солей і легкоплавких металів.

СПОСОБИ ГАРТУВАННЯ СТАЛЕЙ:

- а) гартування в одному охолоджувачі;
- б) перервне гартування;
- в) гартування з підстуджуванням;
- г) гартування із самовідпуском;
- д) ступінчасте гартування;
- е) ізотермічне гартування;
- є) поверхневе гартування.

Гартування в одному охолоджувачі

Виріб, нагрітий до температури гартування, занурюють у гартувальне середовище (воду чи масло), де витримують до повного охолодження. Цей метод гартування найпростіший і використовується для більшості сталевих виробів нескладної форми. **Недоліком** цього методу є небезпека виникнення великих внутрішніх напружень при температурі мартенситного перетворення, якщо гартування проводилось у воді.

Перервне гартування

Виріб охолоджують спочатку в швидко охолоджуючому середовищі, а потім – у повільно охолоджуючому. Перше охолодження проводять у воді, а потім виріб переносять в масло. Цей спосіб використовується для гартування виробів з вуглецевих інструментальних сталей середніх і великих перерізів. **Недоліком** цього методу є складність регулювання витримки у воді. Орієнтовно час витримки у воді береться рівним 1 сек – на кожні 5 – 6 мм товщини виробу.

Гартування з підстуджуванням

Використовується цей метод для зменшення внутрішніх напружень. Загартовувану деталь перед зануренням в охолоджувач деякий час витримують на повітрі. При підстуджуванні температура деталей не повинна знижуватися нижче критичної точки A_{c3} (для доевтектоїдних сталей) чи A_{c1} (для заевтектоїдних сталей).

Ступінчасте гартування

Загартовувана деталь після нагрівання до температури гартування охолоджується в гартувальному середовищі, нагрітому вище температури M_p , що забезпечує швидкість охолодження вище критичної в інтервалі найменшої стійкості аустеніту. Витримка в цьому середовищі повинна надати загартованій деталі температуру гартувальної ванни і не повинна перевищувати час, що відповідає початку перетворення аустеніту для даної сталі. Потім йде остаточне, зазвичай повільне охолодження, під час якого і проходить гартування, тобто перетворення аустеніту в мартенсит. Цей спосіб дає гартування з мінімальними внутрішніми термічними напруженнями. Використовується ступінчасте гартування для деталей до 10 – 12 мм з вуглецевих сталей, а з легированих – діаметром 20 – 30 мм.

Ізотермічне гартування

Загартовувана деталь після нагрівання до температури гартування охолоджується в гартувальному середовищі, температура якого береться в інтервалі 250 – 400°C (трохи вище M_p), тривалість часу витримки в гартувальному середовищі визначається часом перетворення аустеніту при даній температурі. Після ізотермічного гартування сталь має структуру бейніту, набуває високої твердості й підвищеної в'язкості. Гартувальними середовищами для ізотермічного гартування є розплави солей металів.

Гартування із самовідпуском

Застосовується для ударного інструменту (зубила, молотки і т.п.), якому необхідно надати в різних частинах різної твердості і в'язкості. При гартуванні охолоджується у воді тільки робоча частина інструменту, а потім, витягнувши її з води, необхідно дочекатися її нагрівання за рахунок тієї частини інструмента, яку не занурюють у воду, до появи на поверхні робочої частини певного кольору:

солом'яно-жовтого, якому відповідає	220 – 240°C;
оранжевого	240 – 260°C;
червоно-фіолетового	260 – 280°C;
синього	280 – 300°C.

Поверхнєве гартування

Для деталей, що працюють в умовах тертя, висока твердість потрібна лише на поверхні. Цього можна досягти поверхневим гартуванням, при якому до температури гартування нагрівається тільки поверхневий шар металу, який потім швидко охолоджується. Нагрівання поверхневого шару деталі може здійснюватися газовим полум'ям, електроострумом і т.п.

ВІДПУСК СТАЛІ

Гартування сталі супроводжується суттєвим збільшенням об'єму, що викликає виникнення значних внутрішніх напруг. Гартувальні напруги можуть призвести до короблення й утворення тріщин у процесі гартування або викликати деформацію в умовах експлуатації. Тому загартовані деталі машин чи інструментів завжди піддають відпуску.

Відпуск здійснюється шляхом нагрівання загартованої сталі до температури менше A_1 . Основним перетворенням при відпуску є розпад мартенситу – виділення надлишкового вуглецю у вигляді дрібних кристалів карбїду заліза. Мартенсит гартування переходить у мартенсит відпуску. Залишковий аустенїт також перетворюється в мартенсит відпуску, а потім зі збільшенням температури нагрівання спостерігається ряд послїдовних перетворень: мартенсит відпуску перетворюється в бейніт відпуску, бейніт – в тростит, а тростит – в сорбіт відпуску. Структури відпуску мають зернисту будову.

Залежно від температури нагрівання розрізняють три ***види відпуску***: низький, середній і високий.

Низький відпуск полягає в нагріванні загартованої сталі до температури 200°C, витримці при цій температурі та повільному охолодженні. Утворена структура – відпущений мартенсит. Такий відпуск рекомендується для інструментальних сталей і цементованих деталей.

Середній відпуск полягає в нагріванні загартованої сталі до 350 – 400°C, витримці при цій температурі та повільному охолодженні. Утворена структура – тростит відпуску. Такий відпуск рекомендується для пружин і ресор.

Високий відпуск полягає в нагріванні загартованої сталі до 500 – 650°C, витримці при цій температурі та повільному охолодженні. Утворена структура – сорбіт відпуску. Гартування сталі в комплексі з високим відпуском на сорбіт називають термічним ***покращенням***. Покращення рекомендується для середньовуглецевих сталей.

Порядок проведення роботи

1. Отримати зразки, користуючись кліщами, помістити їх у піч.
2. Провести нагрівання зразків до відповідної температури.
3. Вийняти зразки з печі й провести гартування чи відпуск згідно із завданням.
4. Зачистити поверхню (торці) зразків напильником, а за необхідності – на шліфувальному крузі.
5. Заміряти твердість кожного зразка на твердомірі ТК.
6. Практична частина цієї роботи передбачає виконання студентом завдання з відображенням його результатів у звіті.

ЗАВДАННЯ

Встановити залежності твердості сталей від швидкості охолодження

Для виконання роботи беруть 4 зразки сталі 30 і нагрівають до певної температури. Тривалість витримки при температурі 10 хв. Після того, як колір зразка співпаде з кольором печі, нагріті зразки виймають і швидко переносять в охолоджуюче середовище: на повітря, в масло, воду. Будують теплові режими відпалу, нормалізації й гартування.

Перед заміром твердості, після гартування зразки зачищають на абразивному крузі для зняття окалини і обезвуглецьованого шару. Заміри проводять на твердомірі Роквелла алмазним конусом при навантаженні 150 кг. Результати записують у таблицю. За отриманими даними будують графік у координатах твердість (НВ) швидкість охолодження °C/с.

Контрольні запитання

1. Зв'язок діаграми стану з можливістю проведення термічної обробки.
2. Основні види термічної обробки сталі та їх призначення.
3. Чотири основних перетворення в сталях при нагріванні та охолодженні.
4. Діаграма ізотермічного розпаду переохолодженого аустеніту.
5. Мартенситна діаграма. Що таке мартенсит?
6. Особливості мартенситного перетворення.
7. Відпали I-го та II-го роду, їх різновиди.
8. Мета гартування, вибір температури гартування.
9. Гартувальні середовища. Способи гартування сталі, їх переваги й недоліки, використання.
10. Види й призначення відпуску сталі.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

СТРУКТУРА І ВЛАСТИВОСТІ ЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ

Мета роботи

1. Вивчити залежність між структурою і властивостями легованих сталей.
2. Вивчити вплив легуючих елементів на структуру і властивості сталі після термічної обробки.
3. Ознайомитися з технологією термічної обробки деяких легованих сталей.

Короткі теоретичні відомості

Легованими називають сталі, в які вводять спеціальні елементи, що змінюють їх властивості.

Леговані сталі класифікують за такими ознаками:

- а) хімічним складом;
- б) структурою;
- в) способом виробництва;
- г) якістю;
- д) призначенням;
- е) кількістю легуючих елементів.

За хімічним складом сталі класифікують залежно від легуючих елементів: нікелеві, марганцеві, хромонікелеві й т.п.

Залежно від положення критичних точок діаграми «залізо – цементит» леговані сталі за структурою у відпаленому стані поділяються на:

- доевтектоїдні – зі структурою легований ферит і перліт;
- евтектоїдні – зі структурою перліт;
- заевтектоїдні – зі структурою перліт і вторинні карбіди;
- ледебуритні – зі структурою перліт, вторинні карбіди і ледебурит.

При високому вмісті легуючих елементів, які розширюють j -область, отримують сталі аустенітного класу, а при високому вмісті елементів, які розширюють α -область, отримують сталі феритного класу.

Виходячи з впливу легуючих елементів на діаграму ізотермічного розпаду аустеніту і температуру початку (M_p) і кінця (M_k) – мартенситного перетворення залежно від кількості цих елементів, розрізняють після нормалізації (охолодження на спокійному повітрі) три основні класи сталей:

- а) перлітний – при малому вмісті легуючих елементів (до 5 %);

- б) мартенситний – при значному вмісті легуючих елементів (5 – 13 %);
- г) аустенітний – при високому вмісті легуючих елементів (13 – 30 %).

За способом виробництва сталі поділяють на мартенівські, отримані в кисневих конверторах, електросталі та ін.

За якістю леговані сталі можуть бути тільки якісними і високоякісними.

За призначенням леговані сталі поділяють на:

- конструкційні;
- інструментальні (для різального, штампового та вимірювального інструменту);
- спеціального призначення (нержавіючі, жаростійкі, жароміцні, зносостійкі і т.п.).

За кількістю легуючих елементів сталі поділяють на: низьколеговані – з умістом легуючих елементів до 5 %, середньолеговані, які містять 5 – 10 % легуючих елементів, високолеговані, які містять понад 10 % легуючих елементів.

Уплив легуючих елементів на властивості сталі

Легуючі елементи в сталі можуть знаходитися:

- а) у вільному стані;
- б) у вигляді інтерметалічних з'єднань з залізом або між собою;
- в) у вигляді оксидів;
- г) в карбідній фазі – у вигляді розчину в цементиті або в сполуках з вуглецем – спец. карбідів;
- д) у вигляді розчину в залізі.

Відповідно легуючі елементи переважно розчиняються в основних фазах (Ф, А, Ц) або утворюють спеціальні карбіди.

Знаходячись у сталі в тому або іншому вигляді, легуючі елементи впливають на:

- а) поліморфізм заліза – деякі елементи, розчиняючись в залізі, підвищують точки A_4 і знижують точки A_3 , стабілізуючи ферит (див. рис. 3.1);

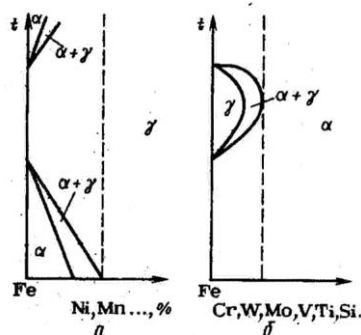


Рис. 3.1. Діаграми стану залізо – легуючі елементи

б) на властивості фериту – розчиняючись у фериті, легуючі елементи змінюють розміри його ґратки й викликають зміну його властивостей, підвищують твердість та ударну в'язкість.

Елементи, які мають великі атомні розміри, зміцнюють ферит незалежно від швидкості охолодження сплаву;

в) утворення карбідної фази – карбіди утворюють елементи з недобудованою d-смугою. Вони розташовані лівіше заліза:

- I група – карбіди зі складною ґраткою (M_3C , $M_{23}C_6$, M_7C_3 , M_6C);
- II група – карбіди з простою ґраткою (фази впровадження MC , M_2C), де M – залізо та інші карбідоутворюючі елементи, C – вуглець;

г) ізотермічний розпад переохолодженого аустеніту, затримуючи або прискорюючи перетворення аустеніту, дозволяють отримати бейніт (голковий тростит) у двох інтервалах температур (див. рис. 3.2);

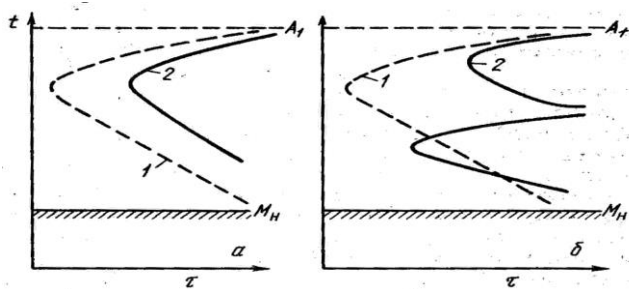


Рис. 3.2. Діаграми ізотермічного розпаду аустеніту: а – вуглецева (1) і легована некарбідоутворюючими елементами (2) сталі; б – вуглецева (1) і легована карбідоутворюючими елементами (2) сталі

д) прогартовуваність сталі – зсуваючи вправо криві початку й кінця ізотермічного розпаду переохолодженого аустеніту, легуючі елементи зменшують критичну швидкість гартування ($v_{кр}$) і, відповідно, збільшують прогартовуваність сталі;

е) мартенситне перетворення – на кінетику мартенситного перетворення легуючі елементи не впливають. Деякі елементи (Al , Co) підвищують точки початку (M_p) і кінця (M_f) мартенситного перетворення, а деякі (Mo) – знижують і, відповідно, зменшують або збільшують % аустеніту залишкового;

ж) ріст зерна аустеніту – всі легуючі елементи зменшують схильність зерна до росту, крім Mn, В;

з) перетворення при відпуску – легуючі елементи затримують процес розпаду мартенситу. Враховуючи дію легуючих елементів, сталі при відпуску необхідно нагрівати до вищої температури або збільшити час витримки.

Термічна обробка легованих сталей

Властивості й переваги легованих сталей виявляються повною мірою тільки після термічної обробки, тому використання легованих сталей без термічної обробки економічно невиправдано.

Приблизний режим термічної обробки конструкційної, жароміцної, електротехнічної сталей наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

ТО сталей різного призначення

Назва сталі	Термічна обробка
Хромонікелева конструкційна	1. Відпал при $t = 830^{\circ}\text{C}$. 2. Нормалізація $t = 860^{\circ}\text{C}$. 3. Гартування при $t = 830^{\circ}\text{C}$, охолодження в маслі q наступний відпуск при $t = 550^{\circ}\text{C}$
Хромонікелева жароміцна	Гартування при $t = 1100^{\circ}\text{C}$, охолодження у воді
Хромонікелева нержавіюча	Гартування при $t = 1100^{\circ}\text{C}$, охолодження у воді

Маркування легованих сталей

Згідно з ДСТ леговані сталі маркують буквеними і цифровими індексами.

Легуючі елементи позначають буквами:

А	Азот	Е	Селен	Р	Бор	Ц	Цирконій
Б	Ніобій	К	Кобальт	С	Кремній	Ч	Рідкоземельні
В	Вольфрам	М	Молібден	Т	Титан	Ю	Алюміній
Г	Марганець	Н	Нікель	Ф	Ванадій		
Д	Мідь	П	Фосфор	Х	Хром		

Індекс «А» в кінці марки вказує на високу якість сталі. Цифри перед маркою означають уміст вуглецю в сотих долях процента для конструкційних і в десятих долях процента для інструментальних сталей, а після букв – уміст легуючого елемента, наприклад: 40ХН (0,4 % С, \approx 1 % Cr, \approx 1 % Ni, сталь конструкційна, якісна).

Буквений індекс на початку марки означає призначення сталі:

Р – швидкоріжуча інструментальна;

Ш – шарикопідшипникова і т.д.

Прилади й матеріали

1. Металографічний мікроскоп ММР-4, МИМ-7.
2. Шліфувально-полірувальна машина.
3. Термічна піч.
4. Бачок для охолодження, кліщі ковальські.
5. Мікрошліфи сталей.
6. 4 % розчин у спирті (травник).
7. Спирт етиловий.
8. Вата.
9. Фетр.
10. Вода.

Порядок виконання роботи

Дослідити мікроструктуру вуглецевих конструкційної, інструментальної та легованої спеціальної (нержавіючої) сталей.

Взяти травлений мікрошліф сталі й покласти його полірованою поверхнею на предметний столик мікроскопа ММР-4 або МИМ-7. При роботі на мікроскопі мікрошліф розташовують поверхнею вниз. Увімкнути мікроскоп в мережу. Користуючись гвинтами грубого і точного наведення (мікро- і макрогвинти) й спостерігаючи в окуляр, отримати чітке зображення структури. Замалювати структуру у звіті. Використовуючи фотоальбом з фотознімками структур, визначити й позначити структурні складові (в такому порядку досліджують усі мікрошліфи). Для нержавіючих сталей вказати клас за структурою в нормалізованому стані, вказати причину й методи ліквідації інтеркристалітної корозії, особливості термічної обробки.

Визначити режим термічної обробки й область використання досліджуваних сталей.

Вимкнути мікроскоп, прибрати робоче місце, здати зразки й оформлений звіт керівнику.

Дослідження сталі після термічної обробки виконується аналогічно.

Для жароміцних сталей пояснити, що таке жароміцність, повзучість, межа повзучості.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Як взаємодіють легуючі елементи з залізом і вуглецем?
2. Як впливають легуючі елементи на критичні точки сталі, властивості сталі у відпаленому стані й термічну обробку?
3. Класифікація легованих сталей за:
 - а) структурою у відпаленому і нормалізованому стані;
 - б) призначенням;
 - в) способом виробництва;
 - г) хімічним складом;
 - д) якістю;
 - е) кількістю легуючих елементів.
4. Основні методи підвищення міцності сталі.
5. Основне призначення легуючих елементів у сталях: конструкційних, жароміцних, жаростійких, нержавіючих, інструментальних, зносостійких. Навести приклади таких сталей.
6. Область використання сталей.
7. Маркування легованих сталей.
8. Термічна обробка легованих сталей.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4
СПЛАВИ НА ОСНОВІ АЛЮМІНІЮ Й МІДІ

Мета роботи

Вивчення мікроструктури сплавів на основі алюмінію й міді.

Ознайомлення з практикою термічної обробки дуралюмініу та визначення його твердості після штучного старіння.

Встановлення взаємозв'язку між мікроструктурою сплавів на основі міді та відповідною діаграмою фазового стану.

Короткі теоретичні відомості

Сплави на основі алюмінію поділяють на три групи:

деформівні, ливарні та спечені.

Деформівні алюмінієві сплави за властивостями та використанням поділяють на дві групи:

1. Сплави, що не зміцнюються термічною обробкою:

АМц, АМг, АМгЗ, АМг5п і АМг6. Ці сплави використовуються у трьох станах: відпаленому, напівгартованому та нагартованому. Сплави цієї групи відзначаються високою корозійною стійкістю та доброю зварюваністю, проте низькою та середньою міцністю й використовуються у вигляді листів для виготовлення зварних виробів (бензо- та маслобаків) і деталей, що виготовляються холодним штампуванням.

2. Сплави, що зміцнюються термічною обробкою:

а) алюмінієві сплави для листів, профілів і труб марок Д1, Д6, Д16 і В95;

б) алюмінієві сплави для заклепок марок Д18 і В65;

в) алюмінієві сплави для штамповок марок Д1, АК6, АК8.

Сплави цієї групи характеризуються вищими механічними властивостями, проте пониженою корозійною стійкістю на вологому повітрі, в річній та морській воді.

При експлуатації у вологому середовищі їх захищають від корозії *плакуванням* або *анодною поляризацією*. Плакуванню піддають тільки листи.

Плакування проводять шляхом гарячої прокатки виливків сплаву з листами чистого алюмінію або сплаву алюмінію з цинком.

Профілі, труби та інші пресовані вироби здебільшого захищають від корозії за допомогою анодної поляризації з подальшим лакофарбовим покриттям.

Анодна поляризація являє собою гальванічний процес, при якому на поверхні сплаву утворюється тонка плівка Al_2O_3 , яка захищає метал від корозії.

На механічні властивості алюмінієвих сплавів впливає хімічний склад, а також вид термічної обробки.

Режим термічної обробки залежить від марки сплаву.

Дуралюмін марки Д1 відноситься до системи Al-Cu-Mg-Mn і має такий хімічний склад: Cu 3,8 – 4,8 %, Mg 0,4 – 0,8 %, Mn 0,4 – 0,8 %, Fe \leq 0,7 %, Si \leq 0,7 %, Al – решта. Сума інших домішок \leq 0,4 %.

Мідь та магній – основні компоненти, які впливають на зміцнення сплаву. Марганець є обов'язковою присадкою, він подрібнює структуру, підвищує міцність та корозійну стійкість сплаву.

Залізо та кремній – небажані домішки. Залізо є шкідливою домішкою, воно значно знижує міцність та пластичність дуралюміну.

Кремній до деякої міри усуває шкідливий вплив заліза, зв'язуючи його в сполуку, яка легко руйнується при деформації.

Напівфабрикати зі сплаву Д1 виготовляють у вигляді листів, плит, профілів, прутків, труб, штамповок та поковок.

Для підвищення пластичності та усунення наклепу дуралюмін після холодної обробки тиском піддають **рекристалізаційному відпалу** при температурі 340 – 370 °С з охолодженням на повітрі.

Типові механічні властивості дуралюміну марки Д1 після відпалу:
 $\sigma_b = 210 \text{ Мн/м}^2$, $\delta = 18 \%$, $НВ = 450 \text{ Мн/м}^2$.

Структура сплаву Д1 після відпалу складається, в основному, із кристалів твердого розчину Al (Cu, Si, Mg) і вторинних виділень кристалів $CuAl_2$, Mg_2Si та Al_2CuMg .

Гартування дуралюміну полягає в нагріванні сплаву вище лінії граничної розчинності, витримки при цій температурі та швидкому охолодженні.

В сплаві Д1 при нагріванні та витримці при температурі 490 – 505°C відбувається розчинення використаних фаз ($CuAl_2$, Mg_2Si та S-фази). При гартуванні дуралюміну з охолодженням у воді фіксується структура пересиченого твердого розчину Al (Cu, Mg, Si), яка існувала при температурі нагрівання.

У свіжозагартованому стані $\sigma_b = 300 \text{ Мн/м}^2$, $\delta = 18 \%$, $НВ = 750 \text{ Мн/м}^2$.

Цей перенасичений твердий розчин є нестійкий. Самочинний розпад його починається при кімнатній температурі через 2 – 3 год. після гартування й закінчується через 5 – 7 діб.

Такий процес зміцнення загартованого дуралюмініу при кімнатній температурі називають природним *старінням*.

Структура сплаву Д1 після гартування та природного старіння складається із зерен твердого розчину і темних включень інтерметалічних сполук заліза, що не розчинилися в алюмінії (рис. 4.1).

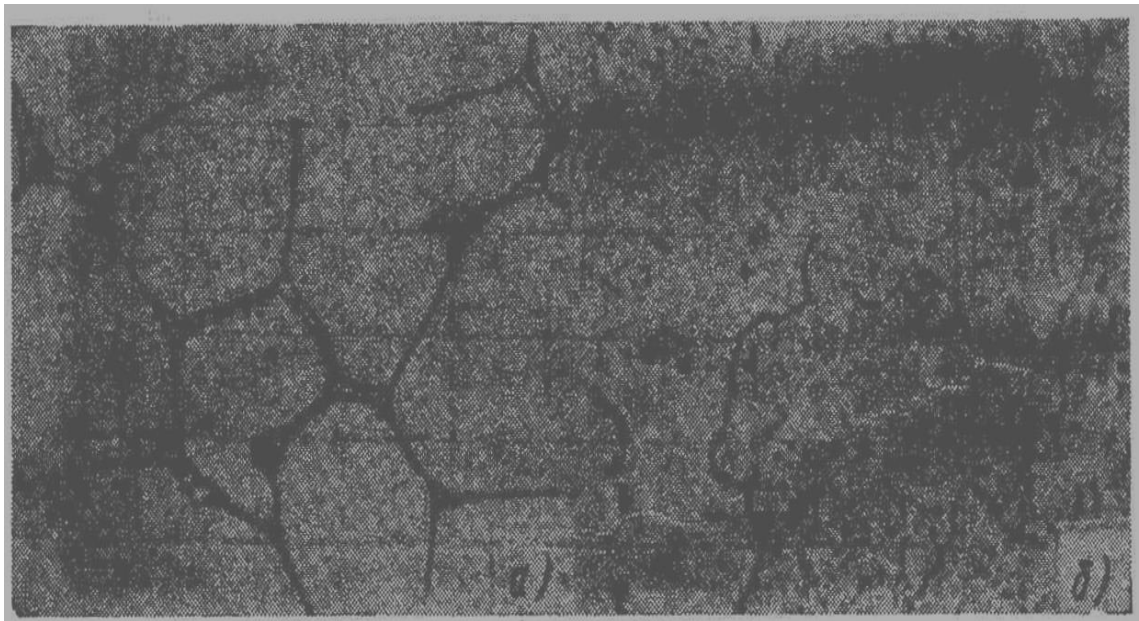


Рис. 4.1. Мікроструктура дуралюмініу Д1, x200

Після гартування та природного старіння дуралюмін має типові механічні властивості: $\sigma_b = 420 \text{ Мн/м}^2$, $\delta = 15 \%$, $\text{НВ} = 1000 \text{ Мн/м}^2$.

Дуралюмін марки Д1 після рекомендованого режиму термічної обробки – гартування при температурі 490 – 505°C з охолодженням у воді й природного старіння не менше чотирьох діб широко використовується для виготовлення різних деталей машин та конструкцій середньої міцності.

Діаграма стану Al-Cu зображена на рис. 4.2.

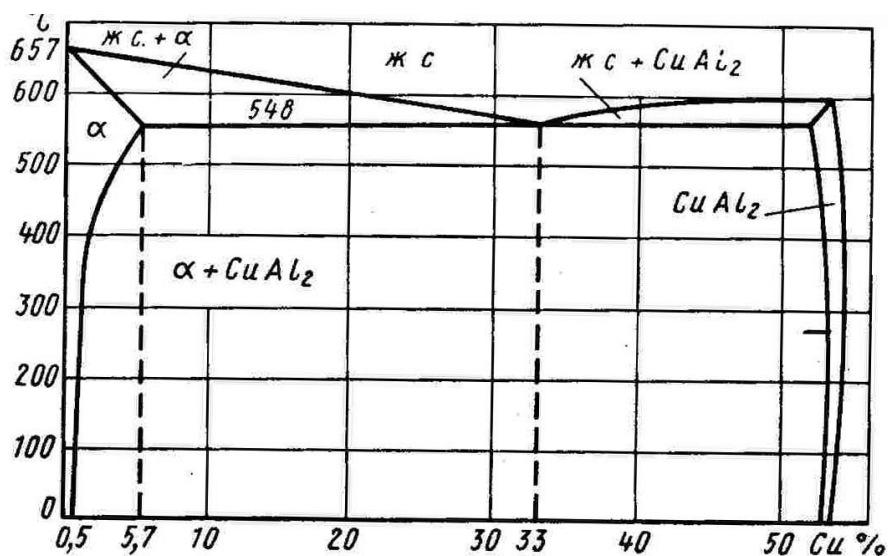


Рис. 4.2. Діаграма стану Al-Cu

Ливарні алюмінієві сплави називають *силумінами*, основними компонентами яких є алюміній і кремній.

СПЛАВИ НА ОСНОВІ МІДІ

Мідь відзначається відносно високою температурою плавлення (1083°C) й високою густиною (8,93 г/см³ (*10³ кг/м³)). Висока електропровідність, теплопровідність, пластичність і корозійна стійкість міді є основними факторами, завдяки яким вона знайшла широке застосування в електротехнічній, машинобудівній та приладобудівній промисловості.

Мідь у відпаленому стані має низьку міцність ($\sigma_{\text{в}} \approx 25$ кгс/мм² ($\sigma_{\text{в}} \approx 250$ Мн/м²) і $\delta \approx 45$ %). Шляхом легування (0,9 % Cd) і наступною холодною пластичною деформацією можна значно зміцнити мідь ($\sigma_{\text{в}} \approx 70$ кгс/мм² ($\sigma_{\text{в}} \approx 700$ Мн/м²), $\delta \approx 4$ %); електропровідність при цьому знижується на 10 %.

Внаслідок невисокої міцності чиста мідь як конструкційний матеріал не знаходить широкого використання. Підвищення механічних і технологічних характеристик може бути досягнуто сплавленням міді з іншими металами – цинком, оловом, алюмінієм, берилієм та ін.

Сплави міді з цинком називають *латунями*. Діаграма стану системи мідь-цинк зображена на рис. 4.3.

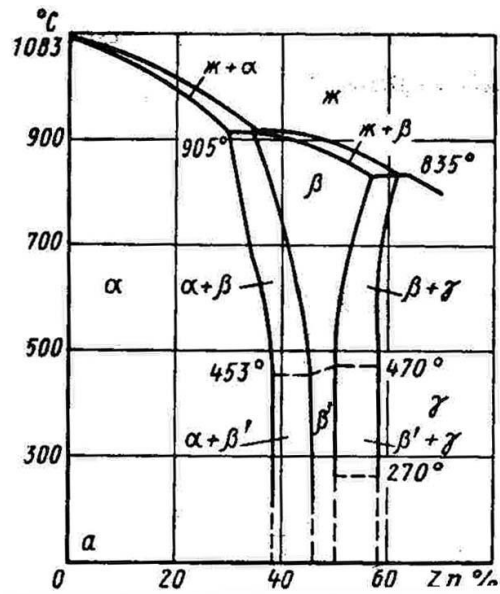


Рис.4.3. Діаграма стану системи мідь – цинк

Усі латуні за структурою поділяють на дві групи:

- 1) сплави з вмістом до 39 % Zn є однофазними і мають структуру α – твердого розчину;
- 2) сплави, що містять понад 39 % Zn, мають двофазну структуру $\alpha + \beta'$. Фаза β' має більший вміст цинку і після травлення набуває темнішого забарвлення, ніж α -фаза.

При підвищенні вмісту цинку в α -латуні до 39 % зростають її міцність і пластичність. А при підвищенні вмісту цинку від 39 до 45 % міцність продовжує зростати, а пластичність зменшується, особливо з появою α -фази.

Внаслідок малої відстані між лініями ліквідус і солідус на діаграмі Cu-Zn, дендритна ліквіація у латуней проявляється слабо, але ці сплави схильні до утворення концентрованих усадочних раковин. Тому латуні використовують, в основному, як деформівні, а не ливарні сплави.

Окрім простих латуней, тобто сплавів міді з цинком, у техніці широко використовують спеціальні леговані латуні з вищими механічними та експлуатаційними властивостями.

Мікроструктура α -латуні зображена на рис. 4.4.

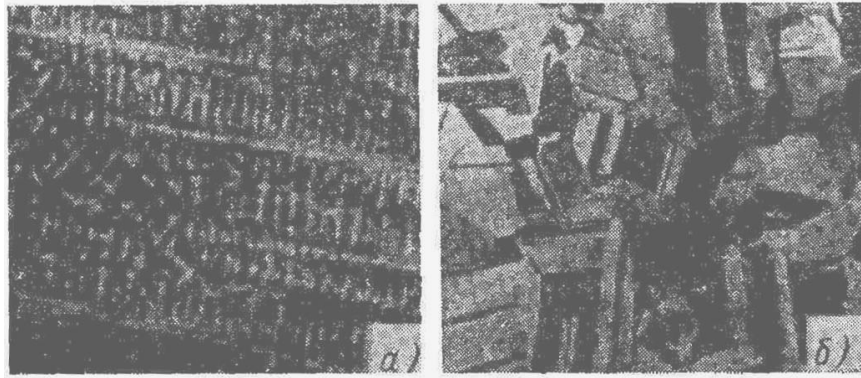


Рис. 4.4. Мікроструктура α -латуні: а) литої x250; б) деформованої x100

Бронзами називають сплави міді з оловом та іншими елементами (алюмінієм, кремнієм, берилієм).

Практичне застосування в машинобудуванні мають сплави міді з оловом, що містять до 12 % олова. Тому при дослідженні структури олов'янистих бронз користуються не всією діаграмою Cu-Sn (рис. 4.5), а лише її лівою частиною.

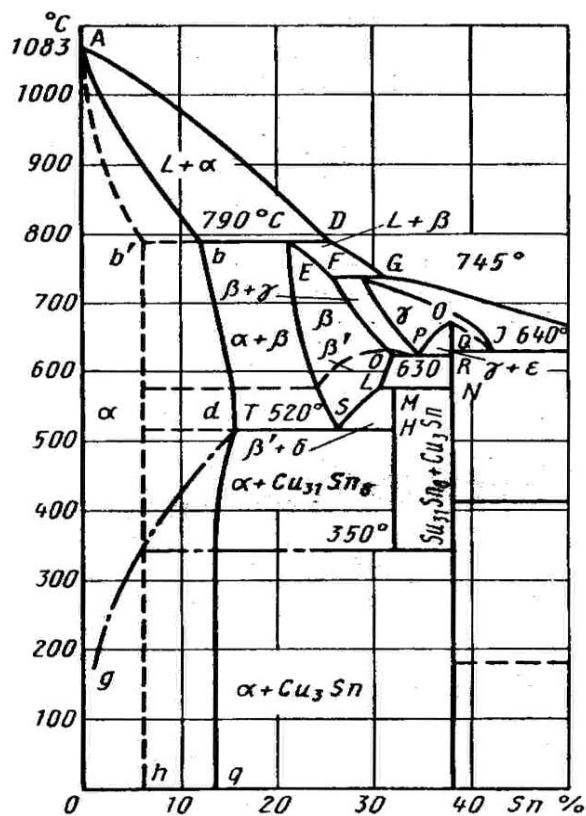


Рис. 4.5. Діаграма стану Cu-Sn

Особливістю олов'янистих бронз є їх значна схильність до ліквіації (велика відстань між лініями ліквідус та солідус) і сповільненість процесів дифузії. Як бачимо із діаграми область існування α -твердого розчину

обмежується як суцільними, так і пунктирними лініями. α -фаза є твердим розчином олова в міді й має відносно неї ізоморфну кристалічну решітку, тобто кубічну гранецентровану.

Фази α і β є твердими розчинами, утвореними на базі інтерметалічних сполук електронного типу. Твердий розчин α має вигляд дендритів із значною хімічною неоднорідністю (дендритна ліквіація). Якщо литий сплав з дендритною структурою відпалити, то утворюються однорідні зерна (рис. 4.6).

Олов'яниста лита бронза використовується в промисловості як антифрикційний матеріал.

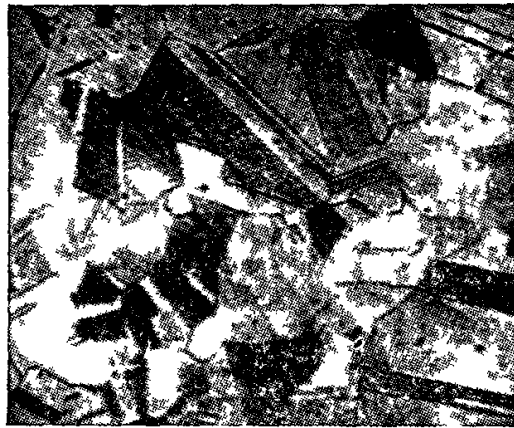


Рис. 4.6. Мікроструктура відпаленої олов'янистої бронзи з 6 % олова, $\times 100$

Найпоширенішими марками олов'янистих бронз є бронзи зі умістом олова 5 і 10 %, які часто замінюють дешевшими алюмінієвими бронзами (з 5 % Al), що мають кращі властивості.

Алюмінієві бронзи

Сплави міді з алюмінієм називають алюмінієвими бронзами. Ліва, практична частина діаграми фазового стану $Cu - Al$ зображена на рис. 4.7.

Практичне застосування мають сплави міді з алюмінієм, що містять 10 – 11 % Al і мають структуру α або $\alpha + \gamma_2$.

Сплави, що відповідають за складом області α -однофазні, термічно не зміцнювані, досить пластичні, їх структура складається з однорідних зерен твердого розчину α .

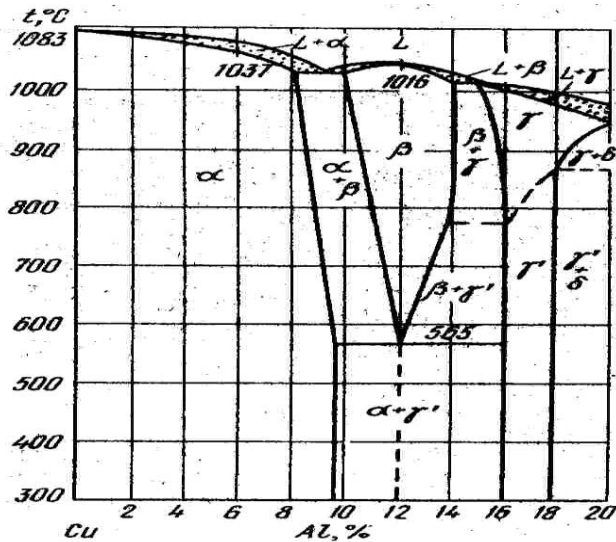


Рис. 4.7. Діаграма фазового стану $Cu - Al$

Сплави, що відповідають за складом області $\alpha + \gamma_2$ – двофазні сплави, термічно зміцнювані, менш пластичні, ніж сплави області α , а в структурі містять евтектоїд $\alpha + \gamma_2$. Внаслідок підвищеної крихкості фази γ_2 використовуються тільки доевтектоїдні двофазні алюмінієві бронзи, тобто з умістом Al менше 11,8 %.

Алюмінієві бронзи використовуються як в деформованому стані, так і литому. На рис. 4.8 зображено структура литої алюмінієвої бронзи з 10 % Al . Структура складається із зерен твердого розчину α (світлий фон) та евтектоїду $\alpha + \gamma_2$ (темний фон). При великих збільшеннях структура евтектоїду нагадує структуру перліту, тобто являє собою суміш $\alpha + \gamma_2$ -фаз.

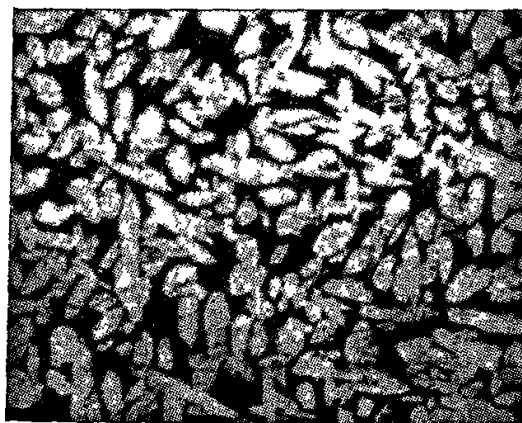


Рис. 4.8. Мікроструктура литої алюмінієвої бронзи з 10 % алюмінію $\times 100$

Прилади й матеріали

Шліфи силуміну, дуралюмінію, латуні й бронзи.

Травники.

Спирт.

Промокальний папір

Вата.

Піпетка.

Фетр.

Обладнання:

- Мікроскоп ММР-4;
- шліфувально-полірувальна машина.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

1. Отримати прилади й матеріали.
2. Покласти заздалегідь підготовлений зразок на стіл мікроскопа полірованою поверхнею до об'єктива.
3. Дослідити й описати мікроструктуру заданих зразків, схематично замалювати кожну.
4. Під кожним зразком вказати збільшення й назву структури.
5. Замалювати діаграми стану систем Al-Cu, Al-Si.
6. Вказати хімічний склад та область застосування сплаву Д1.
7. Визначити твердість зразків дуралюмінію до гартування.
8. Провести гартування та штучне старіння зразків дуралюмінію.
Температура гартування 500 ± 5 °С, витримка 15 – 30 хв. для виробів січенням до 15 мм, охолодження у воді при температурі не вище 40 °С.
Температура старіння 50, 100, 200 та 250 °С. Час витримки при кожній температурі старіння – 5, 10, 20, 40 хв.
9. Визначити твердість зразків після гартування та штучного старіння.
10. Провести аналіз отриманих експериментальних даних і вияснити вплив температури та часу старіння на зміну механічних властивостей.
11. Замалювати мікроструктуру дуралюмінію після відпалу та після гартування й старіння.
12. Замалювати мікроструктуру силуміну після модифікування.
13. Замалювати діаграми фазового стану Cu-Zn, Cu-Sn і вказати на них положення досліджуваних сплавів.
14. Замалювати мікроструктури латуні й бронзи.

Методичні вказівки

1. Нагрівання зразків дуралюміну марки Д1 проводити в селітрових ваннах (суміш 55 % KNO_3 та NaNO_3), точно контролюючи температуру та виконуючи правила техніки безпеки.
2. При гартуванні зразки швидко переносять із селітрової ванни в бак для гартування з водою і рівномірно перемішуючи – охолоджують.
3. Штучне старіння можна проводити при 50 °С в підігрітій воді при 200 і 250 °С – в селітрових ваннах.
4. Після кожної термічної операції (гартування та старіння) зразки зачищають з торців нождачним папером та випробовують на твердість на твердомірі при навантаженні 60 кГ (600Н) сталеву кулькою. Результат за таблицею твердості переводять в одиниці Брінеля.

Контрольні запитання

1. Класифікація сплавів на основі алюмінію.
2. Алюмінієві сплави, що не зміцнюються ТО.
3. Сплави, що зміцнюються ТО.
4. ТО дуралюмінію.
5. Фізичні та механічні властивості міді.
6. Класифікація сплавів на основі міді.
7. Латуні, хімічний склад, мікроструктура (з використанням діаграми стану $\text{Cu} - \text{Zn}$).
8. Прості та складні латуні, їх маркування.
9. Бронзи, хімічний склад, мікроструктура, області застосування.
10. Алюмінієві бронзи, особливості мікроструктури (пояснити з використанням діаграми $\text{Cu} - \text{Al}$).

ПРОТОКОЛИ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Лабораторна робота № 1

Залізовуглецеві сплави (сталі, чавуни)

Мета роботи: _____

Прилади і матеріали: _____

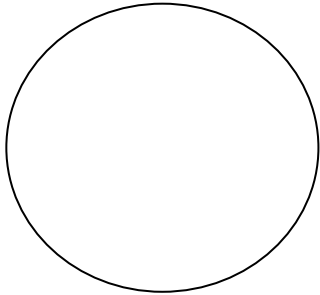
ПРОТОКОЛ № 1 (ЗРАЗОК № 1, доевтектоїдна сталь)

Матеріал (марка), ДСТ- _____
Масова частка вуглецю, % _____
Структурні складові: _____
Характеристика мікроструктури: _____

Механічні властивості (за даними літератури):

Границя міцності, σ_b , МПа (кгс/мм²) _____
Відносне видовження, δ , % _____
Твердість, НВ, МПа _____

Рисунок мікроструктури:



Критичні точки сталі, (°С)

A_1 = _____

A_3 = _____

Збільшення- _____
Приклади застосування: _____

ПРОТОКОЛ № 2 (ЗРАЗОК № 2, заевтектоїдна сталь)

Матеріал (марка), ДСТ- _____
Масова частка вуглецю, % _____
Структурні складові: _____
Характеристика мікроструктури: _____

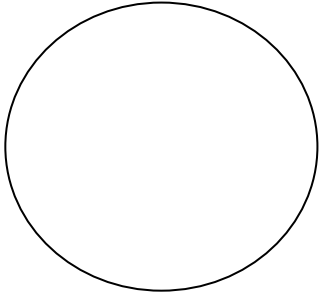
Механічні властивості (за даними літератури):

Границя міцності, σ_b , МПа (кгс/мм²) _____

Відносне видовження, δ , % _____

Твердість, НВ, МПа _____

Рисунок мікроструктури:



Критичні точки сталі (°C)

A₁= _____

A₃= _____

Збільшення-

Приклади застосування: _____

ПРОТОКОЛ № 3
Діаграма стану залізо – цементит



Лінії: ABCD- _____

АНІЕСF- _____

НІВ- _____

GP- _____
ES- _____
ECF- _____
PSK- _____
PQ- _____
Області: NIESG- _____
GPQO- _____
AHNA- _____

Структурні складові (дати визначення):

Ферит- _____
Аустеніт- _____
Цементит- _____
Перліт- _____
Ледебурит- _____
Висновки: _____

(проаналізувати різницю в структурі і зміну механічних властивостей сталей

залежно від масової долі вуглецю і структури)

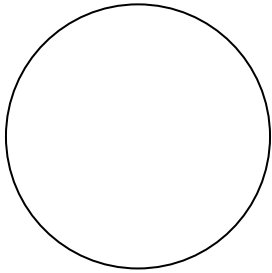
ПРОТОКОЛ № 4 (ЗРАЗКИ № 3, 4; сірий звичайний чавун)

Матеріал (марка), ДСТ- _____
Масова частка вуглецю, % _____
Форма графітових включень- _____
Структурні складові металічної основи: _____
Спосіб отримання- _____

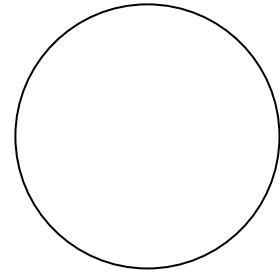
Механічні властивості (за даними літератури):

Границя міцності на розтяг, σ_v , МПа (кгс/мм²) _____
Границя міцності на згин, σ_{zg} , МПа (кгс/мм²) _____
Відносне видовження, σ , % _____
Твердість, НВ, МПа _____

Рисунок мікроструктури _____ чавунів:



Збільшення-
до травлення



Збільшення-
після

травлення

Приклади застосування _____

ПРОТОКОЛ № 5(ЗРАЗКИ № 5,6, ковкий чавун)

Матеріал (марка), ДСТ- _____

Масова частка вуглецю, % _____

Форма графітових включень- _____

Структурні складові металічної основи: _____

Спосіб отримання- _____

Механічні властивості (за даними літератури):

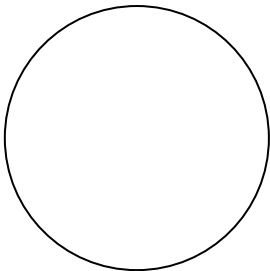
Границя міцності на розтяг, σ_v , МПа (кгс/мм²) _____

Границя міцності на згин, σ_{zg} , МПа (кгс/мм²) _____

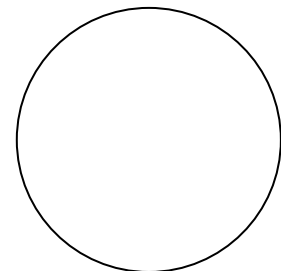
Відносне видовження, σ , % _____

Твердість, НВ, МПа _____

Рисунок мікроструктури _____ чавунів:



Збільшення-
до травлення



Збільшення-
після травлення

Приклади застосування: _____

ПРОТОКОЛ № 6 (ЗРАЗКИ № 7, 8, високоміцний чавун)

Матеріал (марка), ДСТ- _____

Масова частка вуглецю, % _____

Форма графітових включень- _____

Структурні складові металічної основи: _____

Спосіб отримання- _____

Механічні властивості (за даними літератури):

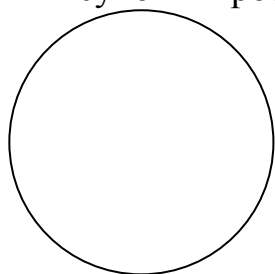
Границя міцності на розтяг, σ_v , МПа (кгс/мм²) _____

Границя міцності на згин, σ_{zg} , МПа (кгс/мм²) _____

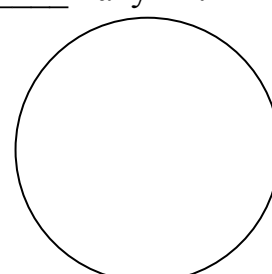
Відносне видовження, σ , % _____

Твердість, НВ, _____

Рисунок мікроструктури _____ чавунів:



Збільшення-
до травлення



Збільшення-
після травлення

Приклади застосування: _____

Висновки: _____

(проаналізувати різницю між структурою і зміною механічних властивостей сірих чавунів залежно від форми

_____ графітових включень і виду металічної основи)

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2 ТЕРМІЧНА ОБРОБКА СТАЛЕЙ

Мета роботи: _____

Прилади й матеріали: _____

ПРОТОКОЛ № 1

Відпал і нормалізація сталі

Матеріал (марка), ДСТ- _____

Масова частка вуглецю, % _____

Критичні точки сталі (°C) _____

Температура нагрівання – _____

Час нагрівання, хв. _____, час витримування – _____

Охолоджуюче середовище: при відпалі _____

при нормалізації _____

Швидкість охолодження, град/с:

при відпалі _____; при нормалізації _____

Твердість, НВ:

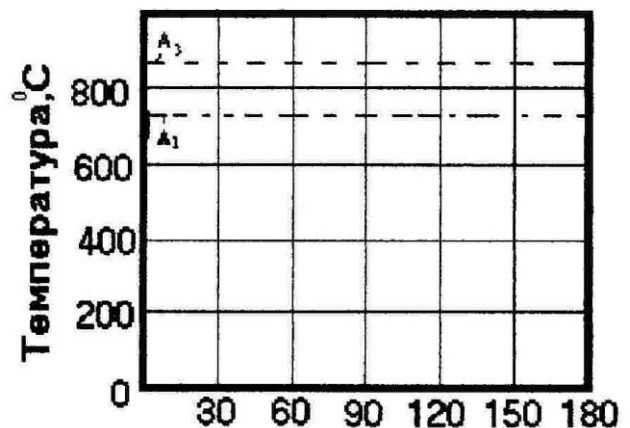
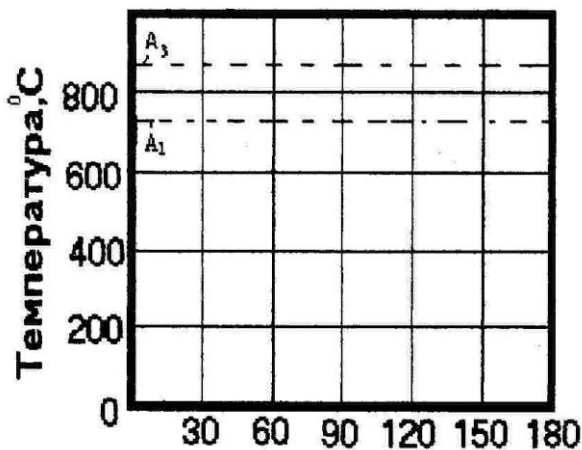
після відпалу _____; після нормалізації _____

Прогнозована структура: після відпалу _____

після нормалізації _____

Тепловий режим відпалу сталі

Тепловий режим нормалізації сталі



ПРОТОКОЛ № 2

Гартування сталі

Матеріал (марка), ДСТ- _____

Масова частка вуглецю, % _____

Критичні точки сталі (°C) _____

Температура нагрівання – _____

Час нагрівання, хв. _____; час витримування – _____

Гартувальне середовище _____

Швидкість охолодження, град/с; у маслі _____; у воді _____

Твердість, HRC:

після гартування у маслі _____

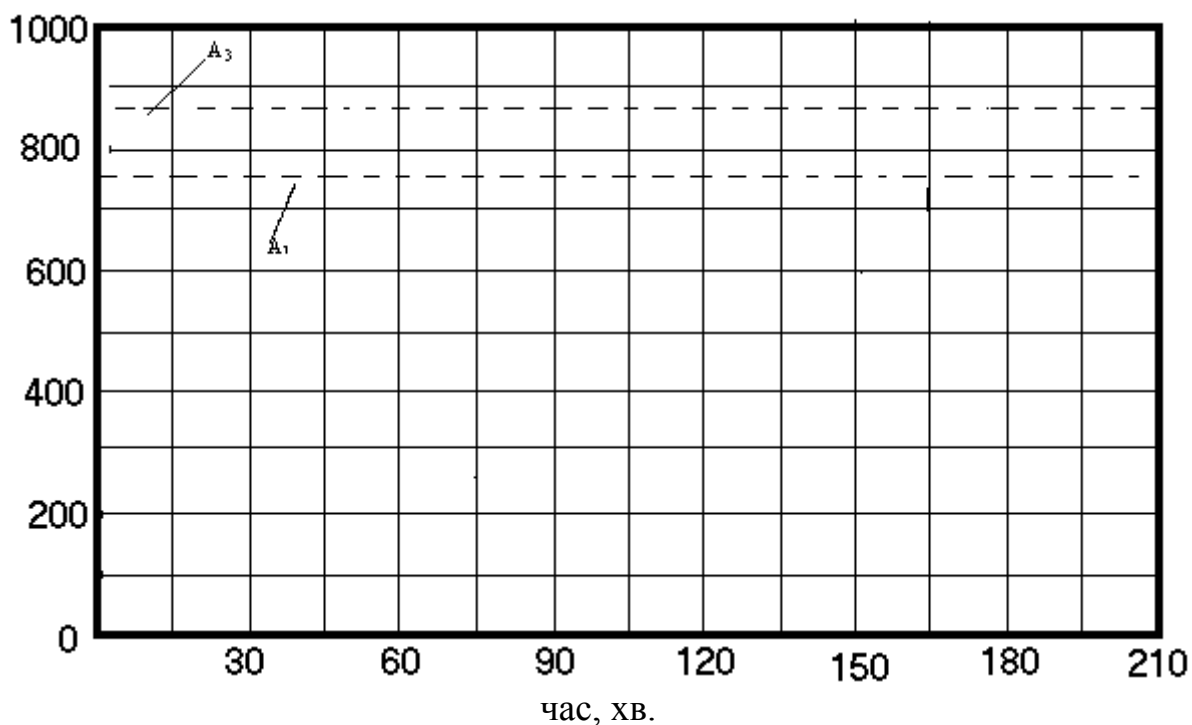
після гартування у воді _____

Прогнозована структура:

після гартування у маслі _____

після гартування у воді _____

Тепловий режим гартування сталі

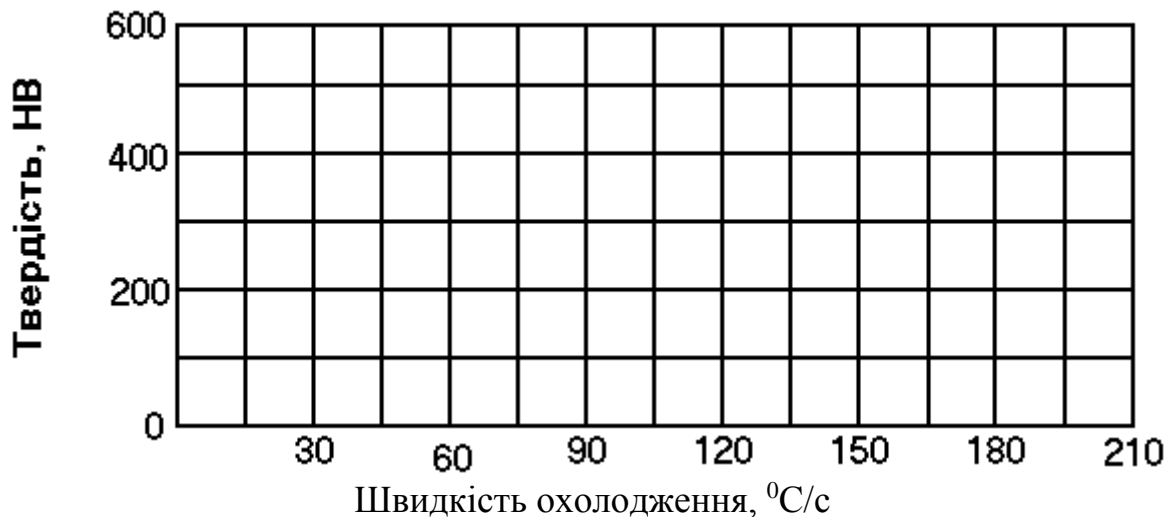


1 – у воді, 2 – у маслі

ПРОТОКОЛ № 3
Результати термічної обробки сталі _____

Вид термічної обробки	Режим ТО		Швидкість охолодження, °C/c	Твердість		Прогнозована структура
	T, °C	t, хв		НВ, кгс/мм ²	HRC	
Відпал						
Нормалізація						
Гартування у воді						
Гартування у маслі						

Залежність твердості сталі від швидкості охолодження



Характеристика мікроструктури: після відпалу _____
 після нормалізації _____
 після загартування у воді _____
 після загартування у маслі _____

Висновки: _____
 (проаналізувати вплив швидкості охолодження на утворення структур і твердість сталі)

Роботу виконав:

Роботу перевірів:

« _____ » _____ 201 р. « _____ » _____ 201 р.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3
Структура і властивості легованих сталей

Мета роботи: _____

Прилади й матеріали: _____

ПРОТОКОЛ № 1 (ЗРАЗОК № 1)

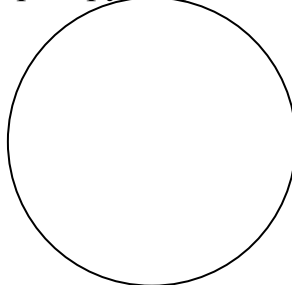
Матеріал (марка), ДСТ- _____
Масова частка вуглецю, % _____
Вид термічної обробки _____
Температура нагрівання ($^{\circ}\text{C}$) _____
Охолоджуюче середовище: _____
Швидкість охолодження, $^{\circ}\text{C}/\text{с}$: _____
Структурні складові _____

Характеристика мікроструктури _____

Механічні властивості (за даними літератури):

Границя міцності, σ_b , МПа ($\text{кгс}/\text{мм}^2$) _____
Границя текучості, $\sigma_{0,2}$, МПа ($\text{кгс}/\text{мм}^2$) _____
Відносне видовження, δ , % _____
Відносне звуження, ψ , % _____
Ударна в'язкість, КСУ, $\text{кДж}/\text{м}^2$ _____
Твердість, НВ, МПа _____

Малюнок мікроструктури



Збільшення-

Приклади застосування: _____

Висновки: _____

ПРОТОКОЛ № 2 (ЗРАЗОК № 2)

Відпал від температури значно вищої A_3

Матеріал (марка), ДСТ- _____

Масова частка вуглецю, % _____

Вид термічної обробки _____

Температура нагрівання ($^{\circ}C$) _____

Охолоджуюче середовище: _____

Швидкість охолодження, $^{\circ}C/c$: _____

Структурні складові _____

Характеристика мікроструктури _____

Механічні властивості (за даними літератури):

Границя міцності, σ_b , МПа ($кгс/мм^2$) _____

Границя текучості, $\sigma_{0,2}$, МПа ($кгс/мм^2$) _____

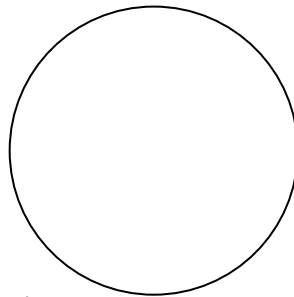
Відносне видовження, δ , % _____

Відносне звуження, ψ % _____

Ударна в'язкість, КСУ, $кДж/м^2$ _____

Твердість, НВ, МПа _____

Малюнок мікроструктури



Збільшення-

Приклади застосування: _____

Висновки: _____

ПРОТОКОЛ № 3 (ЗРАЗОК № 3)

Повне гартування

Матеріал (марка), ДСТ- _____

Масова частка вуглецю, % _____

Вид термічної обробки _____

Температура нагрівання (°C) _____

Охолоджуюче середовище: _____

Швидкість охолодження, °C/с: _____

Структурні складові _____

Характеристика мікроструктури _____

Механічні властивості (за даними літератури):

Границя міцності, σ_b , МПа (кгс/мм²) _____

Границя текучості, $\sigma_{0,2}$, МПа (кгс/мм²) _____

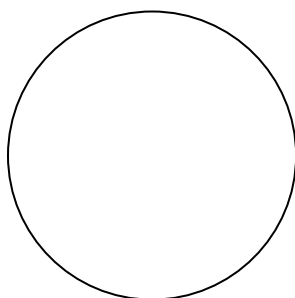
Відносне видовження, δ , % _____

Відносне звуження, ψ , % _____

Ударна в'язкість, КСУ, кДж/м² _____

Твердість, НВ, МПа (кгс/мм²) _____

Малюнок мікроструктури



Збільшення-

Приклади застосування: _____

Висновки: _____

ПРОТОКОЛ № 4 (ЗРАЗОК № 4)

Неповне гартування

Матеріал (марка), ДСТ- _____

Масова частка вуглецю, % _____

Вид термічної обробки _____

Температура нагрівання (°C) _____

Охолоджуюче середовище: _____

Швидкість охолодження, °C/с: _____

Структурні складові _____

Характеристика мікроструктури _____

Механічні властивості (за даними літератури):

Границя міцності, σ_b , МПа (кгс/мм²) _____

Границя текучості, $\sigma_{0,2}$, МПа (кгс/мм²) _____

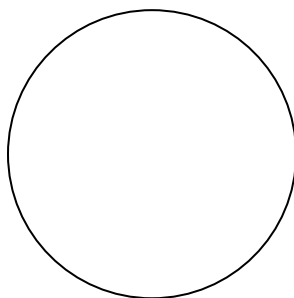
Відносне видовження, δ , % _____

Відносне звуження, ψ , % _____

Ударна в'язкість, КСУ, кДж/м² _____

Твердість, НВ, МПа _____

Малюнок мікроструктури



Збільшення-

Приклади застосування: _____

Висновки: _____

ПРОТОКОЛ № 5 (ЗРАЗОК № 5)

Гартування з низьким відпуском

Матеріал (марка), ДСТ- _____

Масова частка вуглецю, % _____

Вид термічної обробки _____

Температура нагрівання (°C) _____

Охолоджуюче середовище: _____

Швидкість охолодження, °C/с: _____

Структурні складові _____

Характеристика мікроструктури _____

Механічні властивості (за даними літератури):

Границя міцності, σ_b , МПа (кгс/мм²) _____

Границя текучості, $\sigma_{0,2}$, МПа (кгс/мм²) _____

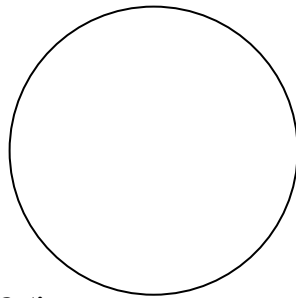
Відносне видовження, δ , % _____

Відносне звуження, ψ , % _____

Ударна в'язкість, КСУ, кДж/м² _____

Твердість, НВ, МПа _____

Малюнок мікроструктури



Збільшення-

Приклади застосування: _____

Висновки: _____

ПРОТОКОЛ № 6 (ЗРАЗОК № 6)

Гартування з середнім відпуском

Матеріал (марка), ДСТ- _____

Масова частка вуглецю, % _____

Вид термічної обробки _____

Температура нагрівання (°C) _____

Охолоджуюче середовище: _____

Швидкість охолодження, °C/с: _____

Структурні складові _____

Характеристика мікроструктури _____

Механічні властивості (за даними літератури):

Границя міцності, σ_b , МПа (кгс/мм²) _____

Границя текучості, $\sigma_{0,2}$, МПа (кгс/мм²) _____

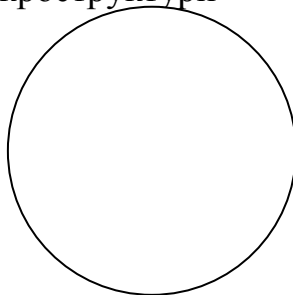
Відносне видовження, δ , % _____

Відносне звуження, ψ % _____

Ударна в'язкість, КСУ, кДж/м² _____

Твердість, НВ, МПа _____

Малюнок мікроструктури



Збільшення-

Приклади застосування: _____

Висновки: _____

ПРОТОКОЛ № 7 (ЗРАЗОК № 7)

Гартування з високим відпуском

Матеріал (марка), ДСТ- _____

Масова частка вуглецю, % _____

Вид термічної обробки _____

Температура нагрівання (°C) _____

Охолоджуюче середовище: _____

Швидкість охолодження, °C/с: _____

Структурні складові _____

Характеристика мікроструктури _____

Механічні властивості (за даними літератури):

Границя міцності, σ_b , МПа (кгс/мм²) _____

Границя текучості, $\sigma_{0,2}$, МПа (кгс/мм²) _____

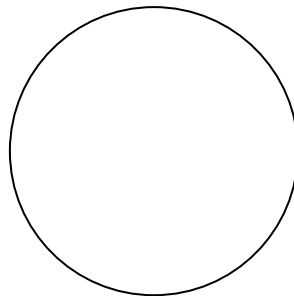
Відносне видовження, δ , % _____

Відносне звуження, ψ , % _____

Ударна в'язкість, КСУ, кДж/м² _____

Твердість, НВ, МПа _____

Малюнок мікроструктури



Збільшення-

Приклади застосування: _____

Висновки: _____

Роботу виконав: _____

Роботу перевірів: _____

« _____ » _____ 201 р.

« _____ » _____ 201 р.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

СПЛАВИ НА ОСНОВІ КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ

ПРОТОКОЛ № 1 (ЗРАЗОК № 1, силумін)

Матеріал (марка), ДСТ- _____

Хімічний склад, % _____

Структурні складові: _____

Спосіб отримання: _____

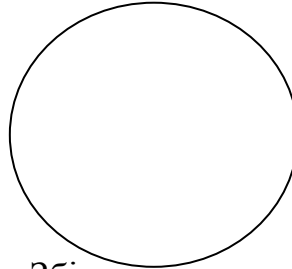
Властивості:

Границя міцності, σ_b , МПа (кгс/мм²) _____

Відносне видовження, δ , % _____

Твердість, НВ, МПа _____

Рисунок мікроструктури _____ (після модифікування):



Збільшення-

Приклади застосування: _____

ПРОТОКОЛ № 2 (ЗРАЗОК № 2, дуралюміній)

Матеріал (марка), ДСТ- _____

Хімічний склад, % _____

Структурні складові: _____

Спосіб отримання: _____

Механічні властивості до термічної обробки:

Границя міцності, σ_b , МПа (кгс/мм²) _____

Відносне видовження, δ , % _____

Твердість, НВ, МПа _____

Механічні властивості після термічної обробки:

Границя міцності, σ_b , МПа (кгс/мм²) _____

Відносне видовження, δ , % _____

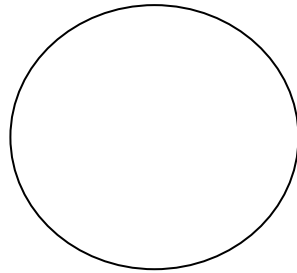
Твердість, НВ, МПа _____

Термічна обробка _____

Температура гартування (°C) _____

Охолоджуюче середовище _____

Старіння: температура (°C) _____ тривалість витримки _____
Рисунок мікроструктури (після термічної обробки):



Збільшення-

Приклади застосування: _____

Висновки: _____

(проаналізувати різницю між структурами і зміною механічних властивостей

залежно від модифікування і термічної обробки)

ПРОТОКОЛ № 3 (ЗРАЗОК № 3, латунь)

Матеріал (марка), ДСТ- _____

Хімічний склад, % _____

Структурні складові: _____

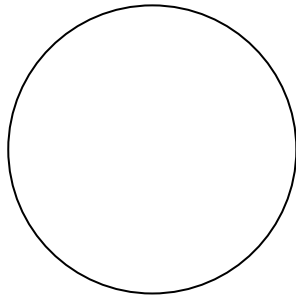
Механічні властивості:

Границя міцності, σ_b , МПа (кгс/мм²) _____

Відносне видовження, δ , % _____

Твердість, НВ, МПа _____

Рисунок мікроструктури _____:



Збільшення-

Приклади застосування: _____

ПРОТОКОЛ № 4 (ЗРАЗОК № 4, бронза)

Матеріал (марка), ДСТ- _____

Хімічний склад, % _____

Структурні складові _____

Спосіб отримання: _____

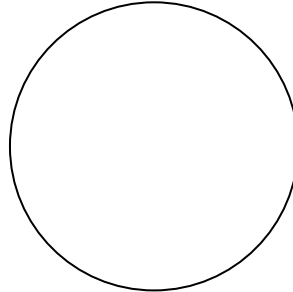
Механічні властивості:

Границя міцності, σ_b , МПа (кгс/мм²) _____

Відносне видовження, δ , % _____

Твердість, НВ, МПа _____

Рисунок мікроструктури _____ :



Збільшення-

Приклади застосування: _____

Висновки: _____

(проаналізувати різницю між структурою і зміною механічних

властивостей залежно від складу сплавів і термічної обробки)

Роботу виконав:

Роботу перевірів:

«_____» _____ 201 р.

«_____» _____ 201 р.

Література

1. Гуляев, А.П. Металловедение [Текст] / А.П. Гуляев. – М.: Металлургия, 1977. – 678 с.
2. Лахтин, Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов [Текст] / Ю.М. Лахтин. – М.: Металлургия, 1983. – 408 с.
3. Лахтин, Ю.М. Материаловедение: учебник для высших технических учебных заведений; 3-е изд., перераб. и доп. [Текст] / Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева. – М.: Машиностроение, 1990. – 528 с.
4. Сидорин, И.И. Руководство к лабораторным работам по материаловедению [Текст] / И.И. Сидорин. – М.: Металлургия, 1978. – 254 с.
5. Самохоцкий, А.И. Технология термической обработки металлов [Текст] / А.И. Самохоцкий, Н.Г. Парфеновская. – М.: Машиностроение, 1976. – 428 с.
6. Металознавство і термічна обробка із застосуванням комп'ютерних технологій навчання; навч. посібник; за ред. Ю.М. Тарана. – К.: ІСДО, 1983. – 208 с.
7. Материаловедение; под ред. Б.Н. Арзамасова. – М.: Машиностроение, 1986.
8. Пимашенко, В.Л. Справочник по практическому материаловедению [Текст] / В.Л. Пимашенко, Б.Р. Винокур и др. – К.: Техника, 1984. – 135 с.



Видавництво Тернопільського національного технічного університету ім. І. Пулюя

виготовляє підручники для вузів, методичну літературу, художні видання, надає редакційно-видавничі та поліграфічні послуги з набору тексту, розробки макетів і друку книги чи будь-якої іншої поліграфічної продукції (брошури, плакати, афіші, календарі).

КРІМ ТОГО, ВИДАВНИЦТВО ПРОПОНУЄ ТАКІ ПОСЛУГИ:

- дизайн візитівок, буклетів, вітальних листів;
- професійне вичитування і верстку;
- сканування та копіювання;
- чорно-білий і повноколірний друк.



м. Тернопіль
вул. Руська, 56,
корп. 1, кімн. 102
Тел.: (0352)522199

e-mail: vydavnytstvo@tu.edu.te.ua

Редактор *Є.І. Гриценко*
Коректор *М. Д. Радик*
Комп'ютерне макетування *Р. Л. Федішин*

Формат 60×90 Папір ксероксний.
Обл. вид. арк. 3,9
Наклад 50 прим. Зам. № 2287

Видавництво Тернопільського національного
технічного університету імені Івана Пулюя

вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001
E-mail: vydavnytstvo@tu.edu.te.ua

© Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
Навчально-методична література