

**Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет**

Кузик О.В., Рябець С.І., Царенко О.М.

**ПРАКТИКУМ
З ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА
КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Навчально-методичний посібник

Кропивницький
Видавець Лисенко В.Ф.
2023

УДК 658.5:621](072)

К 89

*Рекомендовано до друку рішенням Вченої Ради
Центральноукраїнського національного технічного університету
(Протокол № 7 від 3 квітня 2023 року)*

Рецензенти:

Диха Олександр Володимирович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри трибології, автомобілів та матеріалознавства Хмельницького національного університету.

Глушкова Діана Борисівна, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології металів і матеріалознавства ім. О.М. Петриченка Харківського національного автомобільно-дорожнього університету.

Укладачі:

Кузик О.В. – к.т.н., доц. кафедри матеріалознавства та ливарного виробництва ЦНТУ.

Рябець С.І. – к.т.н., доц. кафедри технологічної та професійної освіти ЦДУ ім. В. Винниченка.

Царенко О.М. – к.т.н. професор.

Кузик О.В., Рябець С.І., Царенко О.М.

К 89

Практикум з технології виробництва конструкційних матеріалів: Навчально-методичний посібник / Кузик О.В., Рябець С.І., Царенко О.М.; Центральноукраїнський національний технічний університет. – Кропивницький : Видавець Лисенко В.Ф., 2023. – 86 с.

ISBN 978-617-7813-74-2

Навчально-методичний посібник містить основні відомості про сучасні методи дослідження фізико-технологічних властивостей конструкційних матеріалів, використанням сучасних вимірювальних приладів та апаратури, технологічні процеси одержання матеріалів, а також технології у машинобудуванні.

УДК 658.5:621](072)

© Центральноукраїнський національний
технічний університет, 2023

© Кузик О.В., Рябець С.І.,
Царенко О.М., 2023

© Видавець Лисенко В.Ф., 2023

ISBN 978-617-7813-74-2

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....	4
<i>Вступна лабораторно-практична робота.</i>	
ТОЧНІ ВИМІРЮВАННЯ: ВИВЧЕННЯ ШТАНГЕНЦИРКУЛЯ, МІКРОМЕТРА, ОПТИЧНОГО МІКРОСКОПА. ПОНЯТТЯ ПРО ТОЧНЕ ЗВАЖУВАННЯ.....	6
<i>Лабораторно-практична робота № 1.</i>	
МАКРОАНАЛІЗ ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ.....	21
<i>Лабораторно-практична робота № 2.</i>	
ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ СТАЛЕЙ МЕТОДАМИ МІКРОАНАЛІЗ	26
<i>Лабораторно-практична робота №3.</i>	
ДОСЛІДЖЕННЯ СТАЛЕЙ НА ЕЛЕКТРОХІМІЧНУ КОРОЗІЮ.....	31
<i>Лабораторно-практична робота №4.</i>	
ХІМІЧНІ МЕТОДИ НАНЕСЕННЯ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ.....	37
<i>Лабораторно-практична робота №5.</i>	
ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ГАРТУВАННЯ НА ТВЕРДІСТЬ ВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ.....	41
<i>Лабораторно-практична робота № 6.</i>	
ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ ЧОРНИХ ТА КОЛЬОРОВИХ СПЛАВІВ МЕТОДОМ БРІНЕЛЛЯ.....	45
<i>Лабораторно-практична робота № 7.</i>	
ВИВЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПАЯННЯ МЕТАЛІВ ТА СПЛАВІВ.....	50
<i>Лабораторно-практична робота № 8.</i>	
МАКРО- ТА МІКРОАНАЛІЗ МІДНИХ СПЛАВІВ.....	56
<i>Лабораторно-практична робота № 9.</i>	
ЕЛЕКТРОХІМІЧНІ СПОСОБИ НАНЕСЕННЯ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ.....	62
<i>Лабораторно-практична робота № 10.</i>	
ДОСЛІДЖЕННЯ СТАЛЕЙ НА СТІЙКІСТЬ ДО ГАЗОВОЇ КОРОЗІЇ.....	66
<i>Лабораторно-практична робота № 11.</i>	
МІКРОСКОПІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ.....	72
<i>Лабораторно-практична робота № 12.</i>	
ВИВЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЗВАРЮЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗВАРНОГО ШВА.....	79

ПЕРЕДМОВА

За допомогою лабораторних занять студенти знайомляться з практичним застосуванням основних методів дослідження будови й властивостей металів та сплавів із використанням сучасних методів їх дослідження. Роботи практикуму сприяють поглибленню теоретичних знань, оволодінню основними сучасними методами дослідження фізико-технологічних властивостей конструкційних матеріалів, здобуттю навичок експериментування із використанням сучасних вимірювальних приладів та апаратури. Виконання окремих лабораторних робіт не потребує попереднього лекційного роз'яснення.

Перед початком практикуму студенти обов'язково проходять вступний інструктаж з техніки безпеки при роботі в конкретній лабораторії, що фіксується за встановленою формою у відповідному журналі.

При виконанні лабораторно-практичних робіт студент повинен ознайомитись із «Теоретичними відомостями», поданими в описі лабораторної роботи, які викладено стисло. Ґрунтовне опанування деяких теоретичних питань вимагає опрацювання рекомендованої літератури. Підготовку до виконання лабораторно-практичної роботи доцільно здійснювати в лабораторії заздалегідь, оскільки вивчення приладів та самої установки вимагає попередньої практичної роботи з ними під контролем завідувача лабораторією. Таким чином, потрібно ще до початку занять виробити практичні навички роботи з приладами, вміти налаштовувати їх до роботи, здійснювати необхідні вимірювання.

Виконуючи кожную лабораторну роботу, студент повинен пам'ятати, що легковажність, неохайність в користуванні з приладами та матеріалами може призвести до нещасних випадків, пошкоджень вимірювальних приладів, виникненню пожеж, каліцтву тощо.

До кожного наступного заняття студент повинен підготувати бланк звіту до лабораторної роботи, яку він буде виконувати, в якому вказуються:

Форма звіту

Прізвище, ім'я, група

Назва та номер лабораторно-практичного заняття Мета:

Матеріально-технічне забезпечення робочого місця:

Хід роботи

Виконання завдань.

1.

2.

3...

Відповіді на контрольні питання

1.

2....

У бланку звіту повинні бути накреслені таблиці експериментальних спостережень, які студент заповнює під час виконання роботи.

Бланк звіту студент здає та захищає отримані результати під час контрольньо-узагальнюючих занять.

ТОЧНІ ВИМІРЮВАННЯ. ВИВЧЕННЯ ШТАНГЕНЦИРКУЛЯ, МІКРОМЕТРА, ОПТИЧНОГО МІКРОСКОПА. ПОНЯТТЯ ПРО ТОЧНЕ ЗВАЖУВАННЯ

Мета: вивчити будову та принци роботи штангенциркуля, мікрометра, мікроскопів МБС-10, LCD-Micro, окулярного мікрометра. Навчитись їх використовувати для точних вимірювань.

Прилади та матеріали: штангенциркулі, мікрометри, мікроскопи МБС-10, LCD Micro, окулярний мікрометр, ваги електронні лабораторні, зразки для вимірювань.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

ОПИС ШТАНГЕНЦИРКУЛЯ

Штангенциркуль (рис 1) – це прилад для вимірювання лінійних розмірів з точністю від 0,1 до 0,02 мм. Штангенциркуль складається зі сталеві лінійки (штанги) 5 з міліметровими поділками, відносно якої переміщується рамка 4 з ноніусом, і двох пар губок (ніжок) – нерухомих 1 і рухомих 2. При зімкнутих губках відлік за ноніусом дорівнює нулю.

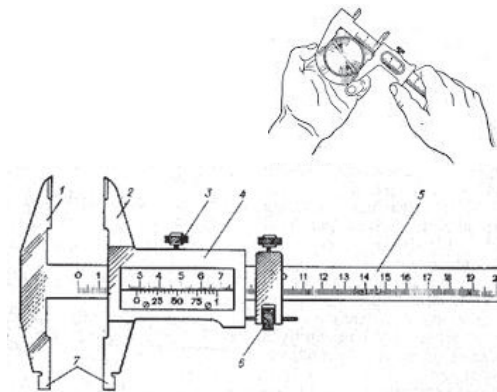


Рис. 1. Штангенциркуль

Між губками затискають деталь для вимірювання. Щоб точно визначити розмір деталі, рухому губку переміщують до тих пір поки вона не доторкнеться

до деталі. Цей момент дотику визначають з допомогою мікрометричного пристрою 6, щоб запобігти надмірному натисканню губок на деталь. Закріплюють рухому губку на штанзі стопорним гвинтом 3 і роблять відлік за ноніусом. Для вимірювання внутрішніх розмірів деталі є калібровані губки 7. Загальна ширина їх при зведених губках найчастіше дорівнює 10 мм; цей розмір потрібно додавати до відліку за шкалою. Деякі штангенциркулі мають також висувні лінійки для вимірювання глибини наскрізних отворів.

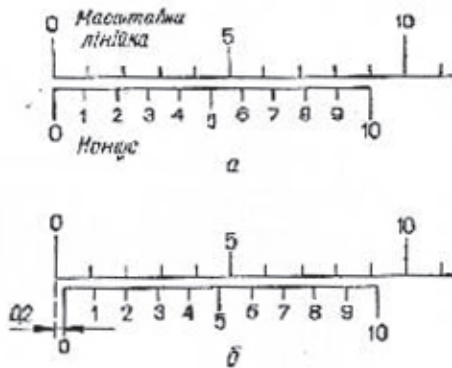


Рис.2. Мікрометр гладкий

Метод лінійного ноніуса: Ноніусом називається невелика додаткова до звичайного масштабу шкала, яка дає змогу підвищити точність вимірювань в 10 – 20 разів. Ноніус переміщується по основній шкалі. Розглянемо лінійний ноніус штангенциркуля. Ноніус для вимірювання з точністю до 0,1 мм являє собою шкалу довжиною 9 мм, поділену на десять рівних частин (рис. 2, а). Тому одна поділка ноніуса дорівнює 0,9 мм. Коли нульова відмітка (штрих) шкали ноніуса буде між певними відмітками основної шкали штангенциркуля (рис. 2 б), то це означає, що до цілого числа міліметрів потрібно додати певне число x десятих частин міліметра. Якщо стулити впритул ніжки штангенциркуля, то нульовий штрих ноніуса буде точно збігатися з нульовим штрихом штанги. Решта штрихів ноніуса, крім останнього, збігатися не буде: перший штрих ноніуса не збіжиться з другим штрихом штанги на 0,1 мм; другий штрих ноніуса не збіжиться з другим штрихом штанги на 0,2 мм і т. д. Десятий штрих ноніуса буде точно збігатися з дев'ятим штрихом штанги.

Будова ноніуса ґрунтується на тому, що людське око легко розрізняє, чи

є два штрихи продовженнями один одного, чи вони дещо зсунуті. Для визначення числа x знаходимо відмітку шкали ноніуса. Яка збігається з якоюсь відміткою основної шкали (на рис. 2 б це друга відмітка ноніуса). Нехай такою відміткою буде n -та за порядком відмітка шкали ноніуса. Оскільки вимірювана дробова частина міліметра дорівнює різниці між цілим числом міліметрів за основною шкалою штангенциркуля (n мм) і відстанню по шкалі ноніуса від нульової до відмітки, що збігається (0,9 мм) з відміткою основної шкали, то можна записати:

$$0,1 x = n - 0,9, \text{ тобто } x = n$$

Отже, порядковий номер збіжної мітки ноніуса безпосередньо дає число десятих часток міліметра.

ОПИС МІКРОМЕТРА

Мікрометр – універсальний інструмент (прилад), призначений для вимірювань лінійних розмірів абсолютним контактним методом в області малих розмірів з високою точністю (до 1 мкм), перетворюючим механізмом якого є мікропара «гвинт-гайка». Мікрометричні вимірювальні інструменти засновані на використанні точної гвинтової пари (гвинт-гайка), яка перетворює обертальні рухи мікрогвинта в поступальні. До мікрометричних інструментів відносяться: мікрометри, мікрометричні глибиноміри, мікрометричні нутроміри.

Мікрометричні інструменти призначені для абсолютного контактного методу вимірювання. Ціна поділки приладу – 0,01 мм. Похибка вимірювання залежить від меж вимірювання мікрометра і становить: від 3 мкм для мікрометрів 0-25 мм до 50 мкм для мікрометрів з межами виміру 400-500 мм. Принцип мікрометричної пари використовується в конструкціях багатьох вимірювальних приладів. Загальний вигляд гладкого мікрометра показаний на рис. 3.

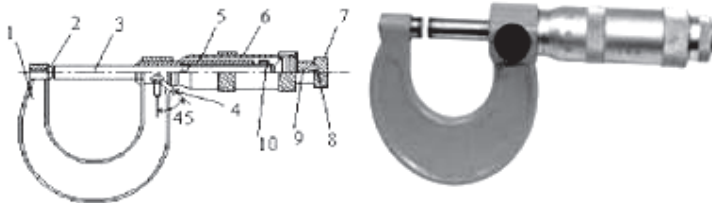


Рис. 3. Мікрометр гладкий

Корпусом інструмента служить скоба (1), в яку запресовані з одного боку п'ята (2), з іншого – стебло (5), на якому закріплено мікрогайку і нанесено поздовжню шкалу. Однією вимірювальною поверхнею є торець мікрометричного гвинта (3), що висувається зі стебла, іншою – торець п'яти (2). Мікрогвинт пов'язаний з корпусом барабана (6), який має на конусному кінці кругову шкалу. Закінчується барабан різьбою, на яку нагвинчується гайка (9), що є корпусом механізму тріскачки. Основне призначення тріскачки – забезпечувати сталість вимірювального зусилля за рахунок храповика (7) і підпружиненого стрижня (8). Мікрометр забезпечений пристроєм (4), що дозволяє стопорити мікрогвинт гайкою (10).

Відлік показань мікрометричних інструментів. Відліковий пристрій мікрометричних інструментів складається з двох шкал. Поздовжня шкала має два ряди штрихів з інтервалом 1 мм, розташованих по обидві сторони горизонтальної лінії і зміщених відносно один одного на 0,5 мм. Таким чином, обидва ряди штрихів утворюють одну поздовжню шкалу з ціною поділки 0,5 мм. Мікрогвинт пов'язаний з барабаном (6), який на конусному кінці має кругову шкалу з числом розподілів $p = 50$. Враховуючи, що крок різби гвинтової пари $8 = 0,5$ мм, ціна поділки кругової шкали (ноніуса) мікрометра «С» дорівнює: $C = 8/p = 0,5/50 = 0,01$ мм. Розмір вимірюваної деталі з точністю до 0,5 мм розраховують за шкалою стебла покажчиком, яким є скошений край барабана. Соті частини міліметра розраховують по круговій шкалі барабана, покажчиком якої є поздовжній штрих на стеблі мікрометра.

Установка мікрометра на нуль. Перед початком вимірювань мікрометричними інструментами проводять їх перевірку і установку на нуль. Установку мікрометрів на нуль здійснюють на початковому розподілі шкали. Для мікрометрів з межею вимірювань 0-25 мм – на нульовій поділці шкали, для мікрометрів з межами вимірювань 25-50 мм – на розподілі 25 і т. д. Обережне обертання мікрогвинта за тріскачку призводить до зіткнення вимірювальних поверхонь мікрогвинта й п'яти. У мікрогвинта з межею вимірювання 25-50, 50-75 і т. д. мікрогвинт і п'ята з'єднуються між собою через блок кінцевих мір довжини розміром 25, 50 мм і т. д. або через спеціальні циліндричні пристрої, що додаються в комплект до мікрометра. При зазначеному зіткненні скошений край барабана мікрометра має встановитися так, щоб штрих початкової поділки основної шкали (нуль або 25, 50 мм і т. д.) було повністю видно, а нульова поділка кругової шкали барабана збігалася з поздовжньою горизонтальною лінією на стеблі (5). Якщо такого збігу немає, то стопором (4) необхідно

зафіксувати мікрогвинта (3) і, притримуючи барабан (6) за накатаний виступ, послабити накидну гайку (9). Потім, повертаючи звільнений корпус барабана, суміщають нульову поділку на барабані з горизонтальною лінією на стеблі (5) мікрометра, і, притримуючи корпус барабана за накатаний виступ, знову закріплюють барабан гайкою (9). Слід мати на увазі, що при затягуванні гайки (9) нульова установка може порушитися, тому потрібно знову перевірити її і за необхідності виправити.

При вимірюванні мікрометром відводять вимірювальну поверхню мікрогвинта (3), обертаючи барабан (6), на необхідну відстань. Між мікрогвинтом (3) та п'ятою (2) поміщають вимірювану деталь і за допомогою барабана (6) скорочують зазор між вимірюваною деталлю і вимірювальними поверхнями до 1-2 мм. Остаточне зіткнення вимірювальних поверхонь з деталлю здійснюють обертанням тріскачки (7) і знімають показання приладу.

Залежно від конструкції (форми корпусу або скоб, у які вбудовується мікропара, форми вимірювальних поверхонь) чи призначення (вимірювання товщини листів, труб, зубів зубчастих коліс), мікрометри поділяють на гладкі, важільні, листові, трубні, дротові, призматичні, канавкові, різьбомірні, зубомірні й універсальні.

Різновиди. Виготовляються мікрометри ручні і настільні, в тому числі зі

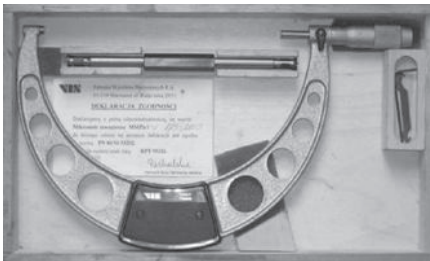


Рис 4. Мікрометр з круговою шкалою для зовнішніх вимірювань і діапазоном вимірювання 175-200 мм, із ціною поділки 0,01 мм

стрілочним відліковим пристроєм. Мікрометричні пари використовуються також у глибиноміра, нутроміра та інших вимірювальних засобах. Найбільше поширення мають гладкі мікрометри. Настільні мікрометри (у тому числі зі стрілочним відліковим пристроєм) призначаються для вимірювання маленьких деталей (до 20 мм), їх часто називають часовими мікрометрами. Деякі види мікрометрів показано на рис. 4-9. Під час вимірювання мікрометричним нутроміром його вводять у вимірюваний отвір і, відстопоривши мікрогвинта,

обертанням накатного кільця приводять вимірювальні наконечники приладу в зіткнення зі стінками отвору, а потім знову стопорять мікрогвинт.



Рис. 5. Трубний мікрометр

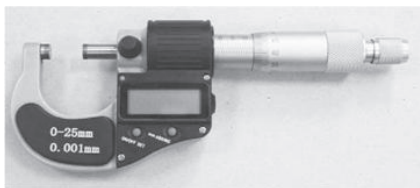


Рис. 6. Мікрометр електронний

Вимірювання розміру здійснюють кілька разів, злегка похитуючи мікрометри в площині, що проходить через вісь отвору, відшукуючи відповідно найбільший і найменший розміри. Після остаточного встановлення нутромір на розмір стопорять мікрогвинт і знімають показання (джерело: <https://buklib.net/books/36000/>).



Рис. 7. Мікрометр важільного типу



Рис. 8. Мікрометр цифровий



Рис. 9. Мікрометр листовий

МІКРОСКОП МБС-10 ТА ОКУЛЯРНИЙ МІКРОМЕТР

Мікроскоп МБС-10 дозволяє проводити спостереження як при штучному, так і при природному освітленні у відбитому та прохідному світлі. Цей мікроскоп збільшує об'єкти дослідження в межах 3,3-100 крат.

Загальний вигляд мікроскопа зображено на рис. 10. При обертанні ручок 1, які закріплюються на осі барабана, відбувається зміна збільшень. Округлені значення збільшень об'єктивної частини мікроскопа 3 нанесені на ручках (7;4;1 і 0,6 крат). Для того, щоб встановити потрібне збільшення, слід сумістити цифру на ручці з індексом на кільці. Кожне з шести положень барабана фіксується пружинним фіксатором.

Збільшення окуляра прописане на ньому (наприклад: $8\times$). **Загальне збільшення мікроскопа визначають як добуток збільшення об'єктиву на збільшення окуляру.**

Фокусування мікроскопа на об'єкт здійснюється переміщенням оптичної головки відносно предметного столика обертанням ручок 2, а спостереження при цьому ведуть через біокуляр 4.

Увага: обертати ручки фокусування у взаємно протилежних напрямках недопустимо!

Мікроскоп МБС може мати освітлювач 5 для штучного освітлення досліджуваного об'єкту.

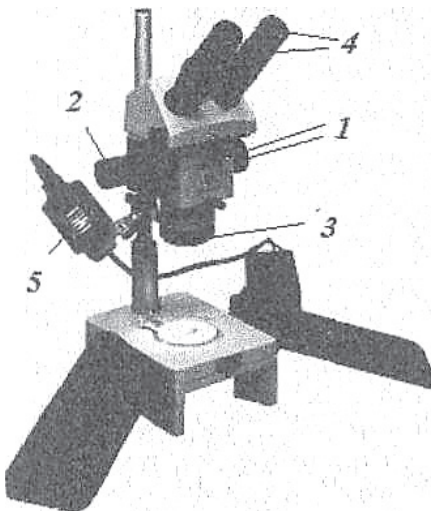


Рис.10. Загальний вигляд мікроскопа

Окулярний мікрометр. Часто виникає необхідність не тільки розглядати дрібні об'єкти, але й визначати їхні розміри. Для цих цілей використовується гвинтовий окулярний мікрометр (рис. 11), що є спеціальною окулярною насадкою до оптичного мікроскопа, яка встановлюється на верхній кінець його тубуса замість окуляра. Окулярний мікрометр служить для вимірювання лінійних розмірів предметів, що розглядаються в мікроскоп, і кріпиться до тубуса за допомогою гвинта 1. У фокусі окуляра 2 знаходиться шкала, нанесена на скляну пластинку та рухливий візир у вигляді двох близько розташованих ниток у верхній частині поля зору та Х-подібного перехрестя – в центрі (рис. 2, б). Візир пов'язаний з мікрометричним гвинтом 3. При обертанні мікрометричного гвинта обидва візирі переміщуються в полі окуляра відносно нерухомої шкали. Барабан мікрометричного гвинта має 100 поділок, а при його повороті на один оберт візирі переміщуються на одну поділку шкали. Отже, одна поділка мікрометричного гвинта дорівнює 0,01 поділки шкали. Нерухома шкала мікрометра служить для відліку повних обертів гвинта барабана.

Перш ніж вимірювати лінійні розміри встановіть ціну поділки, поклавши на предметний столик еталонну шкалу. Виберіть у центральній частині еталонної шкали довільну поділку та встановіть її між вертикальними рисками візирів, або сумістіть із Х-подібним перехрестям. Зафіксуйте покази мікрометра як число цілих міліметрів, та за відліковим барабаном – число десятих і сотих частин. Обертаючи мікрометричний гвинт переведіть візир на будь-яку сусідню поділку еталонної шкали та знову проведіть відлік за шкалою окулярного мікрометра. Різниця відліків мікрометра показує скільки поділок шкали окулярного мікрометра укладається в п поділках еталонної шкали. Ціна поділки окулярного мікрометра, очевидно, буде дорівнювати: $c = N : (n_2 - n_1)$, де N – кількість міліметрів еталонної шкали, n_1 та n_2 – початковий та кінцевий відлік мікрометричної шкали.

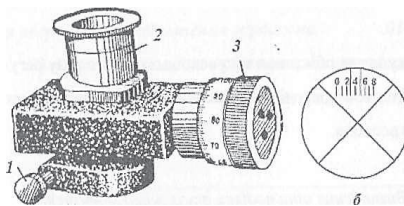


Рис.11. Зображення окулярного мікрометра

Знаючи ціну поділки окулярного мікрометра, можна виміряти довільний лінійний розмір дрібної деталі, отвору, тощо



Рис.12. Мікроскоп LCD Micro

Мікроскоп LCD Micro (рис.12)

теж може використовуватись для мікроструктурних досліджень прозорих та непрозорих об'єктів. Налаштування мікроскопа наступне:

Помістіть досліджуваний зразок (товщиною не більше 3 мм) на столик 4, виберіть необхідний об'єктив 3, увімкніть освітлення перемикачем 6, увімкніть дисплей кнопкою 2 (при цьому загориться червоний індикатор живлення).

1. Рукоюяткою 5 обережно обертайте до утворення на дисплеї чіткого зображення. Якщо чіткого зображення досягти не вдалося, встановіть інший об'єктив.

2. Збільшення окуляра мікроскопа стале – $10\times$, а змінних об'єктивів – $4\times$, $10\times$ та $40\times$. Тому максимальне оптичне збільшення мікроскопа $400\times$. Однак, клавішами зі стрілками "вгору" або "вниз" можна встановити необхідну яскравість, а з допомогою клавіш зі стрілками "вправо" і "вліво", електронне збільшення зображення коригується на коефіцієнт від 1 до 4. Отже, максимально досягне збільшення на **LCD Micro** $4 \times 400 = 1600\times$.

3. Датчик зображення, який використовується в цьому мікроскопі, підтримує максимальну роздільну здатність 1600×1200 пікселів.

4. При натисканні на кнопку запису "SNAP" одержана картинка буде збережена в пам'яті. При натисканні на кнопку "ESC" на монітор буде виведено список збережених фотографій.

5. Натисканням кнопки "MENU" на дисплеї з'явиться список панель меню, у якого можна обрати необхідні підпункти:

а) Файл *Protect* (Захист файлових зображення): *Lock* (захист існує), *Unlock* (захист знято), *Exit* (Вихід в Меню).

б) Файл *Del* (видалення файлів зображень): «*Current*» (обраний файл зображення для видалення), *All* (всі файли зображень видалення). Для забезпечення безпеки, буде запропоновано «видалити» чи «скасувати».

6. Завершивши дослідження, натисніть на кнопку2.

Ваги електронні лабораторні

Лабораторні ваги – це прилад, що дозволяє визначати масу предметів і матеріалів з високим ступенем точності. Відмінною рисою якісного приладу є ергономічність, надійність, довговічність, легкість в експлуатації.

Принцип роботи та функції лабораторних вагів. Спочатку лабораторні ваги були механічними. Їх принцип дії ґрунтувався на русі важелів або розтягуванні пружин. Зовні такі ваги виглядали як дві чаші, підвішені на кінцях коромисла. В одну чашу ставили речовину або предмет, масу якого потрібно визначити, в іншу – еталонні важки певної ваги. Різницю між зважуваною речовиною і масою важків показувала стрілка на шкалі. Потім з'явилися електронні ваги. Вони визначають масу за рахунок тензометричних датчиків. Принцип вимірювання полягає в наступному: під впливом ваги у матеріалу, з якого виготовлений датчик, змінюється електричний опір, при цьому величина зміни опору прямо пропорційна масі зразка, що зважується. Дані сприймаються спеціальними перетворювачами і виводяться на дисплей у вигляді цифр.

Крім безпосередньо самого зважування, ваги лабораторні електронні виконують ряд додаткових функцій:

- контрольне зважування, при якому попередньо задають потрібні межі зважування від і до, і відміряють вагу речовини, що відповідає зазначеним параметрам;

- усереднення ваги. Ця функція використовується, якщо потрібно зважити речовину в змінних умовах або сам об'єкт, маса якого визначається, відрізняється непостійністю. Чим більшу кількість разів виконується зважування, тим точніше кінцевий результат;

– процентне зважування. Зручна функція для складання сумішей за рецептами. Визначається вага у вигляді окремих складових суміші, так і її загальна маса. При зважуванні необхідне співвідношення інгредієнтів вказується в процентах.

– рахункова функція (інша назва – функція визначення маси групи). Підраховується кількість однотипних предметів, їх сумарна вага і маса кожної одиниці.

На лабораторних вагах можна визначати масу в декількох одиницях виміру. Найпоширеніші: міліграм, грам, унція, карат, гран, пенівейт. Але є моделі і з набагато більшим набором варіантів вимірювання. *Види електронних лабораторних вагів.* Електронні лабораторні ваги класифікуються залежно від точності вимірювання, яку забезпечують. Відповідно до стандарту ці пристрої діляться на три категорії:

1 клас (спеціальний клас точності – найвищий). Використовуються в наукових і медичних лабораторіях.

2 клас (високий клас точності). Застосовуються в виробничих, технічних, наукових, криміналістичних лабораторіях.



3 клас (середній клас точності). Підходять для харчової, металургійної та хімічної промисловості, де, з одного боку, необхідно точне визначення ваги, але з іншого – цей фактор не є критичним.

Приклад лабораторних вагів **ТВЕ-0,5-0,01-a-2** (НПВ: 500 г, $d=0,01$ г, платформа Ø120 мм, внутрішня калібрована) – застосовуються на підприємствах, в науково-виробничих лабораторіях різних галузей промисловості, в ломбардах, ювелірних майстернях.

Функції:

- зважування в грамах або каратах;
- компенсація маси тари;
- функція "штучний рахунок" (для підрахунку однакових деталей);
- автоматичне тестування та обнулення;
- автоматичне вимикання дисплею відповідно до заданого часу;

- контроль $\pm$ відносно встановленої маси зразка;
- вбудований акумулятор;
- інтерфейс RS-232, що дозволяє підключати вагу до принтера або комп'ютера.

Ваги внесені в Держреєстр України за № У 2070-07.

Гарантійний термін експлуатації – 24 міс.

Загальний опис

Електронні лабораторні ваги TBE-0,3-0,005/2 (далі – TBE) з максимальною межею зважування 300 грам відносяться до III класу точності. Дискретність підрахунку маси на лабораторних вагах TBE становить 0,005 г, тобто одна тисячна грама. Лабораторні електронні ваги TBE володіють звичайними для вагів електронними функціями – тарування, автоматична установка нуля. Максимальна вибірка маси тари становить 100% max – 100% верхньої межі зважування. Відмінними рисами TBE можна назвати штучний підрахунок дрібних деталей. Така функція дуже полегшує роботу лаборантів. Наприклад, необхідно зважити на лабораторних вагах певну кількість дрібних деталей однакової маси. При цьому необхідно ще й підрахувати кількість деталей. Для цього і використовується функція штучного підрахунку: працівник повинен зважити деяку кількість деталей (звичайно досить десятка складових), задати на вагах лабораторних цифру – кількість штук. Потім можна класти на платформу всю кількість деталей і ваги самі визначать масу одного номіналу та кількість у загальній масі. TBE також володіють властивістю контролю маси конкретного продукту (результату діяльності) щодо заданого зразка. Лаборант задає масу зразка або ж зважує зразок, на який повинні рівнятися інші вироби. TBE визначать вагу наступних зразків, покладених на платформу, і покажуть відмінність (похибку) у порівнянні зі зразком. Лабораторні ваги працюють від акумулятора 8 годин в активному режимі. Потім ваги слід обов'язково зарядити від електромережі. У вагах присутня функція відключення за відсутності роботи через деякий час, який задається вручну.

Метрологічні характеристики:

- найбільша границя зважування (НГЗ) – 500 г;

- дискретність відліку і ціна повірочної поділки – 0,01 г;
- максимальне значення вибірки маси тари – 100 % НГЗ;
- клас точності – III (ГОСТ 24104-88) ;
- час стабілізації показів – 3 с;
- калібрування еталонною гирею – внутрішнє;
- індикатор – рідиннокристалічний;
- колір символів індикатора – сірий;
- підсвітка екрану – синього кольору;
- інтерфейс – RS-232;
- ступінь пиле- та вологозахисту – IP40.

Вагова платформа:

- розміри вантажоприймальної платформи – Ø 120 мм;
- матеріал ваги приймальної платформи – нержавіюча сталь.

Додаткові характеристики:

- тип клавіатури – мембранна;
- захисний ковпак від повітряних потоків – немає;
- пластиковий захисний кожух – немає;
- живлення – ~220 В + акумулятор;
- споживана потужність – 10 В*А;
- час автономної роботи (при відсутності мережі ~220 В) –

8 годин;

- напруга живлення від мережі змінного струму – 230 В 50 Гц/11

В А /с.

Умови експлуатації:

- температурний діапазон роботи – від -30°C до +40°C;
- температурний діапазон термокомпенсації – від +10° до +35° С.

Виробник: країна виробника – Україна.

Маса (нетто) – 4,7 кг.

ЗАВДАННЯ ДО РОБОТИ

1. Ознайомитись із будовою та роботою штангенциркуля та мікрометра.

2. Виконати вимірювання товщини тонколистового матеріалу або діаметру дротини (на вибір). Для цього не менше ніж у трьох різних точках виміряти відповідний розмір та заповніть таблицю.

№ вимірювання	Товщина (діаметр), мм	Середнє значення, d, мм	Абсолютна похибка вимірювань, мм	Середня абсолютна похибка, Δd , мм	Кінцевий результат, $d \pm \Delta d$, мм
штангенциркуль					
1.					
2.					
3.					
мікрометр					
1.					
2.					
3.					

3. Вивчити будову, роботу та призначення основних елементів мікроскопів МБС-10 та LCD Micro.

4. Змінюючи окуляр та об'єктиви мікроскопів, кожного разу та визначити відповідне збільшення.

5. Вивчити будову окулярного мікрометра.

6. Встановити окулярний мікрометр на мікроскоп (не електронний) замість одного з окулярів і закріпіть його гвинтом. Для вивчення збільшення мікроскопу використати еталонну шкалу, яку встановити на столику мікроскопу. Увімкнувши освітлювач, освітити поле зору мікроскопу та добитись різкого зображення еталонної шкали в площині окулярного мікроскопу й сумістити еталонну шкалу зі шкалою окулярного мікрометра. Вибрати у центральній частині еталонної шкали довільну поділку та встановити її між вертикальні риски візиру або сумістити із Х-подібним перехрестям. Зафіксувати покази мікрометра як число цілих міліметрів, та за відліковим барабаном – число десятих і сотих частин. Обертаючи мікрометричний гвинт перевести візир на будь-яку сусідню поділку еталонної шкали та знову проведіть відлік за шкалою окулярного мікрометра. Різниця відліків мікрометра показує скільки поділок шкали окулярного мікрометра укладається в n поділках еталонної шкали. Ціна поділки шкали буде дорівнювати:

$$k=n/|k_2-k_1|.$$

Зауважимо, що ціна поділки мікрометра зміниться, якщо обрати інше збільшення мікроскопу. Знаючи ціну поділки окулярного мікрометра, виміряти лінійний розмір зразка та заповнити таблицю:

Збільшення, крат	$d_{\perp}$, мм	$d_{ }$, мм	$d_{cp.}$, мм

7. Ознайомитись з принципом роботи та характеристиками електронних лабораторних вагів. За можливості – провести зважування довільних зразків наявними вагами. Визначити похибку, записати результати зважування.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. У чому полягає метод лінійного ноніусу?
2. Яка ціна поділки ноніусу штангель циркуля, якщо він має 50 поділок?
3. Яку ціну поділки мають мікрометри?
4. Для чого у мікрометрах потрібна тріскачка.
5. У чому відмінності вивчених мікроскопів?
6. Від чого залежить збільшення мікроскопу?
7. Як знайти ціну поділки окулярного мікроскопу?
8. Що таке маса тіла? Які одиниці вимірювання маси?
9. Що називають вагою тіла? Які одиниці визначення ваги?
10. Принцип роботи вагів.
11. Класифікація та основні характеристики електронних вагів.
12. Як виміряти вагу на електронних терезах?

МАКРОАНАЛІЗ ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ

Мета роботи: навчитись проводити макроскопічний аналіз, вивчити методику виготовлення макрошліфів, методи виявлення макробудови й дефектів конструкційних матеріалів.

Прилади та матеріали: зразки сталі з нерівномірним розподілом сірки та з дефектами, які порушують суцільність металу, шліфувальний папір витяжна шафа, водяна баня, фарфорова ванна; мікроскоп МБС, щип ці, фільтрувальний папір, глянцевий бромисто-срібний фотографувальний папір, реактиви: 5%-ий водний розчин сірчаної кислоти, 20%-ий водний розчин гіпосульфіту, 10-15%-ий розчин азотної кислоти.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Макроструктура – це структура, будова металу, видима неозброєним оком або при збільшенні до 30 крат за допомогою лупи чи мікроскопа.

Існують три основних способи вивчення макроструктури:

1. Перегляд добре відшліфованої та протравленої поверхні готового металевого виробу. В цьому разі виріб не руйнується.
2. Перегляд спеціально підготовлених макрошліфів.
3. Вивчення зламу зразка.

Можливості макроструктурного аналізу значні, хоча виконання його досить просте і не потребує складного обладнання. Перевагами макроаналізу є те, що ним можна досліджувати значний об'єм металу – всю деталь чи її основні частини. Макроаналіз дає можливість виявити й визначити дефекти, які виникають на різних етапах виробництва заготовок та виробів.

При контролі й дослідженні зразків макроаналізом можна виявити дефекти, які виникають у результаті, розливання та кристалізації металу. З допомогою цього методу можна виявити також дендритну будову й особливості кристалізації, місцезнаходження, форму й розмір усадкових раковин, тріщин, неметалевих вкраплень, пористість, інші дефекти. При дослідженні катаного та кованого металу макроаналіз дозволяє оцінити ступінь і напрямок волокнистості структури. Досліджуючи метал після термічної або хіміко-термічної обробки, з допомогою макроаналізу можна орієнтовно оцінити товщину поверхневого шару (загартованого, цементованого тощо), структура якого відрізняється від структури основного металу, виявити

тріщини тощо.

Відбір і підготовка зразків для аналізу. Місце та напрямок вирізу зразків з виробу та їх кількість залежить від мети макроаналізу. Для контролю злитків, відливок, катаних та кованих заготовок зразки (проби) вирізають у напрямку, перпендикулярному поздовжній осі; їх називають темплетами. При вивченні будови злитку та макроаналізі зварних швів зразки макрошліфів вирізають у поздовжньому напрямку (паралельно поздовжній осі).

Виявлення макроструктури. Макроаналіз широко використовують для виявлення неоднорідності хімічного складу (ліквації) металу. Такі шкідливі домішки в сталі, як сірка та фосфор, часто розміщуються нерівномірно в об'ємі металу та концентруються в окремих його ділянках. Макроаналіз дає повну картину їхнього розміщення, хоча і не дозволяє провести кількісну оцінку. Дія хімічної обробки дозволяє також якісно визначити й інші макродефекти, які декоруються (фарбуються у різні кольори): так, залишковий аустеніт а також сульфіди заліза у сталях набувають жовтуватого кольору, окисли хрому дають зелений колір, сполуки марганцу – темно-червоний або коричневий тощо.

Травлять макрошліфи у спеціальних ваннах, встановлених у витяжній шафі. Щоб уникнути опіків кислотами, травлення проводять обов'язково в гумових рукавицях! Запам'ятайте, що при змішуванні води та кислоти слід строго дотримуватись правила: кислоту вливати тоненьким струмочком у воду при неперервному помішуванні. Ні в якому випадку не можна воду вливати у кислоту!

При травленні зразок кладуть у кварцову посудину та заливають травником. Якщо розміри шліфа дозволяють, то його занурюють у реактив повністю; виймають шліф з ванни щипцями. Час травлення залежить від ступеня легування й твердості сталі.

Оцінка макроструктури. Основні види дефектів, які оцінюють при проведенні макроаналізу .

1) *Центральна пористість* – дрібні пустоти, що не заварились при гарячій деформації злитку. Пористість має вигляд малих та великих темних крапок – пор. (рис.1, а).

2) *Ліквація* – неоднорідність металу за хімічним складом, структурою та неметалевими вкрапленнями. Розрізняють чотири види ліквацій: крапкова, плямиста, лікваційний квадрат або коло, підусадкова ліквація:

а) *крапкова* ліквація (рис. 1, б) виділяється у вигляді дрібних, округлих сильно протравлених заглиблень;

б) *п'ятниста* ліквація – загальна та крайова – виявляється у вигляді

окремих темних плям різних розмірів та форми. Загальна плямиста ліквіація (рис. 1, в) – це неупорядковано розміщені перерізом темплета плями;

в) *ліквіаційний квадрат* або *коло* виявляється у вигляді вузької смуги, яка травиться сильніше іншого металу (рис. 1, г);

3) *підкоркові бульбашки* мають на шліфі вид дрібних пустот – пор округлої форми, розміщених поблизу або на поверхні заготовок (рис. 1, д).

4) *міжкристалітні тріщини* (павучки) виявляються у вигляді трьох та більше тонких хвилястих полосок, напрямлених від осі заготовки в різні боки (рис. 1, д, е).

5) *пошарова кристалізація* – почергові шари металу у вигляді концентричних світлих або темних полосок (рис 1, ж);

6) *світла смуга* (контур) – різновид пошарової кристалізації. Цей дефект виявляється у вигляді порівняно яскравої концентричної смуги пониженої стійкості до травлення (рис. 1, з).

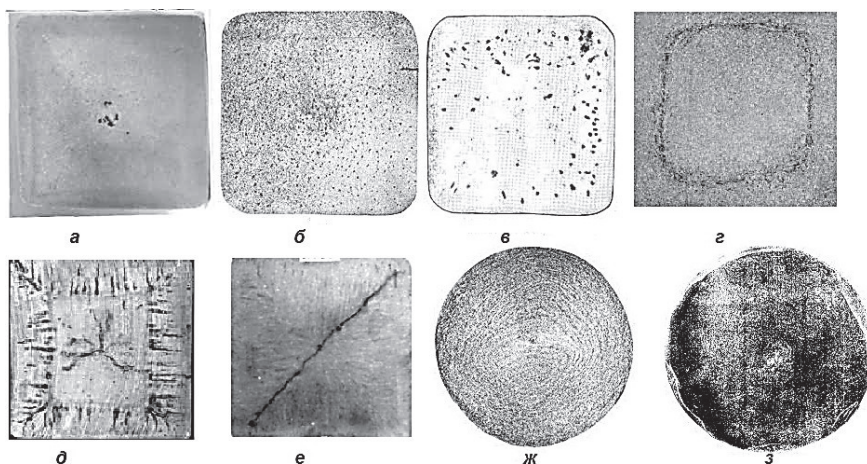


Рис. 1. Дефекти, що виявляються макроаналізом

ХІД РОБОТИ

1. Виявлення дефектів, які порушують суцільність металу.

Для виявлення в сталі дефектів, які порушують суцільність металу (тріщини, пори, раковини), проводиться глибоке травлення відшліфованого зразка одним з реактивів, склад яких подано в таблиці 1. При глибокому травленні розчину кислотами високої концентрації відбувається розтравлення дефектів, які порушують суцільність металу, тому вони стають видимі при

незначних збільшеннях.

Для виявлення дефектів необхідно:

1) Відшліфовану та відполіровану поверхню ретельно промити проточною водою, просушити. Помістити на предметний столик мікроскопа та добрати таке збільшення, щоб уся поверхня зразка була видимою у полі зору. Мікроскопом дослідити поверхню зразка на наявність дефектів.

2) У кварцову ванну, налити один з реактивів і нагріти до температури, вказаної в таблиці.

3) Зразок за допомогою щипців занурити в гарячий реактив і витримати в ньому протягом вказаного в таблиці часу. **При цьому слідкувати, щоб поверхня зразка не стала дуже темною!**

4) Після витримки, зразок за допомогою щипців витягнути з реактиву, промити водою й просушити.

5) Розглянути поверхню зразка при тому ж збільшенні, описати характерні дефекти макроструктуру і дати характеристики виявлених дефектів.

6) При можливості, за кольором протравленого зразка зробити висновки щодо його хімічного складу.

Таблиця 1

Реактиви для виявлення макродефектів сталей

Тип сталей	Реактиви	Час травлення, хв.
Сталі малостійкі до кислот	50%-й водний розчин HCl (70-90 °C)	2-3
Вуглецеві та низьколеговані	50%-й водний розчин HCl (70-90 °C)	5-20
Неіржавіючі, теплостійкі та високолеговані	80%-й водний розчин HCl (80-100 °C)	30-60
Жароміцні на нікелевій основі	HCl (1 л), H ₂ SO ₄ (0,07 л) и CuSO ₄ (0,3 кг) при 20 °C	60

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що розуміють під макроструктурою металів?
2. Для чого проводять макроаналіз?
3. Чому метали мають макроструктуру?

4. Чому шляхом хімічного травлення можна виявити макроструктуру металу?
5. Що таке ліквация?
6. Які різновиди лікваций існують?
7. У чому суть методу Баумана?
8. Що таке «центральна пористість»?
9. Чому в сталях та чавунах виникають ліквациї?
10. Що таке темплети?

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ СТАЛЕЙ МЕТОДАМИ МІКРОАНАЛІЗУ

Мета: вивчити методику виконання мікроаналізу; ознайомитись з переліком травників, методами виявлення мікроструктури й дефектів сталі.

Прилади та матеріали: зразки сталі, шліфувальний папір, мірні циліндри, набір кварцових стаканів, щипці, азотна кислота, етиловий спирт, дистильована вода, мікроскоп LCD-Micro.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Основи виявлення мікроструктури. Мікроструктура металів і сплавів характеризується величиною зерна та його розташуванням, формою, розміром і кількістю різноманітних фаз. Від цих факторів залежать фізико-механічні властивості сплавів.

Мікроструктуру сплавів вивчають під мікроскопом (при різних збільшеннях) на підготовлених шліфах. Різні фази сплаву характеризуються хімічним складом, кристалічною будовою, механічними властивостями, тому в основі всіх цих методів лежить підбір умов, які допомагають виявити різницю фаз і відрізнити їх одна від одної.

Для виявлення мікроструктури використовують спеціально підібрані кислоти й луги різної концентрації, розчини різних солей та їх суміші, нагрівання до різної температури на повітрі, або в спеціальному середовищі газів і парів тощо. На поверхні шліфа відбувається розчинення одних фаз, окислення і зафарбовування інших. Унаслідок – на шліфі під мікроскопом можна побачити обриси зерен і різні фази, визначити їхнє взаємне розташування; за кольором, формою та розмірами – визначити присутні в сплаві фази, тобто виявити мікроструктуру сплаву.

Особливості мікроструктури сталі. Структурними складовими вуглецевих сталей є аустеніт, ферит, цементит та перліт. *Аустеніт* – твердий розчин проникнення вуглецю в γ -залізі з максимальною розчинністю вуглецю 2,14%. Аустеніт – не магнітний, досить пластичний (*аустеніт при кімнатних умовах спостерігати неможливо, оскільки він утворюється у процесі кристалізації та розпадається на ферит та цементит не нижче температури 727 °C*).

Ферит – це твердий розчин вуглецю в α -залізі. Ферит – сама пластична та м'яка складова залізовуглецевих сплавів. Під мікроскопом ферит у технічно чистому залізі має вигляд різних за величиною та орієнтацією однорідних світлих зерен з чіткими межами (рис. 1, а), а у вуглецевих сталях (рис. 1, б, в) – вигляд світлих ділянок на фоні більш темних вкраплень цементиту чи перліту. Цементит – хімічна сполука заліза з вуглецем (карбід заліза Fe_3C). У сталях цементит називається вторинним, оскільки він утворюється в результаті розпаду аустеніту. У вуглецевих сталях цементит утворюється у вигляді пластинок або сітки (рис. 1, г, д, е). Це найкривкіша та найтвердіша структурна фаза. Перліт – механічна суміш фериту та цементиту, характерна для евтектоїдної сталі (концентрація вуглецю 0,8%). Шліф евтектоїдної сталі при травленні має перламутровий відтінок, тому таку структуру й назвали перлітом. Це дисперсна структура, тому вона має вигляд темних ділянок (рис. 1, г, д). Розглядаючи перліт під мікроскопом при боковому освітленні, або в темному полі, легко побачити чергування світлих і темних смужок, що пояснюється різною твердістю фериту та цементиту. При виготовленні шліфа цементит зішліфовується гірше, ніж перліт, що підсилюється ще й при травленні.

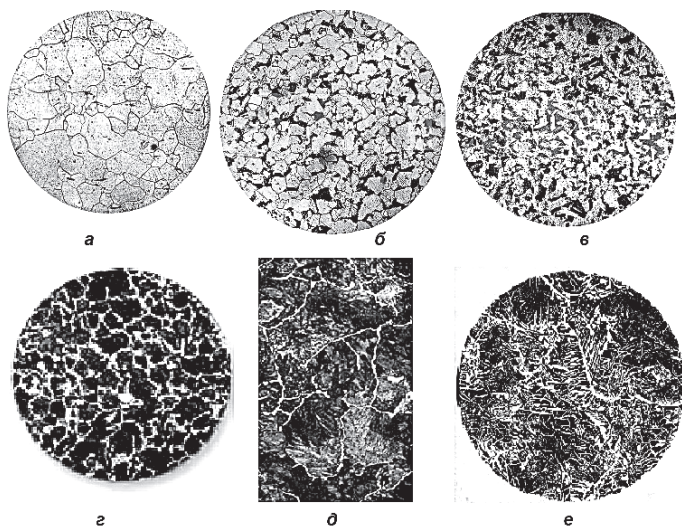


Рис. 1. Мікроструктура сталей з різною концентрацією вуглецю: а – $<0,1\% \text{ C}$; б – $0,25\% \text{ C}$; в – $0,5\% \text{ C}$; г, д – $0,8\% \text{ C}$; е – $1,2\% \text{ C}$ (збільшення: а, б, в, г, е – $150\times \dots 180\times$; д – $300\times$)

Хімічне травлення. При хімічному травленні поверхня шліфа піддається дії хімічних реактивів протягом певного часу й при заданій температурі. Травлення може бути загальним (при цьому виявляється вся мікроструктура) та вибіркоvim (виявляється яка-небудь деталь мікроструктури).

Для створення травників як розчинників використовують дистильовану воду, або різні спирти. Вибір розчинника залежить від складу травника та сплаву. Якщо потрібна велика швидкість травлення та контрастність зображення, то як розчинник використовують воду. Для отримання більшої чіткості при виявленні дрібних деталей мікроструктури й зменшення їх окислення при травленні та сушінні використовують як розчинник спирти. Усі речовини, які застосовують для створення реактивів, повинні бути високого ступеня чистоти для отримання якісної картини мікроструктури.

Травники можна використовувати при кімнатній температурі. Якщо потрібно збільшити швидкість процесу травлення, тоді їх підігрівають до встановленої температури (залежно від складу).

Техніка хімічного травлення. Виявлення мікроструктури металу при хімічному травленні проводять різними способами: зануренням зразка в травник, втиранням травника в поверхню шліфа чи змочуванням поверхні шліфа травником.

При травленні першим способом шліф занурюють у ванночку з травником. Якщо травлення короткочасне (декілька секунд), то шліф беруть пінцетом і занурюють полірованою поверхнею вниз, не торкаючись дна ванночки. Якщо травлення займає більш довгий час або одночасно травлять декілька шліфів, то їх занурюють у ванночку з реактивом полірованою поверхнею вгору. *В процесі травлення ванночку злегка погойдують. При цьому поверхня шліфа взаємодіє зі свіжим розчином і з неї видаляються продукти травлення.* Товщина шару травника біля поверхні шліфа повинна бути не менше 5 мм.

Тривалість травлення залежить від хімічного складу сталі й термічної обробки, концентрації травника та його хімічної активності. Час травлення підбирають експериментально. Якість травлення перевіряють під мікроскопом. *Якщо поверхня шліфа, яку видно під мікроскопом, дуже світла, немає чіткості контурів структури, то шліф – недотравлений, а тому проводять вторинне травлення. Якщо ж поверхня шліфа, яку видно під мікроскопом, темна, з широкими темними межами структурних складових, то шліф – перетравлений. У цьому разі його переполіровують, щоб зняти поверхневий шар, і ще раз травлять. Якщо при поліруванні протягом 1-2 хв.*

*слід*и травлення не видаляються, то поверхневий шар металу потрібно відшліфувати, а тривалість повторного травлення зменшити.

Після закінчення травлення, щоб запобігти окисленню шліфа, його спочатку промивають проточною водою, а потім протирають спиртом і висушують струменем теплого повітря, або прикладуванням фільтрувального паперу. Склад деяких травників і їх використання наведено в таблиці 1.

ХІД РОБОТИ

1. Одержати два зразки для мікроаналізу. Підготувати поверхню кожного зразка для травлення – відшліфувати поверхню зразка дрібним наждачним папером, gumкою, відполірувати та протерти ваткою, змоченою в спирті. Зразок вважається готовим до досліджень, якщо він має дзеркальну поверхню.

2. Вивчити мікроструктуру зразків у нетравленому вигляді з допомогою мікроскопа при збільшенні $150\times$... $200\times$, тобто після полірування і промивання. В цьому випадку в полі зору мікроскопа можна відмітити окремі, зазвичай невеликі, темні ділянки. Вони можуть представляти: неметалеві включення, дрібні пори тощо. Неметалеві включення в сталях, унаслідок їх великої крихкості, можуть частково або повністю викришитися при шліфуванні та поліруванні. Крім того, неметалеві включення володіють меншою відбивною здатністю світла, ніж метали. З цих причин ділянки оксидів, сульфідів і силікатів здаються у полі зору мікроскопа темними.

3. Провести травлення досліджуваних шліфів травником №1. Дослідити мікрошліфи під мікроскопом з різним збільшенням $150\times$... $300\times$. Порівняти їх з мікроструктурами, поданими на рис. 1.

4. У звіт про роботу замалювати (або сфотографувати) вигляд досліджуваних мікроструктур. Під кожною мікроструктурою вказати збільшення, орієнтовний вміст вуглецю в сплаві, його структуру. На кожному з рисунків стрілками показати різні виявлені фази та біля стрілок на полях дати їхні назви.

5. Дати відповіді на контрольні запитання.

Травники для виявлення мікроструктури сталей

Склад травника	Застосування і спосіб травлення
1. Азотна кислота HNO_3 – 1,5 см ³ ; етиловий ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) або метиловий (CH_3OH) спирт – 100 см ³ . (реактив Ржешотарського)	Для травлення всіх залізовуглецевих сплавів які пройшли різну обробку, добре виявляє перліт, який фарбується у темний колір, виявляють межі зерен фериту, структуру мартенситу та продуктів відпуску. Застосовується також для виявлення структури азотованої і цементованої сталі. Час травлення – від декількох хвилин до 1 год. Для прискорення травлення спирт замінюють дистильованою водою, для уповільнення – гліцеринном.
2. 5 г пікринової кислоти; 100 мл етилового ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) або метилового (CH_3OH) спирту	Для виявлення зерна у вуглецевих та легованих сталях.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що таке мікроструктура металу?
2. Чому мікроструктуру металів виявляють лише після хімічного травлення зразків?
3. Як називається мікроструктурна складова що є твердим розчином вуглецю в α -залізі? Яка сама пластична та м'яка складова залізовуглецевих сплавів?
4. Що таке цементит?
5. Як називається механічна суміш фериту та цементиту?
6. Що таке α -Fe, γ -Fe? Чи є ще якісь модифікації заліза?
7. Яку мікроструктуру матиме залізовуглецевий сплав з концентрацією вуглецю 0,8%?
8. Яка різниця між первинним та вторинним цементитом?
9. Що таке аустеніт?
10. Якими фізичними властивостями ферит відрізняється від аустеніту?

ДОСЛІДЖЕННЯ СТАЛЕЙ НА ЕЛЕКТРОХІМІЧНУ КОРОЗІЮ

Мета: ознайомлення з процесом корозії металів і сплавів, визначення швидкості корозії, вивчення проникнення корозії.

Прилади та матеріали: зразки сталі, штангенциркуль, абразивний матеріал, фарфорова або кварцева посудина, аналітичні терези, суміш кислот $\text{HNO}_3 + \text{HCl}$.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Корозією називається процес руйнування металів і сплавів внаслідок хімічної або електрохімічної взаємодії їх із зовнішнім середовищем. У результаті корозії вироби втрачають свої властивості майже до повного руйнування металу. За характером взаємодії металу із середовищем розрізняють корозію хімічну та електрохімічну.

Хімічною корозією називається процес хімічної взаємодії металу з середовищем, яке не є провідником електричного струму (сухі гази й рідкі діелектрики: бензин, мастила, смоли, нафта і т.д.). Одним із агентів зовнішнього середовища, яке викликає корозію металу, є газ, наприклад: кисень, сірчастий газ, вуглекислий газ, сірчано-водневий газ та інші. Метал, який сполучається з газами, вступає з ними в хімічну взаємодію, в результаті якої на його поверхні утворюються плівки окислів у вигляді FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , можливе утворення гідрооксидів типу $\text{Fe}(\text{OH})$, сульфідів FeS тощо.

Хімічна корозія заліза відбувається як при звичайній, так і при високій температурі (газова корозія). З підвищенням температури процес окислення посилюється, плівка окислів стає товстішою. Ступінь окислення заліза та його сплавів багато в чому залежить також і від наявності домішок хрому, алюмінію, кремнію. Так, сталь, яка містить в собі 20% Cr, не піддається корозії навіть при температурі 1170-1270 К (окалиностійка сталь). Це пояснюється тим, що хром, алюміній і кремній утворюють міцні захисні плівки Cr_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 та інші. Тому Cr, Al, Si можна вважати корозійно стійкими елементами.

Електрохімічна корозія являє собою процес руйнування металу в електролітах. Електролітами можуть бути водні розчини солей, кислот, лугів.

За геометричним характером руйнувань розрізняють корозію рівномірну, місцеву, міжкристалітну, щілисту тощо.

При рівномірній корозії метал руйнується з однаковою інтенсивністю на

всій поверхні. Цей вид корозії найчастіше спостерігається в чистих металах і однорідних твердих розчинах.

При місцевій корозії руйнування не поширюється з однаковою інтенсивністю на всю поверхню, а концентрується на окремих ділянках деталі, поширюючись углиб металу. Чим нерівномірніша корозія, тим вона небезпечніша.

При міжкристалітній корозії руйнування металів виникає на межах зерен. Зовнішня поверхня матеріалу при цьому залишається чистою і помітити міжкристалітну корозію важко.

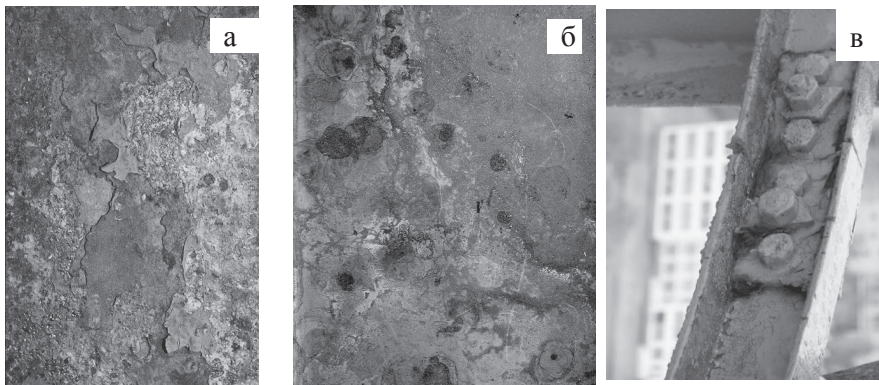


Рис. 1. Суцільна (а), місцева (б) та щілиста (в) корозії.

Залежно від умов перебігу розрізняють такі види електрохімічної корозії:

контактна корозія – спостерігається при тривалому контакті двох металів, що мають різні значення електродних потенціалів;

- *атмосферна корозія* – руйнування металів у вологому повітрі при звичайних температурах;

- *корозія у ґрунті*, коли метал контактує з вологим ґрунтом, який містить розчинений кисень та інші речовини;

- *щілиста корозія* – підсилене руйнування металів у щілинах, отворах, зазорах та каналах;

- *корозія під напруженням*, що спричиняється одночасною дією на метал корозійного середовища і механічного навантаження;

- *фретинг-корозія*, яка виникає внаслідок тертя корозійного середовища по поверхні металу;

- *біокорозія*, що відбувається під впливом продуктів життєдіяльності мікроорганізмів;

- *корозія під дією зовнішнього електричного струму* – руйнування підземних металевих комунікацій та споруд блукаючими струмами. Найчастіше цей вид електрохімічної корозії спостерігається при роботі електричного рейкового транспорту за рахунок витоку струму на стиках заглиблених у ґрунт рейок.

Технічні метали обов'язково забруднені різними домішками, а сплави містять ще більшу кількість сторонніх включень (у тому числі й атомів легуючих елементів), що пояснює структурну і термодинамічну неоднорідність поверхні. З іншого боку, корозійне середовище з різних причин теж має певну гетерогенність. Тому електродні потенціали, що виникають на окремих ділянках поверхні металу у струмопровідному середовищі, можуть суттєво відрізнитися між собою. Це створює передумови для роздільного перебігу процесу окислення (на ділянках з меншим значенням електродного потенціалу) і процесу відновлення (на тих ділянках поверхні, які мають більш додатне значення електродного потенціалу). З урахуванням іонної провідності корозійного середовища зрозуміло, що при електрохімічній корозії утворюється корозійний гальванічний елемент (рис. 2).

Як впливає із визначення, процеси іонізації атомів металу і відновлення окислювального компонента із корозійного середовища відбуваються хоч і одночасно, однак не в єдиному акті (на різних ділянках), а їх швидкості залежать від величин електродних потенціалів металу.

Отже, сутність електрохімічної корозії полягає в анодному розчиненні

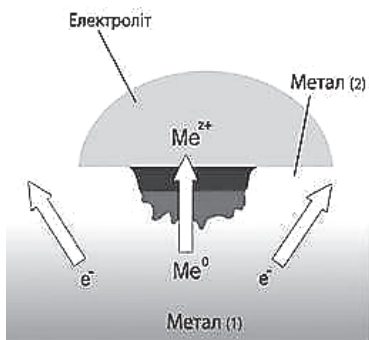


Рис.2. Утворення корозійного гальванічного елемента.

металу на ділянках з меншим значенням електродного потенціалу і катодному відновленні окисника із навколишнього середовища на ділянках з більшим значенням електродного потенціалу, завдяки чому самі катодні ділянки зберігають свою цілісність

Існують якісні та кількісні методи оцінки корозії.

Якісна характеристика передбачає: випробування на звук (поява міжкристалічної корозії різко зменшує час звучання); випробування на згин (міжкристалітна корозія призводить до виникнення дрібних тріщин і навіть ламкого руйнування в зоні розтягу);

металографічне дослідження (дозволяє знайти початкове виникнення мікротріщин).

До кількісних методів оцінки корозії належить вивчення механічних якостей металу чи іншого матеріалу після дії на нього агресивного середовища.

Об'ємний метод визначення швидкості корозії полягає у вимірюванні об'єму газів, які виділилися або поглинулися. Наприклад, з допомогою водневого корозиометра за об'ємом водню, який виділювався, можна розрахувати кількість металу, котрий перейшов у розчин.

При ваговому методі визначається різниця мас зразка металу до і після корозійних випробувань.

Мірою корозійної стійкості при рівномірній корозії є кількість металу, яка перейшла в розчин й визначається або за втратою маси зразка, віднесеної до одиниці площі поверхні (1 м^2 , 1 см^2 , 1 мм^2) й до одиниці часу (час, доба, година), або за глибиною роз'їдання (мм/год., мм/добу, мм/рік).

Ваговий показник, або, так звана, *швидкість корозії* обчислюється за формулою:

$$k = \frac{|m_1 - m_2|}{S \cdot t}, \quad (1)$$

де k – ваговий показник, у $\text{г}/(\text{мм}^2 \cdot \text{год})$; m_1 – початкова маса, у г ; m_2 – кінцева маса, у г ; S – площа поверхні зразка, у мм^2 ; t – час випробувань, у год .

За швидкістю корозії знаходять також величину *проникнення*, так званий, *глибинний показник корозії*:

$$П = k \frac{\tau}{\rho} \cdot 10^{-3}, \quad (2)$$

де $П$ – глибинний показник корозії, в $\text{мм}/\text{рік}$; k – швидкість корозії, визначена за формулою (1), у $\text{г}/(\text{мм}^2 \cdot \text{год})$, τ – кількість годин у році, год. , ρ – густина металу, у $\text{г}/\text{мм}^3$ (для сталі вважати $\rho = 8,7 \cdot 10^{-3} \text{ г}/\text{мм}^3$).

Визначити ваговий показник корозії сталі можна термічним методом (хімічна корозія), або шляхом травлення в спеціальному хімічному реактиві (електрохімічна корозія). Для оцінки корозійної стійкості металу за глибинним показником використовується десятибальна шкала (таблиця 1).

Таблиця 1

Оцінка корозійної стійкості за глибинним показником корозії

Група стійкості	Глибина проникнення корозії, ммУр.	Бал	Група стійкості	Глибина проникнення корозії, мм/р.	Вал
Цілком стійкі	$P < 0,0001$	1	Занижено стійкі	$0,1 < P < 0,5$ $0,5 < P < 1,0$	6 7
Дуже стійкі	$0,0001 < P < 0,005$	2	Малостійкі	$1,0 < P < 5,0$ $5,0 < P < 10,0$	8 9
Стійкі	$0,005 < P < 0,001$	3	Нестійкі	$P > 10,0$	10
	$0,001 < P < 0,05$	4			
	$0,05 < P < 0,1$	5			

ХІД РОБОТИ

1. Підготуйте одержані зразки сталі до досліджень. Для цього слід видалити з поверхні рештки корозії та відшліфувати. Виміряйте розміри зразків, обчисліть площу їх поверхні та знайдіть їхню масу. Дані занесіть до таблиці 2.

2. Помістіть зразки у чисті фарфорові або кварцові чашки (окремо кожен) і залийте сумішшю кислот $\frac{1}{3} \text{HNO}_3 + \frac{2}{3} \text{HCl}$, зафіксуйте час; та витримайте зразки у кислотному розчині 20-30 хв., обережно пінцетом видаліть зразки із розчину і ретельно промийте протягом декількох хвилин у проточній чистій воді.

3. Помістіть зразки у сушильну шафу та витримайте до повного висушування (близько 5 хв.).

4. Знайдіть нову масу зразків та встановіть втрату маси.

5. Дослідіть зразки з допомогою мікроскопа МБС при різних збільшеннях та зробіть висновок щодо характеру корозії.

6. Обчисліть швидкість корозії за формулою (1) та глибинний показник корозії за формулою (2). Отримані результати занесіть до таблиці 2.

7. За глибиною проникнення корозії встановіть корозійну стійкість сталі та визначте бал стійкості.

Результати досліджень

№ зразка	Площа зразка, $S, \text{мм}^2$	Маса зразка		Час витримки, t , год.	Швидкість корозії, k , $\text{г}/(\text{мм}^2 \cdot \text{год})$	Проникнення корозії, P , $\text{мм}/\text{рік}$.	Група стійкості та бал
		$m_1, \text{г}$	$m_2, \text{г}$				
1							
2							

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що таке корозія?
2. Що таке хімічна корозія? газова корозія?
3. Які особливості рівномірної корозії?
4. Які види руйнувань характерні для міжкристалітної корозії?
5. У чому полягає ваговий метод дослідження корозії?
6. Що розуміють під глибинним показником корозії?
7. Чому міжкристалітна корозія вважається самою небезпечною?
8. Які методи дослідження корозії відносяться до кількісних?
9. У чому полягає об'ємний метод дослідження металів на корозійну стійкість?
10. Чи залежить швидкість корозії від температури?

ХІМІЧНІ МЕТОДИ НАНЕСЕННЯ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ НА ВУГЛЕЦЕВІ СТАЛІ

Мета: Познакомитись з хімічними методами нанесення захисних покриттів та дослідити їх властивості.

Прилади та матеріали: зразки сталі, шліфувальний папір, штангенциркуль, мікроскоп МБС, аналітичні терези, 10%-ий водний розчин сульфатної кислоти (H_2SO_4), ванна з ортофосфорною кислотою (H_3PO_4).

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Хімічні методи нанесення захисних та захисно-декоративних покриттів широко застосовуються у машино-, судно-, приладобудівельній та інших промисловостях. Найпоширеніший хімічний метод нанесення захисних покриттів – фосфатування.

Метод одержання фосфатних плівок на виробах із чорних, кольорових та легких металів називається фосфатуванням. Фосфатні покриття, які утворюються на поверхні металів, внаслідок взаємодії з розчинами ортофосфорної кислоти та її кислих солей являють собою плівку не розчинних у воді фосфорнокислих сполук.

Фосфатні плівки складаються із дрібних кристалів, які зрослись між собою та хімічно зв'язані з металом. Внаслідок значної шорсткості поверхні фосфатні плівки мають специфічні фізико-хімічні властивості. Внаслідок наявності між кристаликами ультрамікроскопічних пор фосфатні плівки мають високі адгезійні властивості, добре адсорбують масла, лаки, мастила, які на них наносяться. Просочені ж цими речовинами плівки мають підвищені захисні властивості. Високі антифрикційні властивості фосфатних плівок, насичених маслянистими речовинами, полегшують протяжку, волочіння та інші операції холодної деформації металу.

Фосфатні плівки одержують відносно просто та легко. При взаємодії ортофосфорної кислоти з металом він розчиняється з утворенням первинного фосфору та виділенням водню :



Результат цієї реакції – зниження кислотності розчину, що приводить до прискорення гідролізу первинних фосфатів з утворенням складнорозчинних вторинних та практично нерозчинних третинних солей:



Підвищення концентрації вільної ортофосфорної кислоти приводить до подальшого проходження процесу.

Плівка фосфатів неоднорідна за складом – у шарі, що прилягає до металу, вміст металу максимальний, поверхневі ж шари складаються переважно із фосфатів неметалевих домішок, які завжди присутні в металах. Наприклад, при фосфатуванні сталі формується плівка з двох шарів:

- *бар'єрного* – міцно зв'язаного з поверхнею металу, незначної товщини, достатньо еластичного та досить пористого;
- *зовнішнього* – більш крихкого, який має кристалічну будову, складається із вторинних і третинних фосфатів.

Товщина, структура, пористість, колір фосфатної плівки та інші властивості залежать від методу й режиму фосфатування, а також від складу оброблюваної поверхні. Колір плівки може змінюватись від світло-сірого до темно-сірого. Плівки світло-сірого кольору утворюються на низьковуглецевих сталях та кольорових металах. Більш темний колір утворюється при фосфатуванні високовуглецевих сталей і чавунів. Колір плівки може бути зеленуватим, якщо сталь містить хром та нікель. Наявність у металі міді надає плівкам червонуватого відтінку.

Товщина захисного шару залежить від технологічних умов фосфатування. Так, досить тонкі плівки (1-4 мкм) мікрокристалічної структури утворюються при фосфатуванні полірованих сталейних поверхонь протягом 30 хв. Товсті крупнокристалічні плівки (10-12 мкм) утворюються при фосфатуванні поверхонь, попередньо оброблених мінеральною кислотою, або при збільшенні температури фосфатного розчину до 98-100 °С. Можна одержувати плівки товщиною більше 100 мкм, попередньо обробивши сталь у 10-15% розчині HNO_3 .

Про початок процесу фосфатування свідчить виділення бульбашок водню, а припинення виділення водню свідчить про завершення цього процесу. Однак, після припинення виділення водню деталь необхідно витримати в розчині ще 5-10 хвилин, оскільки ріст плівки ще продовжується приблизно такий час. Збільшувати процес витримки теж не варто, бо при цьому погіршується її якість через осідання на ній нерозчинних фосфатів. Значно погіршується якість плівок при накопиченні у робочому розчині домішок алюмінію, миш'яку, свинцю, сульфідів та хлоридів, які переходять у розчин із оброблюваних деталей. Тому розчин у ванні при фосфатуванні слід

періодично перемішувати.

Фосфатування поверхні металів можна виконувати в скляних та пластикових ваннах, але їхній об'єм повинен бути таким, щоб деталь повністю занурювалась у розчин для фосфатування.

ХІД РОБОТИ

1. Механічно очистити від окислів зразок для фосфатування, відполірувати його. З допомогою штангенциркуля (точність 0,1 мм) зняти розміри зразка та обчислити його площу поверхні.

2. Знежирити зразок протягом 5 хв. у 10%-му водному розчині H_2SO_4 , промити в проточній воді, висушити. *Далі зразок брати лише пінцетом!*

3. Визначити масу зразка. Дані занести в таблицю.

4. Обережно занурити зразок у ванну з розчином ортофосфорної кислоти, зафіксувати відлік часу.

5. Стежити, коли припиниться виділення водню (не менше 30-40 хв.), та залишити зразок ще на 3-5 хв у розчині ортофосфорної кислоти.

6. Промити зразок 1-2 хв. у проточній воді, висушити теплим повітрям. Визначити зміну маси зразка. Користуючись мікроскопом, оцінити якість і структуру утвореної плівки. Описати результати (якість, колір, структура тощо)

7. Товщину плівки знайдіть за формулою

$$h = \frac{|m_1 - m_2|}{S \cdot \rho}$$

де t_1 – початкова маса зразка у г, t_2 – маса зразка після фосфатування у г, S – площа поверхні зразка у мм^2 , $\rho = 5 \cdot 10^{-3} \text{ г/мм}^3$ – середня густина фосфатної плівки, h – товщина утвореної фосфатної плівки у мм. Заповнюючи таблицю переведіть товщину плівки у мікрометри (мкм).

8. За кольором плівки зробіть висновки щодо виду сталі, який Ви досліджували.

Таблиця експериментальних результатів

Площа поверхні зразка, S , мм^2	Початкова маса зразка, m_1 , г	Час витримки в ортофосфорній кислоті, с	Маса зразка після утворення захисного покриття, m_2 , г	Маса утвореної плівки, Δm , г	Товщина покриття, h , мкм

Примітка. Зверніть увагу, що при фосфатуванні, захисна плівка

утворюється шляхом розчинення частини металу, і її густина менша від густини металу. Тому й маса зразка після фосфатування буде меншою.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що таке фосфатування?
2. Чому фосфатні покриття є надійним протикорозійним захистом чорних металів?
3. На які метали можна наносити фосфатні покриття?
4. Які ознаки припинення процесу фосфатування?
5. Який висновок Ви зробите про сталь, якщо фосфатна плівка буде мати світло-сірий колір?
6. Що можна сказати про сталь, якщо фосфатна плівка буде мати темно-сірий, або чорний колір?
7. Який колір фосфатним плівкам надає мідь, яка є легувальною домішкою в сталях?
8. Чому фосфатні плівки мають високі адгезійні властивості та добре поглинають масла, лаки, мастила, які на них наносяться?
9. Якими властивостями володіє поверхневий шар фосфатної плівки?
10. Якими способами можна збільшити товщину фосфатної плівки?

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ГАРТУВАННЯ НА ТВЕРДІСТЬ ВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ

Мета роботи: дослідити вплив температури нагріву при загартуванні вуглецевих сталей на їх твердість.

Прилади та матеріали: муфельна піч, зразки сталі, загартувальні бачки з водою, щипці, шліфувальний папір, штангенциркуль, прилад Польді, мікроскоп МБС з мікрометричним окуляром.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Гартуванням (загартуванням) називається вид термічної обробки, внаслідок якого здійснюється нагрівання сталі до температур вище фазових перетворень, витримка при цій температурі й швидке охолодження з швидкістю вище критичної. Критичною швидкістю охолодження є така мінімальна швидкість, при якій аустеніт перебудовується лише в мартенсит. Таку швидкість можна забезпечити шляхом занурення нагрітої сталі у воду або мінеральну оливу.

Основна мета гартування сталі – отримання високої твердості, міцності та зносостійкості. Висока твердість сталі досягається переохолодженням аустеніту до температури нижче мартенситного перетворення. Внаслідок цього утворюється пересичений твердий розчин проникнення вуглецю в α -залізі, який називається мартенситом. Склад вуглецю в мартенситі такий же, як і в початковому аустеніті, а його твердість залежить від вмісту в ньому вуглецю та знаходиться в межах 5000-7000 МПа. Він дуже крихкий і непластичний. Мартенсит має голкоподібну структуру.

Крім мартенситу структурними складовими загартованої сталі можуть бути сорбіт, троостіт та бейніт. Сорбіт – це більш дрібнодисперсна порівняно із перлітом суміш фериту та цементиту, яка утворюється у результаті розпаду аустеніту. Твердість сорбіту – 2500-3000 МПа. Троостит – це також суміш фериту і цементиту, але ще більш дисперсна, ніж у сорбіту. Твердість трооститу – 3000-5000 МПа. Бейніт – це структура сталі, що складається з α -твердого розчину пересиченого вуглецем, котрий зазнав мартенситного перетворення і частинок карбідів. Твердість бейніту – близько 5000 МПа.

Чим більша швидкість охолодження, тим більший ступінь

переохолодження аустеніту, тим дрібніші продукти його розпаду і тим більша твердість сталі. Результати загартування значною мірою залежать від правильного вибору температури нагріву та від хімічного складу сталі. Розглянемо сталевий кут діаграми стану Fe-Fe₃C (рис. 1) Якщо температура нагріву доєвтектоїдної сталі буде нижчою A₁, то загартування сталі не відбудеться і тому твердість не підвищиться, бо не відбудеться фазових змін і структура залишиться ферит+перліт. При нагріванні сталі вище A₁ але нижче A₃ одержиться структура ферит+аустеніт. Унаслідок швидкого охолодження аустеніт перетвориться в мартенсит, і сталь отримає структуру ферит+мартенсит. Ферит при цьому залишиться без змін, а утворення мартенситу підвищить твердість.

З підвищенням температури між A₁ та A₃ кількість аустеніту буде збільшуватись та, відповідно, зменшиться кількість фериту, тому після швидкого охолодження кількість мартенситу буде зростати.

Підвищення твердості триватиме до тих пір, поки сталь не буде нагріта вище A₃ (на 30-50 °C). При такому нагріві отримується структура аустеніту, а в результаті швидкого охолодження – мартенсит.

Гартування з такою температурою називається повним. Нагрів доєвтектоїдної сталі вище A₃ на 70-100 °C шкідливий, оскільки призводить до росту зерна аустеніту і до утворення після швидкого охолодження великогольчатого мартенситу. Одночасно в структурі загартованої сталі зберігається невелика кількість залишкового аустеніту, знижується твердість і міцність.

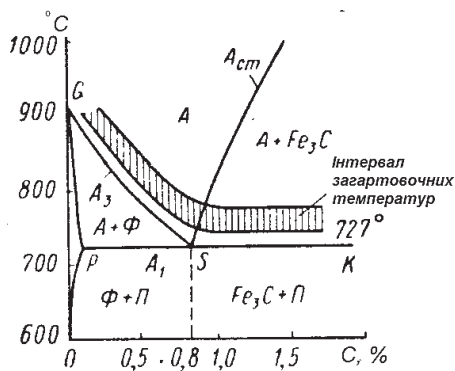


Рис. 1. Сталевий кут діаграмисистеми залізо-вуглець

Таким чином, доєвтектоїдні сталі підлягають повному гартуванню

шляхом нагрівання вище A_3 на 30-50 °С.

В евтектоїдних і заевтектоїдних сталях нагрів нижчий A_1 , також не викликає структурних змін, тобто твердість не зростає. При нагріванні вище A_1 на 50-70 °С евтектоїдна сталь отримує структуру аустеніту, а заевтектоїдна – аустеніту + цементиту. Після гартування евтектоїдна сталь матиме структуру мартенситу, а заевтектоїдна – мартенситу і цементиту.

Якщо заевтектоїдну сталь нагріти для загартувати вище $A_{ст}$, то в її структурі буде великогальчатий мартенсит з підвищеною кількістю залишкового аустеніту. Присутність залишкового аустеніту в структурі сталі знижує її твердість. Тому усі заевтектоїдні сталі підлягають неповному загартуванню, тобто її нагрівають вище A_1 на 50-70 °С.

Час нагріву під час загартування залежить від конструкції нагрівального приладу. Наприклад, при нагріванні в електричних повітряних печах швидкість нагріву складає 0,8-1 хв. на 1 мм перерізу, що слід враховувати при визначенні режимів термічної обробки. При досягненні заданої температури нагріву проводять витримку для повного прогріву виробів уздовж перерізу для завершення всіх фазових перетворень і вирівнювання складу аустеніту за об'ємом.

Твердість визначають приладом Польді.

ХІД РОБОТИ

1. Підготувати для досліджень зразок доевтектоїдної сталі – очистити шліфпапером від бруду, іржі, окалини. З допомогою штангенциркуля визначити товщину зразка, а приладом Польді – початкову твердість.

2. Досліджуваній зразок сталі завантажити в піч та послідовно нагріти до температур 750, 800, та 900 °С.

3. Після витримки (час витримки обрахувати відповідно до товщини) при кожній із вказаних температур, зразки охолоджують у воді.

4. Загартовані зразки зачистити наждачним папером та знову визначити твердість за допомогою приладу Польді, вимірявши діаметри відбитків на еталоні та на досліджуваному зразку.

5. Отримані результати занести в таблицю.

Результати експериментальних досліджень

Початкова твердість			Товщина зразка, мм	Час витримки, с	Температура гартування, °С	Твердість після гартування		
d _{ет} , мм	d _{зр} , мм	HB				d _{ет} , мм	d _{зр} , мм	HB
					750			
					800			
					900			

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Дайте означення аустеніту, перліту, фериту, цементиту, сорбіту, трооститу, мартенситу, бейніту.
2. Як твердість мартенситної структури залежить від кількості вуглецю?
3. Що розуміють під повним загартуванням?
4. Чому доєвтектоїдні сталі підлягають повному загартуванню?
5. Як залишковий аустеніт впливає на твердість сталей?
6. Чому при усіх термічних обробках при досягненні заданої температури нагріву проводять витримку виробу певний час?
7. Чи залежить при термічних обробках витримка заготовки при сталій температурі від температури нагріву?
8. Яку швидкість прогріву деталей забезпечують муфельні повітряні печі?
9. Яку роль у приладі Польді відіграє еталон?
10. У чому полягає принцип вимірювання твердості приладом Польді?

ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ ЧОРНИХ ТА КОЛЬОРОВИХ СПЛАВІВ МЕТОДОМ БРІНЕЛЛЯ

Мета роботи: вивчити будову автоматичного твердоміра; порядок підготовки зразків; порядок проведення випробовування; методику вимірювання отриманого відбитку.

Прилади та матеріали: автоматичний твердомір; зразки сталі та сплавів кольорових металів; штангенциркуль; мікроскоп МБС з оптичним мікрометром для вимірювання діаметра відбитка; наждачний папір.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Твердість – це опір матеріалу місцевій пластичній деформації, яка виникає при втисненні в нього більш твердого тіла, яке не деформується – індентора. Оцінку ступеня твердості проводять: при технологічній обробці матеріалів різанням, коли необхідно знати глибину продавлювання і ступінь їх твердості тощо.

Визначення твердості проводиться різними приладами (Брінелля, Роквелла, Шора, Польді, Герберта, Мартенса, Кузнецова та іншими) за методами: вдавлюванням сталевий кульки, сталевий або алмазний конуса, падінням ударника на поверхню досліджуваного матеріалу, ударом сталевий кульки, дряпанням конічним алмазом, за затуханням коливань маятника Кузнецова тощо.

Найпоширенішим є спосіб продавлювання кульки – спосіб Брінелля. Він полягає в тому, що у встановлений на сталевий плиті зразок вдавлюється на спеціальному пресі сталевий загартований та полірований кулька діаметром D (рис. 1). Зразок беруть шириною не менше 15 мм, товщиною не менше 5 мм, а поверхня його повинна бути гладкою. Сила вдавлювання автоматично підвищується до найбільшого значення протягом 30–60 с, потім вона поступово зменшується.

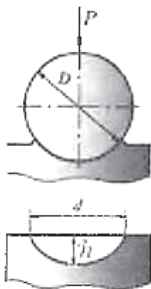


Рис. 1

Твердість за Брінеллем (позначається HB, вимірюється у МПа) визначають розділивши величину зусилля вдавлювання P (у ньютонів) на

площу S (у м^2) сферичного відбитка (лунки) в зразку, тобто :

$$HB = P / S. (\text{Па}) \quad (1)$$

Для визначення площі відбитка S вимірюють діаметр лунки d в міліметрах і обчислюють за формулою:

$$S = \pi \frac{D}{2} [D - \sqrt{(D^2 - d^2)}] \quad (\text{мм}^2) \quad (2)$$

Отже, фактично для визначення твердості можна скористатись зведеною формулою:

$$HB = \frac{P}{\pi \frac{D}{2} [D - \sqrt{(D^2 - d^2)}]} \quad (3)$$

Примітка. У Міжнародній системі СІ твердість вимірюється у паскалях (Па) або у мегапаскалях (МПа): $1 \text{ МПа} = 10^6 \text{ Па}$. Для використання формули (3) навантаження P слід перевести у ньютони (Н), а площу відбитка S – у квадратні метри (м^2).

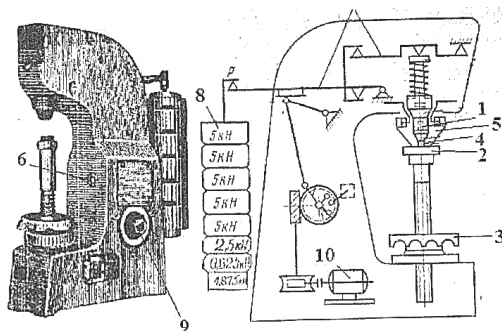


Рис. 2. Загальний вигляд та спрощена схема автоматичного твердоміра ТШ-2М

Опис автоматичного

твердоміра. Твердість за Брінеллем визначають на спеціальному важільному пресі ТШ-2М (рис. 2). У верхній частині станини є шпіндель, в який встановлюється наконечник з кулькою 1. Може бути встановлений один з трьох наконечників з кулькою діаметром 10, 5 або 2,5 мм. Столик 2 використовується для установки на ньому досліджуваного зразка. При обертанні за годинниковою

стрілкою рукоятки приводиться в обертання гвинт 3, який, переміщуючись угору, піднімає столик 2, і зразок притискується до кульки 4. Обмежувач 5 дозволяє кульці піднятися до необхідної величини. Електродвигун 10, який вмикається натиском кнопки 6 збоку преса, приводить в обертання ексцентрик, який через шатун спочатку піднімає, а потім опускає важіль 7 на кульку, котра вдавлюється в зразок. (У початковому положенні важіль з вантажами 8 повинен перебувати у найнижчому положенні). При подальшому

обертанні ексцентрика шатун, піднімає важіль і підвісуз вантажами, знімаючи цим навантаження з кульки. Коли важіль підвіски досяг початкового положення, електродвигун автоматично вимикається. Шкала 9 призначена для встановлення необхідного часу вдавлювання кульки в досліджуваний матеріал. Залежно від вантажів, установлених на підвісці, створюється різне навантаження.

Вибір кульки, навантаження та часу вдавлювання. Кульки різного діаметра (10; 5; 2,5 мм) застосовують залежно від товщини досліджуваного матеріалу: товщиною більше 5 мм – використовують кульку діаметром 10 мм; для матеріалу товщиною від 5 до 3 мм – 5 мм; , для матеріалу товщиною менше 3 мм – діаметром 2,5 мм.

Навантаження у ньютонах (Н) Р вибирають залежно від якості досліджуваного матеріалу за формулою $P = kD^2$, де D – діаметр кульки; k – стала для даного матеріалу величина, яка дорівнює: для чорних металів (сталь, чавун) 100–300, для твердих кольорових металів і сплавів (мідь, латунь) 50–100; для м'яких кольорових металів і сплавів (алюміній, бабіти) –25.

Таблиця 1

Матеріал	Твердість, НВ	Співвідношення Р та D	Товщина зразка, мм	Діаметр кульки, D, мм	Навантаження, P, Н	Витримка під час навантаження, с
Чорні метали	140...450	$P=300 D^2$	> 6	10	30 000	30
			6...3	5	7 500	-
			< 3	2,5	1 875	-
	<140	$P=100 D^2$	> 6	10	30 000	10
			6...3	5	7 500	-
			< 3	2,5	1 875	-
Кольорові метали	31,8...130	$P=100 D^2$	> 6	10	30 000	30
			6...3	5	7 500	-
			< 3	2,5	1 875	-

У таблиці 1 наведені дані для вибору діаметра кульки, навантаження та часу витримки під навантаженням залежно від матеріалу й товщини досліджуваного матеріалу зразка.

З таблиці видно, що при випробуванні кульками різних діаметрів (10;5; 2,5 мм) використовують різні навантаження – при випробуванні більш м'яких металів навантаження менше. Із зменшенням товщини матеріалу використовується кулька меншого діаметра (5; 2,5) і менше навантаження.

Пам'ятайте, що для отримання правильної характеристики твердості даного матеріалу при повторних дослідженнях центр відбитка повинен міститися від центра сусіднього відбитка на відстані не менше двох діаметрів кульки.

Підготовка зразка для дослідження. Перед дослідженням поверхню зразка, в яку буде втискуватись кулька, обробляють напилком і наждачним папером, щоб вона була рівною та гладкою, щоб на ній не було окалини й інших дефектів. Підготовка поверхні зразка необхідна для отримання якісного відбитка і щоб краї його були достатньо чіткі для вимірювання. Щоб при вдавлюванні кульки не відбувалось продавлювання матеріалу, товщина його повинна бути не менше десятикратної глибини відбитка.

Методика вимірювання розмірів відбитка та визначення твердості. Розміри отриманого відбитка вимірюють за допомогою оптичного мікрометра та мікроскопа в двох взаємно перпендикулярних напрямках; діаметр відбитка визначається як середнє арифметичне з двох вимірів. (Див. *Вступна лабораторно-практична робота*).

Поклавши зразок на предметний столик мікроскопа, навести чіткість і домогтись, щоб краї відбитка були чітко окреслені, при цьому один із країв повинен співпадати з початком мікрометричної шкали. Прочитати поділки шкали, з якими збігається протилежний край відбитку. Потім зразок повернути на 90° і виміряти діаметр відбитка ще раз. Знаючи ціну поділки мікрометра знайдемо діаметр відбитка в мм.

Далі розраховують твердість за допомогою формули (3).

ХІД РОБОТИ

1. Вивчіть будову та принцип роботи автоматичного твердоміра, штангенциркуля, оптичного мікроскопа з мікрометричним окуляром. Навчіться ними користуватись.

2. Два зразки (один із сталі, другий – із сплаву кольорового металу) підготуйте до вимірювання.

3. Оцініть необхідне навантаження та підберіть потрібний діаметр кульок. (Бажано добирати такі значення P та D , які б відповідали таблиці 1)

4. У присутності лаборанта проведіть вдавлювання кульки в досліджувані зразки.

5. Виміряйте діаметри одержаних відбитків у двох взаємно перпендикулярних напрямках та знайдіть середнє значення $d_{\text{ср}}$ з точністю

0,01 мм, обчисліть площу відбитка S у мм^2 (з тією ж точністю), переведіть значення площі у м^2 та обчисліть твердість матеріалів HB у МПа з точністю до цілих.

6. Одержані результати запишіть в таблицю.

Таблиця для запису результатів

№ з/п	Назва досліджуваного матеріалу	Товщина, мм	Діаметр кульки, мм	Навантаження, Н	Час навантаження, с	Вимірюються			Обчислюються	
						$d_{\parallel}$, мм	$d_{\perp}$, мм	$d_{\text{ср}}$, мм	S мм^2	HB

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що розуміють під твердістю матеріалу?
2. У яких одиницях вимірюють твердість матеріалу?
3. Які існують методи вимірювання твердості?
4. За якими формулами розраховують твердість матеріалу та площу відбитка?
5. Як визначається твердість за способом Брінелля?
6. У чому полягає спосіб Брінелля з визначення твердості тіл?
7. Для чого при вимірюванні твердості методом Брінелля процес вдавлення кульки проводять певний час?
8. Чому діаметр відбитка при визначенні твердості слід вимірювати у двох взаємно перпендикулярних напрямках?
9. Чому при методі Брінелля товщина зразка повинна бути не менше десятикратної глибини відбитка?
10. Як одиниці твердості кгс/мм^2 пов'язані з Па?

ВИВЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПАЯННЯ МЕТАЛІВ ТА СПЛАВІВ

Мета роботи: Ознайомитись з технологією процесу паяння; вивчити класифікацію припоїв та флюсів, технологію підготовки виробів до паяння, освоїти процес паяння.

Прилади та матеріали: електричний паяльник, флюси, свинцево-олов'яні припої, зразки для паяння.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Паяння – процес нероз'ємного з'єднання металевих виробів у твердому стані внаслідок взаємного розчинення та дифузії припою і основного металу в зоні шову.

Паянням з'єднуються вуглецеві та леговані сталі, чавун, тверді сплави, кольорові метали та їх сплави. Переваги процесу паяння над зварюванням полягають у простоті технологічного процесу та забезпеченні достатньої міцності паяних з'єднань, можливості автоматизації процесу. Для міцності та надійності отримання паяного шову потрібно для кожного конкретного матеріалу добрати умови процесу, що забезпечують добру змочуваність твердого металу припоєм та, бажано, запобігають утворенню дифузного шару інтерметалевих з'єднань.

У залежності від джерела нагрівання паяння можна здійснювати: паяльником, газовим полум'ям, індукційним нагрівом, лазером, у печах, у нагрітих штампах, інфрачервоними променями, зануренням в розплавлену сіль та іншими способами.

Припої. У якості з'єднуваного матеріалу в процесі паяння застосовують розплавлений присадковий метал – припій. Припій – це метал або сплав, який вводиться між деталями, що з'єднуються і має нижчу температуру плавлення, ніж деталі, які спаюються.

Основні вимоги до припоїв:

- температура плавлення припою повинна бути нижчою від температури плавлення матеріалів, які спаюються;
- необхідно, щоб розплавлений припій добре змочував матеріал, що спаюється і легко розтікався його поверхнею;
- достатньо висока міцність, пластичність та герметичність;

- у парі зі спаюваними матеріалами повинен створювати корозійно стійкі пари;
- коефіцієнт термічного розширення припою та спаюваного матеріалу не повинні різко відрізнятися;
- для спаювання радіоелектронних та струмопровідних виробів повинен мати високу електропровідність.

За температурою розплавлення припої поділяються на: *особливо легкоплавкі* (до 145 °С), *легкоплавкі* (від 145 °С до 450 °С), *середньоплавкі* (від 450 °С до 1100 °С), *високоплавкі* (від 1100 °С до 1850 °С) та *тугоплавкі* (більше 1850 °С).

Найбільш поширені м'які припої — це олов'яно-свинцеві сплави ПОС90, ПОС61, ПОС40, ПОС30 та ПОС18, які містять відповідно в середньому 90, 61, 40, 30 та 18% олова, близько 2–2,5% сурьми, решта — свинець. Найбільш легкоплавкий з них ПОС61 ($T_{пл}=183$ °С), який має евтектоїдний склад. Його використовують, відповідно, коли недопустиме високе нагрівання. При занижених вимогах до міцності застосовують припій ПОС18.

Середньоплавкі та високоплавкі припої містять мідь, цинк, нікель, срібло, золото, платину. Досить часто використовується для паяння чиста мідь ($T_{пл}=1083$ °С) та її сплави. Найпоширеніші мідно-цинкові припої ПМЦ48 та ПМЦ54, які містять відповідно 48 та 54% міді, решта — цинк. Їх використовують лише для паяння деталей, які піддаються статичним навантаженням. Якщо ж деталь піддається ударним навантаженням, то використовують чисту мідь або припої з її концентрацією не менше 65%. Для паяння особливо відповідальних з'єднань використовують срібні припої, які маркуються ПСр10, ПСр25, ПСр45 та ПСр70. Цифри вказують на середній процентний вміст срібла, отже вони відповідно містять 53, 40, 30 та 26% міді, решта — цинк.

Флюси. Паяльний флюс — це хімічно-активна речовина, призначена для очищення поверхні спаюваного металу від мікроскопічних частинок іржі з метою зниження поверхневого натягу та покращення розтікання рідкого припою.

Основні вимоги до флюсів:

- хімічно не взаємодіяти з припоєм;
- якісно очищати поверхню основного металу та припою від присутніх на них окислів і захищати місця з'єднання від дії на нього навколишнього середовища під час паяння;

- температура плавлення флюсу повинна бути нижче температури плавлення припою;
- у розплавленому та газоподібному стані допомагати змочуванню поверхні основного металу розплавленим припоєм;
- не викликати корозії паяного з'єднання і не виділяти при нагріві отруйних газів.

Найбільшого застосування як флюси набули: бура ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$), борна кислота (H_2BO_3), хлористий цинк (ZnCl_2), хлористий амоній (NH_4Cl), фтористий калій (KF) та каніфоль.

Флюси для м'якого паяння поділяють на хімічно активні та малоактивні, або безкислотні. До хімічно активних відносять ZnCl_2 та NH_4Cl , які при нагріванні в зоні паяння активно взаємодіють з окислами основного металу, частково відновлюючи їх та переводячи в легколетючі хлориди. До малоактивних відноситься каніфоль, яка використовується у твердому вигляді та у вигляді розчину в етиловому спирті.

При паянні твердими припоями використовують флюси із бури з доданням 10–20% фтористого калію або хлористого цинку. У флюси, призначені для паяння чавуну, вводять різні сильні окислювачі для випалювання графіту.

Залишки кислотних флюсів для запобігання корозії паяного шва обов'язково видаляють промиванням виробів гарячою проточною водою.

Технологічний процес паяння. Поверхні, що спаюються, готуються до лудіння та паяння шляхом обробки напилком або шабером так, щоб проміжок між двома поверхнями був скрізь однаковий і не перевищував 0,1–0,3 мм. Такий невеликий проміжок необхідний для утворення капілярних сил, які сприяють засмоктуванню припою на значну глибину. Якщо поверхні, що спаюються, мають сліди жиру або мастила, то їх обробляють гарячим розчином лугу. Можна застосовувати 10 %-ий розчин соди. Якщо механічно очистити деталі з якої-небудь причини не можна, то застосовують кислотні травники. Зазвичай, беруть 10 %-ий розчин сірчаної кислоти для міді та її сплавів, а для деталей з чорних металів – 10 %-ий розчин соляної кислоти (бажано, щоб розчин був підігрітим до 50–70 °C). Після очищення та підготовки місця спаювання повинні лудитись.

Лудіння – процес покриття металевих поверхонь оловом (полуда) або тим же припоєм, який буде застосовуватись для подальшого паяння. Невеликі предмети лудять паяльником. Лудіння великих предметів – баків та інших ємкостей – проводять методом натирання. Для цього виріб змочують розчином

хлористого цинку і нагрівають від будь-якого джерела тепла до температури плавлення олова, після чого посипають порошкоподібною сумішшю олова з хлористим амонієм (нашатирем). Олово при цьому плавиться і утворює на поверхні рівний шар полуди. Після лудіння залишки флюсу відмивають гарячою водою.

Попереднє лудіння має досить важливе значення, оскільки в цьому випадку досягаються підвищена міцність і щільність спаю. У разі неможливості попереднього лудіння, паяння ведуть без нього, але результати, звичайно, будуть гіршими.

Перед паянням деталі скріплюють, щоб місця з'єднань не розходилися навіть при невеликих механічних діях, наприклад при прикладанні паяльника. Найпростіший спосіб кріплення – обв'язування м'яким дротом, стиснення струбцинами, загин шва з утворенням «замку» тощо. Якість паяних з'єднань залежить не лише від правильного вибору припою та флюсу, але значною мірою ще й від правильного вибору типу з'єднань, методу кріплення елементів перед паянням, кількості припою та методу введення його в шов.

Паяні з'єднання поділяються на дві основні групи: стикове та накладне; всі інші різновиди з'єднань являються комбінаціями цих двох.

З'єднання стикове використовують, зазвичай, у тих випадках, коли деталь працює не в жорстких умовах та не потрібно забезпечувати герметичність з'єднання; в інших випадках – застосовують з'єднання накладне, при цьому чим більша площа перекриття, тим вищою буде міцність такогошову.

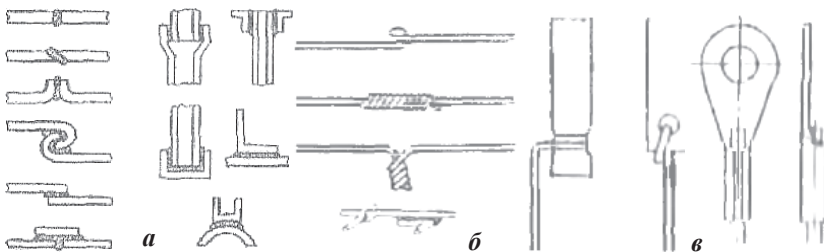


Рис. 1. Основні способи кріплення для паяння тонколистових (а) деталей, дроту (б) та з'єднання дроту з шинами, стержнями, клемами (в)

Підготовку паяльника для роботи проводять одночасно з підготовкою деталей. Для видалення нагарів і оксидів затискують в лещата і злегка обпилюють його робочі поверхні напилком. Після механічної підготовки паяльник лудять, для чого нагрівають його не вище 400 °С; кінець паяльника

опускають у водний розчин хлористого цинку, після чого кінець паяльника труть об шматок припою до тих пір, поки вся робоча частина не покриється шаром полуди. При роботі паяльник повинен мати температуру, що задовольняє наступній вимозі: якщо паяльник прикласти робочим місцем до прутка припою, то останній повинен розплавитися через 0,5-1 с. Під час роботи температура паяльника повинна бути такою, щоб полуда або краплі припою, що пристали до паяльника, були в рідкому стані.

Якщо нагрітим та луженим паяльником торкнутися шва і одночасно до шва прикласти шматок припою, то припій розплавиться і проникне у шов. Його кристалізація приведе до утворення паяного шва.

Дефекти паяння. Існує три основних групи дефектів, які виникають при виготовленні паяних з'єднань:

- дефекти заготовок і недоброякісна збірка (нерівномірність зазору між з'єднуваними поверхнями та зміщення елементів паяного виробу);
- дефекти паяних швів (непропай, тріщини, пори, раковини, шлаковіта флюсові включення);
- дефекти готового паяного виробу (деформації та короблення, викликані нерівномірним нагрівом і охолодженням).

ХІД РОБОТИ

1. Підготувати запропоновані викладачем зразки до паяння: відшліфувати та підігнати поверхні зразків з метою отримання якнайменшої ширини зазору паяного шову. Застосувати при цьому абразивний папір, напилік.

2. Вибрати припій та флюс для даних зразків, керуючись фізико-механічними вимогами до даного типу паяних з'єднань.

Увага! Усі роботи з лудіння та паяння проводити лише у витяжній шафі!

3. Підготувати паяльник до роботи. Механічно очистити його та увімкнути в розетку, залудити його, залудити поверхні паяних з'єднань.

4. Дотримуючись правил паяння та техніки безпеки спаяти зразки декількома типами паяних з'єднань за вказівкою викладача.

5. Оцінити за допомогою візуального контролю (з допомогою лупи) отримане з'єднання.

6. У звіті роботи вказати які види з'єднань Ви використали та які результати одержали. Які дефекти виявлено?

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що розуміють під процесом паяння?
2. Що таке припій? Які вимоги та види припоїв ви знаєте?
3. Як класифікуються припої?
4. Як маркуються м'які припої?
5. Як маркуються припої для високотемпературного паяння?
6. Що таке паяльний флюс, які вимоги ставляться до нього?
7. Які є види флюсів?
8. У чому переваги та недоліки різних флюсів?
9. Назвіть основні види з'єднань та приклади їх застосування?
10. Назвіть існуючі види дефектів паяння, причину їх утворення та методи усунення?

МАКРО- ТА МІКРОАНАЛІЗ МІДНИХ СПЛАВІВ

Мета роботи: навчитись проводити макро- та мікроаналіз сплавів кольорових металів; вивчити методику виготовлення темплетів, методи виявлення макробудови та мікроструктури конструкційних матеріалів.

Прилади та матеріали: зразки металів мідних сплавів, шліфувальний папір, витяжна шафа, фарфорові, або кварцові ванни; мікроскопи МБС та LCD-Micro, щипці; фільтрувальний папір; реактиви – 50%-ий водний розчин азотної кислоти, 80%-ий водний розчин азотної кислоти.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Макроструктура – це структура, будова металу, видима неозброєним оком або при невеликому збільшенні (до 30 крат) за допомогою лупи чи мікроскопа.

Можливості макроструктурного аналізу дуже великі, хоча він досить простий у виконанні та не потребує складного обладнання. Макроаналіз дає можливість виявити й визначити дефекти, які виникають на різних етапах виробництва заготовок та виробів.

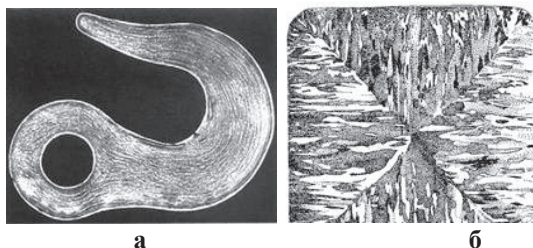


Рис. 1. Волокниста макроструктура кованої деталі (а) та дендритна будова металу (б)

При контролі й дослідженні зразків макроаналізом можна виявити дефекти, які виникають у результаті розливання та кристалізації металу. З допомогою цього методу можна виявити також дендритну будову й особливості кристалізації, місцезнаходження, форму й розмір осадкових раковин, тріщин, неметалевих вкраплень, пористість, інші дефекти. При дослідженні катаного та кованого металу макроаналіз дозволяє оцінити ступінь і напрямок волокнистості структури (рис. 1). Досліджуючи метал після

термічної або хіміко-термічної обробки з допомогою макроаналізу можна орієнтовно оцінити товщину поверхневого шару (загартованого, цементованого та ін.), структура якого відрізняється від структури основного металу, виявити тріщини тощо.

Мікроскопічний аналіз (мікроаналіз) металів і сплавів полягає у дослідженні будови (мікроструктури) металу за допомогою оптичних або електронних мікроскопів при збільшеннях $> 50\times$. Мікроаналіз дозволяє визначити форму і розміри окремих зерен і фаз, а також вміст, відносне розташування, виявити наявність у металі включень, мікрodefектів тощо. Від цих факторів залежать фізико-механічні властивості сплавів.

Для виявлення мікроструктури використовують спеціально підібрані кислоти й луги різної концентрації, розчини різних солей та їх суміші, нагрівання до різної температури на повітрі, або в спеціальному середовищі газів і парів тощо. На поверхні шліфа відбувається розчинення одних фаз, окислення і зафарбовування інших. Унаслідок – на шліфі під мікроскопом можна побачити обриси зерен і різні фази, визначити їхнє взаємне розташування; за кольором, формою та розмірами – визначити присутні в сплаві фази, тобто виявити мікроструктуру сплаву.

Виявлення макроструктури. Сплави міді залежно від складу мають зерна твердих розчинів з різним кристалографічним орієнтуванням. Тому, якщо шліф піддати дії хімічно активного середовища (розчинів кислот, солей, лугів і т. д.), то ступінь травлення окремих зерен виявиться різним. Світловий потік відбивається по-різному від різних зерен; на ділянках стиків зерен виникає значне розсіяння, і відбиті промені не потрапляють в поле зору, тому вздовж меж зерен виникають темні лінії, які і відтворюють картину дійсних стиків між зернами. Цей ефект значною мірою зростає також і тому, що в межах зерен зосереджуються домішки, які витравлюючись, утворюють ямки травлення різної форми.

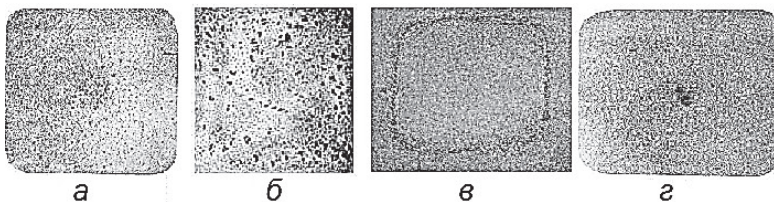


Рис. 2. Макродефекти мідних сплавів

Основні макродефекти мідних сплавів – це ліквації – неоднорідності металу за хімічним складом, структурою та неметалевими вкраплинами. Розрізняють чотири види ліквацій – крапкова, плямиста, лікваційний квадрат або коло, підусадкова ліквація:

а) крапкова ліквація (рис. 2, а) виділяється у вигляді дрібних, округлих сильно протравлених заглиблень, що розміщені на усьому перерізу, крім крайової зони;

б) плямиста ліквація – виявляється у вигляді окремих темних плям різних розмірів та форми (рис. 2, б) – це неупорядковано розміщені перерізом зразка плями;

в) лікваційний квадрат або коло виявляється у вигляді вузької полоси, яка травиться сильніше іншого металу (рис. 2, в);

г) підусадкова ліквація виявляється у вигляді темних легко розтравлюваних ділянок у центрі заготовок (рис. 2, г).



Рис. 3. Мікроструктура α латуні (а) та $\alpha+\beta$ -латуні(б)

Виявлення мікроструктури. Мікроструктура кольорових сплавів відрізняється від мікроструктури сталей значно більшим розміром зерна.

Мікроструктура α -латуні має дендритну будову (рис. 3, а). Світлі ділянки – це дендрити, багаті на мідь, які закристалізувались першими із рідкої фази, області темного кольору – це міждендритний простір, збагачений цинком. Однофазні латуні володіють найбільшою пластичністю, добре обробляються тиском як у холодному, так і в гарячому стані, достатньо корозійно стійкі. До α -латуней відносяться сплави Л96, Л90, Л80, Л68.

Двофазні $\alpha+\beta$ -латуні володіють значно нижчою пластичністю, але добре обробляються тиском у гарячому стані. До двофазних латуней відносяться Л62, Л59. їхня мікроструктура показана на рис. 3, б.

Мікроструктура бронз дещо відрізняється від мікроструктури латуней, оскільки бронзи відрізняються за хімічним складом, а отже утворюють різні мікроструктурні складові.

Так, наприклад, у алюмінієвих бронз при концентрації $Al < 10\%$ добре виявляється хоч і двофазна, але досить однорідна структура, що складається твердого розчину евтектоїду, який при травленні окрашується в жовтуватий колір.

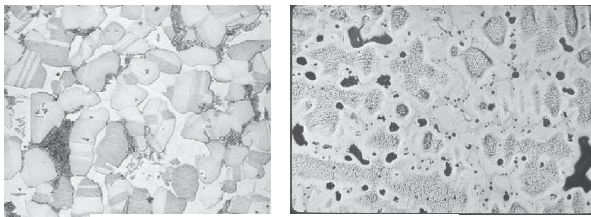


Рис. 4. Мікроструктура алюмінієвих бронз: $Al < 10\%$ (а); $Al > 10\%$ (б)

Якщо $Al > 10\%$, то мікроструктура стає різноманітно двофазною і складається із мікрочастинок α -твердого розчину (темні часточки) та евтектоїда – світлі ділянки.

Техніка хімічного травлення. Виявлення макрота мікроструктури металу при хімічному травленні проводять різними способами: зануренням зразка в травник, втиранням травника в поверхню шліфа й змочуванням поверхні шліфа травником.

Якщо травлення короткочасне (декілька секунд), то шліф беруть пінцетом і занурюють полірованою поверхнею вниз, не торкаючись дна ванночки. Якщо травлення займає більш довгий час або одночасно травлять декілька шліфів, то їх занурюють у ванночку з реактивом полірованою поверхнею вгору. В процесі травлення ванночку злегка погойдують. При цьому поверхня шліфа взаємодіє зі свіжим розчином і з неї видаляються продукти травлення. Товщина шару травника біля поверхні шліфа повинна бути не менше 5 мм.

Тривалість травлення залежить від хімічного складу, концентрації травника та його хімічної активності. Час травлення підбирають експериментально. Якість травлення перевіряють під мікроскопом. Якщо поверхня шліфа, яку видно під мікроскопом світла, немає чіткості контурів структури, то шліф недотравлений, а тому проводять вторинне травлення. Якщо поверхня шліфа, яку видно під мікроскопом, темна, з широкими темними межами структурних складових, то шліф – перетравлений. У цьому разі його переполіровують, щоб зняти поверхневий шар, і ще раз травлять. Якщо при поліруванні протягом 1-2 хв. сліди травлення не видаляються, то поверхневий

шар металу потрібно відшліфувати, а тривалість повторного травлення зменшити.

Після закінчення травлення, щоб запобігти окисленню шліфа, його спочатку промивають проточною водою, а потім протирають спиртом і висушують струменем теплого повітря, або прикладанням фільтрувального паперу. Склад деяких травників і їх використання наведено в таблиці.

Таблиця 1.

Травники для виявлення макро та мікроструктури мідних сплавів

Склад травника	Застосування і спосіб травлення
Для виявлення макроструктури	
1. Азотна кислота HNO_3 – 80 cm^3 ; дистильована вода – 20 cm^3 .	Для травлення всіх мідних сплавів які пройшли різну обробку, Час травлення – від 1 до 10 хв.
2. 5 г FeCl_3 +30 мл HCl +100 мл H_2O	Для глибокого травлення шліфованих зразків латуні.
Для виявлення мікроструктури	
1. Азотна кислота HNO_3 – 40 cm^3 ; дистильована вода – 60 cm^3 .	Для виявлення різних структурних складових міді та мідних сплавів.
2. 0,8 г FeCl_3 +1 мл HCl +100 мл H_2O	Для виявлення різних структурних складових латуней та для хімічного полірування мідних сплавів.

ХІД РОБОТИ

1. Одержати два зразки для макро- та мікроаналізу. Підготувати зразки до досліджень, для цього: відшліфувати дрібним наждачним папером, потім – гумкою та відполірувати. Обидва зразки протерти ватою, змоченою в спирті.

2. Вивчити структуру зразків у нетравленому вигляді.

3. Провести травлення досліджуваних шліфів. Дослідити зразки під мікроскопами МБС та LCD-Місго з різним збільшенням. Порівняти їх зі структурами, поданими на рисунках.

4. У звіт про роботу замальовати або зафотографувати вигляд досліджуваних зразків. Під кожною замальованою структурою вказати збільшення. На кожному з рисунків стрілками показати різні виявлені фази та біля стрілок на полях дати їхні назви.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що таке мікроструктура металу?
2. Чому мікроструктуру металів виявляють лише після хімічного травлення зразків?
3. Що таке макроструктура металів та сплавів?
4. Чим відрізняється макроструктура від мікроструктури?
5. Що таке ліквації?
6. Які види ліквацій виявляються в металах та сплавах?
7. Які мікроструктурні складові характерні для латуней?
8. Які мікроструктурні складові характерні для бронз?
9. Чим бронзи відрізняються від латуней?
10. Чим властивості бронз відрізняються від властивостей латуней?

ЕЛЕКТРОХІМІЧНІ СПОСОБИ НАНЕСЕННЯ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ

Мета роботи: вивчити основні методи нанесення та властивості захисних покриттів.

Прилади та матеріали: зразки сталі, установка для електрохімічного міднення, електроліт, шліфувальний папір, штангенциркуль, мікроскоп МБС, аналітичні терези, 10% водний розчин H_2SO_4 .

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Корозія – це процес самочинного руйнування металів внаслідок їх фізико-хімічної взаємодії з навколишнім середовищем, яка призводить до зміни властивостей металів. Корозія сталі та інших сплавів на основі заліза привертає особливу увагу. Корозія залізвуглецевих сплавів у вологій атмосфері полягає в утворенні спочатку первинного продукту корозії – гідрату закису заліза $\text{Fe}(\text{OH})_2$, який при доступі до нього кисню повітря може перейти в гідрат оксиду заліза $\text{Fe}(\text{OH})_3$, який мало розчиняється у воді і покриває поверхню металу рихлим осадом, що не захищає метал від подальшого руйнування. В результаті безперервної подачі кисню залізо може кородувати до повного руйнування. Відомо, що швидкість руйнування сталей від атмосферної корозії складає 0,1–0,4 мм/рік.

Для захисту від атмосферної корозії застосовують метали і сплави достатньо стійкі в промислових експлуатаційних умовах. Існує два типи металевих покриттів-інгібіторів – протекторні (покриття цинком, алюмінієм і кадмієм) і корозійностійкі (покриття сріблом, міддю, нікелем, хромом і свинцем). Інгібітори наносяться хімічним або електрохімічним способом: перша група металів має велику електронегативність по відношенню до заліза, друга – велику електропозитивність.

Електрохімічні та хімічні методи нанесення захисних і захиснодекоративних покриттів широко застосовуються у машино-, судно-, приладо-будівельній та інших промисловостях. Для сталі та чавуну як захисні покриття використовуються цинкові, кадмієві, мідні, нікелеві покриття, фосфатні та оксидні плівки; для алюмінію та його сплавів – анодно-оксидні покриття. Захисно-декоративними покриттями для чавуну та сталі є багат шарові покриття мідь-нікель-хром, а для алюмінію – анодно-оксидні

плівки з додатковою обробкою.

Електрохімічне міднення. Мідь є електропозитивним металом, тобто його потенціал більший потенціалу чорних металів. Тому в парі з ними мідь виступає катодом. Мідні покриття застосовують як технологічний прошарок для зменшення пористості та підвищення зчеплення інших покриттів, а інколи і як самостійне покриття. Мідне покриття має високу електро- і теплопровідність, пластичність, витримує глибоку витяжку, розвальцювання, добре полірується, полегшує приборку, притирання, в свіжоосадженому стані добре пається.

Швидкість руйнування мідної плівки для більшості корозійних середовищ складає 6,0-20,0 мкм/рік. Підвищеною корозійною стійкістю володіють блискучі мідні покриття, що досягається нікелюванням або хромуванням у додаткових розчинах або способом освітлення в розчині азотної кислоти. Мідь із простих кислих електролітів, наприклад електроліту сірчаної кислоти (CuSO₄), виділяється електролізом на катоді за схемою: $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e} \rightarrow \text{Cu}$. Додатки органічних речовин (декстрин, гуміарабік та інш.) підвищують катодну поляризацію й створюють більш дрібнодисперсну структуру покриття. Суттєву роль у сірчано-кислих електролітах відіграє кислотність, оптимальне значення якої pH=4-4,5. При збільшенні кислотності зменшується катодний вихід металу внаслідок інтенсивного виділення водню, а за рахунок корозії анодів струм зростає. При зменшенні кислотності, можливе утворення гідроксидів металів та погіршення якості покриття.

Кислі електроліти є найбільш простими та дешевими. Вони стійкі за складом, не отруйні. Однак вони мають і деякі недоліки. Наприклад, вони не допускають використання достатньо високих густин струму, а отже, при цьому швидкість нарощування захисного шару не висока.

Для одержання світлих поверхонь у такий електроліт вводять столярний клей, тіосечовину, мездровий клей та ін. При введенні блискоутворювальних добавок утворюються покриття з високими декоративними якостями.

ХІД РОБОТИ

1. Підготуйте сталевий зразок довільної форми для електрохімічного міднення у такій послідовності: механічно видаліть з поверхні зразка окисли та відполіруйте його.

Визначте масу зразка, його розміри, обчисліть площу поверхні.

2. Знежирте зразок протягом 2–3 хв. у водному 10% розчині H₂SO₄,

промийте 1 хв. у проточній воді, висушіть (теплим повітрям).

3. Закріпіть зразок в електролізері, як катод, увімкніть блок живлення, відрегулюйте силу струму в колі завказівкою викладача, зафіксуйте відлік часу. Час міднення – не менше 20 хв.

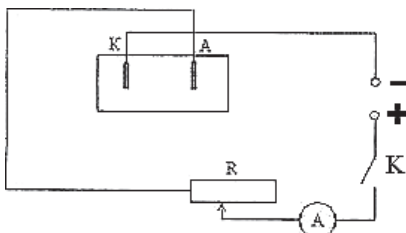


Рис. 1. Принципова схема установки для электрохимического міднення

Вимкніть електричний струм, вийміть зразок з електролізера, промийте його 2-3 хв. у проточній воді, висушіть теплим повітрям. Визначте нову масу зразка з нанесеним шаром міді.

4. Обчисліть масу утвореної плівки та її товщину за формулою:

$$h = \frac{\Delta m}{\rho \cdot S}, \text{ де } \Delta m = m - m_0;$$

m_0 – початкова маса у г, t –

кінцева маса у г, S

– площа поверхні плівки у мм^2 , ρ – густина міді, $\rho = 8,94 \cdot 10^{-3} \text{ г/мм}^3$.

5. Досконалість нанесеного мідного покриття вивчіть з допомогою мікроскопа та опишіть.

6. Усі дані занесіть до таблиці.

Площа поверхні, мідного покриття $S, \text{ мм}^2$	Початкова маса зразка, $m_0, \text{ г}$	Сила струму, A	Час міднення, $t, \text{ с}$	Маса зразка після міднення, $m, \text{ г}$	Маса утвореної плівки, $\Delta m, \text{ г}$	Товщина покриття, $h, \text{ мм}$	Товщина покриття, $h, \text{ мкм}$

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що таке корозія? атмосферна корозія?
2. Які продукти атмосферної корозії залізовуглецевих сплавів?
3. Як вологість повітря та температура впливають на швидкість атмосферної корозії металів?
4. Який механізм захисту чорних металів тонкими плівками кольорових металів, які виступають анодом?
5. У чому суть катодного захисту чорних металів та сплавів?
6. Які найкращі захисно-декоративні покриття для чавуну та сталей?

7. Чому для кислотних електролітів рекомендується контролювати рН на рівні 4–4,5?
8. Які переваги кислих електролітів?
9. Які заходи вживають, щоб захисні плівки були однорідними та блискучими?
10. Порівняйте швидкості корозійного руйнування сталі та міді.

ДОСЛІДЖЕННЯ СТАЛЕЙ НА СТІЙКІСТЬ ДО ГАЗОВОЇ КОРОЗІЇ

Мета роботи: ознайомлення з процесом корозії металів і сплавів, визначення швидкості корозії, вивчення проникнення корозії.

Прилади та матеріали: штангенциркуль, абразивний матеріал, аналітичні терези, муфельна піч, досліджувані зразки.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Корозія – це процес руйнування металів і сплавів унаслідок хімічної або електрохімічної взаємодії їх із зовнішнім середовищем. У результаті корозії вироби втрачають свої властивості майже до повного руйнування металу. За характером взаємодії металу із середовищем розрізняють корозію електрохімічну та хімічну.

Електрохімічна корозія являє собою процес руйнування металу в електролітах, тобто у розчинах, які є провідниками електричного струму. Електролітами можуть бути водні розчини солей, кислот, лугів.

Хімічною корозією називається процес хімічної взаємодії металу з середовищем, яке не є провідником електричного струму (сухі гази й рідкі діелектрики: бензин, мастила, смоли, нафта і т.д.). Одним із агентів зовнішнього середовища, яке викликає корозію металу, є газ, наприклад: кисень, сирнистий газ, вуглекислий газ, сірчано-водневий газ та інші. Метал, який контактує з газами, вступає з ними в хімічну взаємодію, в результаті якої на його поверхні утворюється плівка окислів у вигляді FeO , FeS та інші.

Хімічна корозія металів відбувається як при звичайній, так і при високій температурі – газова корозія. З підвищенням температури процес окислення посилюється, плівка окислів стає товстішою. Ступінь окислення металів та сплавів багато в чому залежить від наявності домішок хрому, алюмінію, кремнію. Так, сталь, яка містить в собі 20% Cr, не піддається корозії навіть при температурі 890–1000 °C (окалиностійка сталь). Це пояснюється тим, що хром, алюміній і кремній утворюють міцні захисні плівки Cr_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 на поверхні металу. Тому хром, алюміній і кремній, як легувальні елементи сталі, можна вважати корозійно стійкими елементами.

За геометричним характером руйнувань розрізняють корозію рівномірну, місцеву, міжкристалітну.

- При рівномірній корозії метал руйнується з однаковою інтенсивністю на всій поверхні. Цей вид корозії найчастіше спостерігається в чистих металах і однорідних твердих розчинах.
- При місцевій корозії руйнування металу концентрується на окремих ділянках деталі, поширюючись углиб металу. Чим нерівномірніша корозія, тим вона небезпечніша.
- При міжкристалітній корозії руйнування металів виникає на межах зерен. Зовнішня поверхня матеріалу при цьому залишається чистою і помітити міжкристалітну корозію важко.

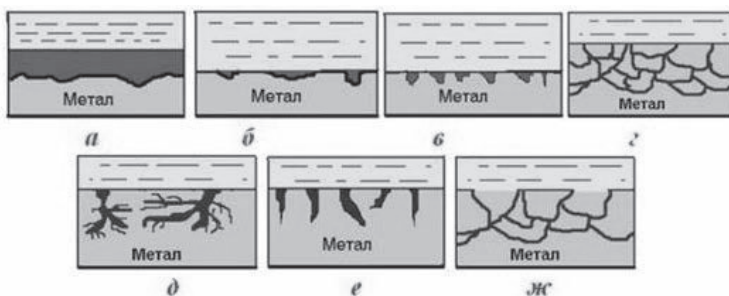


Рис. 1. Види корозії за характером руйнування металу: суцільна (а), місцева плямиста (б), місцева виразкова (в), між кристалітна (г), розтріскувальна (д), пітинг-корозія (е), суцільна селективна (ж)

Існують якісні та кількісні методи оцінки корозії.

Якісна характеристика передбачає випробування на згин, наприклад при міжкристалітній корозії виникають дрібні тріщини та можливе ламке руйнування в зоні розтягу; металографічне випробування, яке дозволяє знайти початкове виникнення мікротріщин.

До кількісних методів оцінки корозії належить об'ємний та ваговий методи.

Об'ємний метод визначення швидкості корозії полягає у вимірюванні об'єму газів, які виділилися або поглинулися. Наприклад, з допомогою водневого корозиометра за об'ємом водню, який виділився, можна розрахувати кількість металу, котрий перейшов у розчин. Цей метод досліджень використовують для електрохімічної корозії.

Найбільш універсальним методом, який можна використовувати як для електрохімічної, така і для хімічної корозії є *ваговий метод* – у його основі – визначення різниці мас зразка металу до і після корозійних випробувань.

Мірою корозійної стійкості при рівномірній корозії є кількість металу, яка перейшла в окисел й визначається або за втратою (прибавкою) маси зразка, віднесеної до одиниці площі поверхні (1 м², 1 см², 1 мм²) й до одиниці часу (час, доба, година), або за глибиною роз'їдання (мм/год, мм/добу, мм/рік). Збільшення маси зразків внаслідок корозії можливе коли густина окислів більша, ніж густина металу.

Ваговий показник, або, так звана, *швидкість корозії* обчислюється за формулою:

$$k = \frac{|m_1 - m_2|}{S \cdot t}, \quad (1)$$

де k – ваговий показник, у г/(мм²·год); m_1 – початкова маса, у г; m_2 – кінцева маса, у г; S – площа поверхні зразка, у мм²; t – час випробовувань, у год.

За швидкістю корозії знаходять також величину *проникнення*, так званий, *глибинний показник* корозії:

$$П = k \frac{\tau}{\rho} \cdot 10^{-3}, \quad (2)$$

де $П$ – глибинний показник корозії, у мм/рік; k – швидкість корозії, визначена за формулою (1), у г/(мм²·год), τ – кількість годин у році, год, ρ – густина металу, у г/мм³ (для сталі вважати $\rho = 8,7 \cdot 10^{-3}$ г/мм³).

Для оцінки корозійної стійкості металу за глибинним показником використовується десятибальна шкала (таблиця 1).

Таблиця 1

Оцінка корозійної стійкості за глибинним показником корозії

Група стійкості	Глибина проникнення корозії, мм у р.	Бал	Група стійкості	Глибина проникнення корозії, мм/р.	Бал
Цілком стійкі	$П < 0,0001$	1	Занижено стійкі	$0,1 < П < 0,5$ $0,5 < П < 1,0$	6 7
Дуже стійкі	$0,0001 < П < 0,005$	2	Малостійкі	$1,0 < П < 5,0$ $5,0 < П < 10,0$	8 9
Стійкі	$0,005 < П < 0,001$ $0,001 < П < 0,05$ $0,05 < П < 0,1$	3 4 5	Нестійкі	$П > 10,0$	10

ХІД РОБОТИ

1. Підготуйте одержані зразки до досліджень. Для цього слід видалити з поверхні рештки корозії та відшліфувати. Виміряйте розміри зразків, обчисліть площу їх поверхні.

2. Помістіть зразки у чисті фарфорові або кварцові чашки (окремо кожен) та знайдіть їхню масу (разом з чашками). Дані занесіть до таблиці 2.

3. Помістіть зразки у муфельну піч, попередньо нагріту до 800–900 °С та зафіксуйте час. Витримайте при цій температурі 30–45 хв. Доцільно для більш інтенсивного окиснення через кожні 10–15 хв. відчиняти дверцята печі для ефективнішого надходження повітря.

4. Після закінчення відпалу, зразки разом з посудиною обережно(щоб не висипалась окалина) витягнути з печі, охолодити й зважити на аналітичних терезах.

5. Визначте зміну маси. Обчисліть ваговий показник корозії за формулою (1) та швидкість корозії за формулою (2). Отримані результати занесіть до таблиці.

6. Зробіть висновки щодо корозійної стійкості досліджуваної сталі.

Таблиця 2

Результати досліджень

№ зразка	Площа зразка, $S, \text{мм}^2$	Маса зразка		Час витримки, t , год	Швидкість корозії, k , $\text{г}/(\text{мм}^2 \cdot \text{год})$	Проникнення корозії, Π , $\text{мм}/\text{рік}$.	Група стійкості та бал
		1, Г	2, Г				

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Яка корозія більш інтенсивна: у воді, чи на поверхні води?
2. Чим відрізняється хімічна корозія від електрохімічної?
3. Як називається хімічна корозія, яка відбувається при високій температурі?
4. Які особливості рівномірної корозії?
5. Які види руйнувань характерні для місцевої корозії?
6. Які види руйнувань характерні для міжкристалітної корозії?

7. Що розуміють під глибинним показником корозії?
8. Чому хром, алюміній і кремній можна вважати корозійно стійкими елементами?
9. Що може бути електролітом при електролітичній корозії?
10. Що розуміють під швидкістю корозії?

МІКРОСКОПІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ

Мета роботи: навчитися самостійно проводити мікроаналіз та вивчити мікроструктуру литих і деформівних алюмінієвих сплавів.

Прилади та матеріали: металографічні мікроскопи, зразки алюмінієвих сплавів, реагенти.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Серед металів алюміній за поширеністю в природі займає перше місце, за практичним використанням – друге (після заліза). Алюміній – хімічний елемент, що знаходиться в третій групі Періодичної системи елементів. Атомний номер алюмінію 13, атомна маса 26,98, температура плавлення 660°C , щільність $2,7\text{ г/см}^3$, поліморфних перетворень не має, володіє кристалічною ґраткою гранецентрованого куба з періодом $a = 0,4041\text{ нм}$.

Алюміній відрізняється від інших металів малою щільністю, високими пластичними і корозійностійкими властивостями, високими тепло- і електропровідністю, а також відбивною здатністю. Завдяки таким властивостям алюміній знаходить застосування майже у всіх галузях промисловості – авіаційній, будівельній, хімічній і т.д.

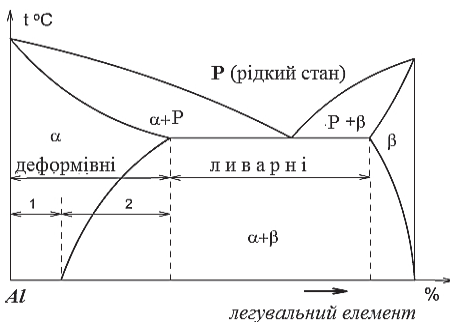


Рис. 1.

Залежно від вмісту домішок алюміній поділяють на сорти: технічний, високої чистоти і особливої чистоти. Позначення марок алюмінію первинного наведені в таблиці 1. Постійні домішки алюмінію – Fe, Si, Cu, Zn, Ti, вони погіршують всі його властивості. Збільшення вмісту домішок і пластична деформація підвищують міцність і твердість алюмінію.

Алюміній характеризується високими технологічними властивостями. З нього можуть бути виготовлені напівфабрикати різних габаритів. Завдяки високій пластичності напівфабрикати з алюмінію легко можна піддавати деформації без нагріву. Зварювання може здійснюватися практично всіма

методами, включаючи зварювання плавленням. Оброблюваність різанням внаслідок високої в'язкості у алюмінію погана.

Він використовується в електротехнічній промисловості і теплообмінниках. Алюміній практично не взаємодіє з азотною кислотою, органічними кислотами і харчовими продуктами. З нього виготовляється тара для транспортування харчових продуктів, домашнє начиння. Фольга з алюмінію широко застосовується як пакувальний матеріал. Значно зросло застосування алюмінію в будівництві та на транспорті.

Таблиця 1

Позначення марок		Хімічний склад, %	
		Алюмінію, не менше	Домішок, не більше
А 999	особливо їчистоти	99,999	0,001
А 995	високої чистоти	99,995	0,005
А 99		99,99	0,010
А 95		99,95	0,05
А 85	технічної чистоти	99,85	0,15
А 8		99,8	0,20
А 7		99,7	0,30
А 5		99,5	0,50
А 0		99,0	1,00

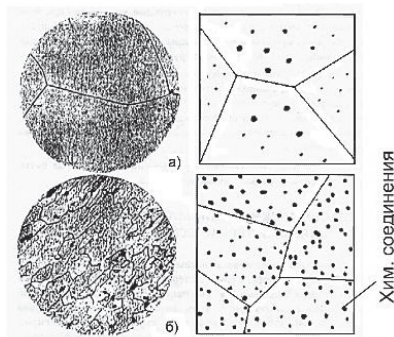
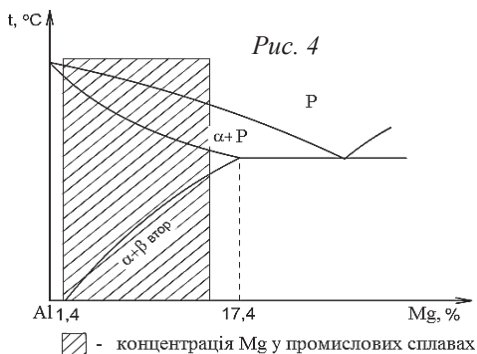
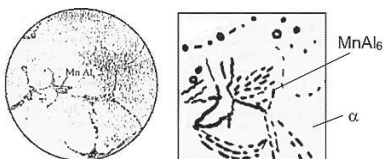
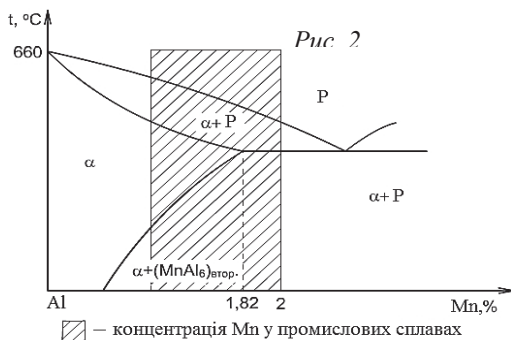
Класифікація алюмінієвих сплавів. Залежно від способу виробництва промислові алюмінієві сплави поділяться на спечені, ливарні та деформівні. Загальний вигляд діаграми стану Al–легувальний елемент показано на рис. 1. Як бачимо, ливарні сплави зазнають евтектичного перетворення, а деформівніні. Ливарні – погано деформуються. Останні в свою чергу бувають термічно незміцнювальні (сплави в яких немає фазових перетворень у твердому стані) і деформівні, що термічно зміцнюються (гартуванням і старінням).

Алюмінієві сплави зазвичай легують Cu, Mg, Si, Mn, Zn, рідше Li, Ni, Ti.

Деформівні алюмінієві сплави, незміцнювані термічною обробкою.

До цієї групи сплавів відносяться технічний алюміній і термічно незміцнювальні зварювальні корозійностійкі сплави (сплави алюмінію з марганцем і магнієм).

Сплави системи Al – Mn (АМц). Структура сплаву АМц складається з твердого розчину марганцю в алюмінії і вторинних виділень фази $MnAl_6$



(рис. 2.). За присутності заліза замість $MnAl_6$ утворюється складна фаза $(MnFe) \cdot Al_6$, практично нерозчинна в алюмінії, тому сплав АМц і не зміцнюється термічною обробкою. Мікроструктура таких сплавів показана на рис. 3. Склад даних сплавів має дуже вузькі межі: 1–1,7% Mn; 0,05 – 0,20% Cu; мідь додають з метою зменшення пітингової корозії.

У таких сплавах допускається до 0,6–0,7% Fe і 0,6–0,7% Si, що призводить до деякого зміцнення сплавів без істотної втрати опору корозії.

При зниженні температури міцність швидко зростає. Тому сплави цієї групи знайшли широке застосування в кріогенній техніці.

Сплави Al–Mg (магналії, АМг). Магній утворює з алюмінієм α-твердий розчин (рис. 4) і в області концентрацій від 1,4 до 17,4% Mg відбувається виділення вторинної β-фази ($MgAl$), але сплави що містять до 7% Mg, дають

досить незначне зміцнення при термічній обробці, тому їх зміцнюють пластичною деформацією – наклепом.

Сплави систем Al – Mn і Al – Mg використовуються у відпаленому та у наклепаному

станах. У промислових сплавах магній міститься в межах від 0,5 до 12 – 13%, сплави з низьким вмістом магнію мають найкращу здатність до формоутворення, сплави з високим вмістом магнію мають хороші ливарні властивості.

Деформівні алюмінієві сплави, зміцнювані термічною обробкою. До цієї групи сплавів відносяться сплави високої і помірної міцності. Склади деяких деформівних термічно зміцнюючих сплавів наведені в таблиці 2. Типовими деформівними алюмінієвими сплавами є дуралюміни (маркують буквою Д):

– сплави системи Al-Cu-Mg. Дуже спрощено процеси, що проходять при термічній обробці дуралюміна можна пояснити так: при загартуванні, яке полягає в нагріванні сплаву вище лінії змінної розчинності, витримці при цій температурі і швидкому охолодженні, фіксується структура пересиченого α -твердого розчину (світлий фон на рис.5, а) і нерозчинних включень залізнистих і марганцевистих сполук (темні включення). Сплав в свіжозагартованому стані має невелику міцність, твердість HB75. Пересичений твердий розчин нестійкий. Найвища міцність досягається при подальшому старінні загартованого сплаву. Штучне старіння полягає в витримці при температурі 150-180 °С. При цьому з пересиченого α - твердого розчину виділяються зміцнюючі фази CuAl_2 , CuMgAl_2 та ін.

Мікроструктура зістареного сплаву представлена на рис. 5, б. Вона складається з твердого розчину і включень різних вищеперелічених фаз.

Таблиця 2

Склади деяких деформівних термічно зміцнювальних сплавів

Позначення марок	Хімічний склад, %							Назва сплаву
	Cu	Mg	Mn	Zn	Ni	Fe	Si	
Д1	3,8 – 4,8	0,4 – 0,8	0,4 – 0,8	0,3	0,1	0,7	0,7	Дуралюмін
Д16	3,8 – 4,9	1,2 – 1,8	0,3 – 0,9	0,3	0,1	0,5	0,5	Супердуралюмін
АК8	3,9 – 4,8	0,4 – 0,8	0,4 – 1,0	0,3	0,1	0,7	1,0	Ковочний сплав
В95	1,4 – 2,0	1,8 – 2,8	0,2 – 0,6	6,0	Cr=0,1	0,5	0,5	Високоміцний сплав

Ливарні алюмінієві сплави. Чинний нині стандарт на алюмінієві сплави передбачає їх поділ на 5 груп:

I – сплави на основі системи Al – Si – Mg;

II – сплави на основі системи Al – Si – Cu;

III – сплави на основі системи Al – Cu;

IV – сплави на основі системи Al – Mg;

V – сплави на основі системи алюміній – інші компоненти.

У таблиці 3 наведені деякі марки сплавів цієї групи і їх хімічний склад.

Характерним представником алюмінієвих ливарних сплавів є силуміни – це сплави алюмінію з кремнієм, зазвичай 10-13% Si (АК12).

Мікроструктура литих доєвтектичних силумінів складається зі світлих дендритів α -твердого розчину кремнію в алюмінії і подвійної евтектики $\alpha + \text{Si}$ голчастого типу, рис. 6, в (тому розчинність Al в Si при кімнатній температурі складає 0,05%, тому припустимо вважати, що в структурі сплавів при низьких температурах присутній не α -твердий розчин, а кремній).

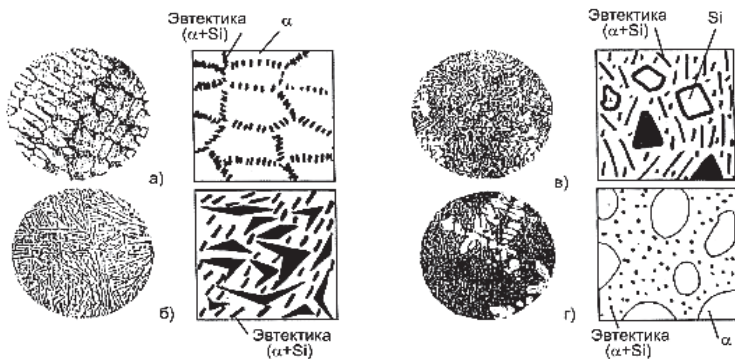


Рис.6.

Мікроструктура сплаву евтектичного складу складається з евтектики $\alpha + \text{Si}$. При звичайному способі лиття ця евтектика має грубу будову (рис. 6, б). Кремній в ній знаходиться у вигляді грубих голок. У силумінах заевтектичного складу первинно кристалізуються багатогранні кристали Si світлосірого кольору (рис. 6, в). Кремній крихкий, тому силуміни мають низькі механічні властивості. Щоб позбутися грубої евтектики і первинних кристалів, сплави модифікують, тобто перед розливанням в розплав вводять невелику кількість натрію, або кальцію чи бору (0,05-0,08% до маси сплаву). В результаті модифікування збільшується концентрація кремнію в евтектиці (з 11,7% до 15%) і сплави переохолоджуються відносно рівноважної евтектичної температури 577 °C. Силуміни заевтектичного складу, які містять 11,7-15% Si, стають доєвтектичними, і в їх структурі замість первинних кристалів кремнію є дендрити пластичного α -твердого розчину (рис. 6, г). Переохолодження призводить до формування у структурі дрібнозернистої евтектики.

Таблиця 3

Деякі ливарні алюмінієві сплави

Гру па сплав	Марка сплаву	Масова доля домішки, %					
		Mg	Si	Mn	Cu	Ti	інші
I	AK12		10 – 13	—	—	—	
	AK8Л		6,5 – 8,5	—	—	—	
II	AK5M	0,5	5,0	—	1,2	—	
	AK8M	0,4	8,0	0,4	1,2	0,2	
III	AM5		—	0,8	5,0	0,3	
	AM4,5Кд		—	0,6	4,8	0,3	Cd=0,2
IV	AMг5к	5,0	1,1	0,3	—	—	—
	AMг10	10	—	—	—	0,1	Be=0,1

Модифікування покращує не тільки механічні властивості силумінів, але і ливарні. Модифіковані силуміни добре зварюються і мають високу корозійну стійкість. Для підвищення міцності подвійні силуміни легують магнієм, міддю і піддають термічній обробці.

За призначенням конструкційні ливарні алюмінієві сплави умовно поділяються на такі групи:

1) сплави, що відрізняються високою герметичністю (AK12, AK8); високоміцні та жароміцні сплави (AM5, AK5M);

2) корозійно-стійкі сплави (AMг10; АЦ4Мг).

Мікроструктурні дослідження. Структурні складові ливарних алюмінієвих сплавів розрізняють під мікроскопом за характерною формою кристалізації, кольором даної складової та зміни її кольору під дією різних хімічних реактивів. Рекомендовані травники (реактиви), їх призначення і режими травлення шліфів наведено в таблицях 4 та 5.

ХІД РОБОТИ

1. Підготувати 2 зразки алюмінієвих сплавів до мікроскопічних досліджень: відполірувати та дослідити якість під мікроскопом.

2. Протравити зразки у різних травниках, добившись якісної мікроскопічної картини.

3. Замалювати чи зафотографувати та описати досліджувані зразки, встановивши ймовірні складові (згідно таблиці 5).

Таблиця 4

Реактиви та режими травлення алюмінієвих сплавів

Реактив	Режим травлення	Призначення
20% водний розчин HNO_3	Занурити шліф на 15-40 с у підігрітий до $+70^\circ\text{C}$, промити проточною водою та просушити	Активний для виявлення фази CuAl_2
20% водний розчин H_2SO_4	Аналогічно попередньому, але час травлення 10–30 с.	Для виявлення складових заліза
10% водний розчин NaOH	Аналогічно, але час травлення 3-6 с.	Для сплавів Al-Cu-Mg-Si

Таблиця 5

Дія травників на основні структурні складові алюмінієвих сплавів

Складові	Колір і форма фаз до травлення, форма кристалізації	Характеристика фаз, їх колір після травлення в		
		20% H_2SO_4 при 70°C , 30 с	20% HNO_3 при 70°C , 40 с	10% NaOH при 70°C , 5 с
Mg_2Si	Темно-сірий, кристалізується у вигляді найтонших пластин або має вигляд павукоподібних розгалужень (в сплавах типу АЛ8, АЛ13)	Діє сильно, одні частини роз'їдаються, інші забарвлюються в синій колір	Забарвлюється від коричневого до чорного кольору	Окреслюється, світло-сірого кольору
CuAl_2	Світло-рожевий, первинні кристали мають компакту форму, вторинні кристали розташовуються у формі еліпсоїдоподібних евтектики $\alpha + \text{CuAl}_2$	Окреслюється, світла, блискуча, частково забарвлюється в рожевий колір	Забарвлюється від коричневого до чорного кольору	Діє нерівномірно, забарвлюється до темно-коричневого кольору
Al_3Mg_2	Окреслюється, не травиться, не фарбується	Діє сильно, точкова корозія, роз'їдається	Діє сильно, забарвлюється в блікотно-водянистий колір	Окреслюється, не травиться, не фарбується

Al_5SiFe	Травиться слабо	Травиться, темніє	Травиться досить слабо	Травиться, окраска змінюється до світло-коричневої
Al_6Mn	Травиться, забарвлюється нерівномірно від коричневого до синюватого кольору	Окреслюється, не травиться, не фарбується	Не окреслюється, не травиться, не фарбується	Забарвлюється від синього до коричневого кольору

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Якими властивостями володіє алюміній? Як маркується алюміній?
2. Які постійні домішки містить алюміній?
3. Як впливають домішки на властивості алюмінію?
4. Як класифікують алюмінієві сплави?
5. Які компоненти зазвичай використовують для легування алюмінієвих сплавів?
6. Яка структура сплаву AlMg ? AlMn ?
7. Наведіть приклади деформівних, термічно незміцнювальних сплавів.
8. Як маркують ливарні алюмінієві сплави? Як маркують деформівні алюмінієві сплави?
9. Що таке модифікування? Чим модифікують силуміни?
10. Які алюмінієві сплави широко використовуються в кріогенній техніці?

ВИВЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЗВАРЮЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗВАРНОГО ШВА

Мета роботи: дослідження макро- та мікроструктури зварного шва і зон термічного впливу, виявлення дефектів мікроструктури зварного з'єднання.

Матеріали та обладнання: мікроскопи МБС та LCD-Micro, шліфувальний папір, спирт, полірувальна паста, вата, 3% азотна кислота на спирту, фільтрувальний папір, зварні зразки.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Види зварних з'єднань і швів. У зварних конструкціях розрізняють стикові, хлистові, кутові та таврові.

Стикові з'єднання (рис. 1) розрізняють за видом попередньої підготовки кромок. Залежно від товщини зварюваного металу виконують різноманітну підготовку кромок. При товщині металу до 3 мм застосовують відбортовку без зазору (рис. 1, а), висота бортика 2-8 мм; при товщині металу 4-8 мм зварювання здійснюють без відбортовки кромок (скосів) при зазорі до 2 мм (рис. 1, б). Метал товщиною 13-15 мм зварюють з односторонньою V-подібною

обробкою кромок (рис. 1, в). При товщині металу більше 15 мм. рекомендується двостороння X-подібна обробка кромок (рис. 1, г). Метал товщиною понад 20 мм зварюють з чашоподібним обробленням країв, яке може бути одностороннім і двостороннім (рис. 1, д, е). З'єднання внахлист (рис. 1, ж) виконують кутовими швами, величина нахлсту дорівнює трьох-п'ятикратній товщині зварюваних елементів.

Кутові з'єднання (рис. 1, з)

здійснюють без скосу і зі скосом кромок. Аналогічно здійснюють таврові з'єднання (рис. 1, і).

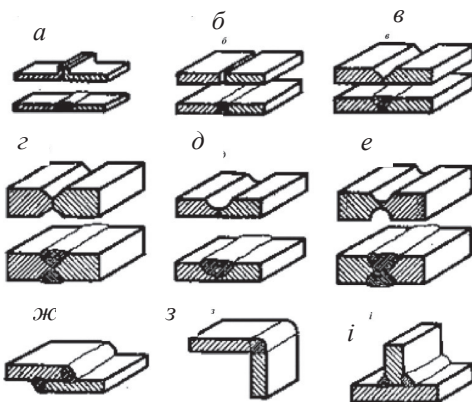


Рис. 1. Види зварних з'єднань

Без скосу кромки зварюють конструкції з малим навантаженням. При виготовленні відповідальних конструкцій з елементами завтовшки 10-20 мм застосовують односторонній скіс, а при товщині більше 20 мм – двосторонній.

За положенням у просторі шви можуть бути нижні та горизонтальні (рис. 2, а, б), вертикальні (рис. 2, в) і стельові (рис. 2, г). Найлегше виконувати нижні шви; їх можна розташовувати на нижній горизонтальній площині в будь-якому напрямку. Вертикальні шви розташовують на вертикальній площині в будь-якому напрямку. Найбільш важкі для виконання стельові шви; вони розташовуються в будь-якому напрямку на верхній горизонтальній площині.

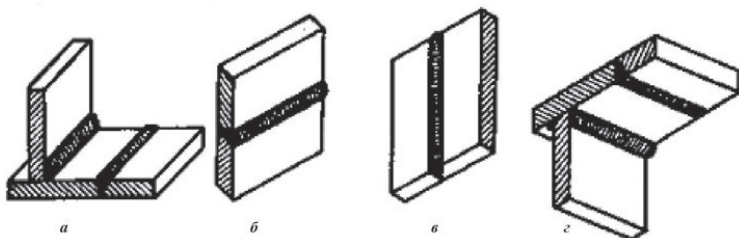


Рис. 2. Типи швів при різному положенні в просторі: а – нижні; б – горизонтальні; в – вертикальні; г – стельові

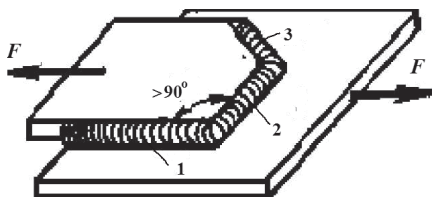


Рис.3. Типи швів залежно від їх положення щодо дії зовнішніх сил: 1 – фланговий; 2 – лобовий; 3 – коси.

Типи швів відносно напрямку діючих на них зусиль (рис. 3) поділяють на флангові 1, лобові 2 і косі 3.

Макроструктура – це структура, будова металу, видима неозброєним оком або при невеликому збільшенні (до $30\times$) за допомогою лупи чи мікроскопа.

Можливості макроструктурного аналізу дуже великі, хоча виконання його досить просте і не потребує складного обладнання. Перевагами макроаналізу є те, що ним можна досліджувати значний об'єм металу – всю

деталь чи її основні частини. Макроаналіз дає можливість виявити й визначити дефекти, які виникають на різних етапах виробництва заготовок та виробів.

Макроаналіз широко використовують для виявлення неоднорідності хімічного складу (ліквації) металу. Такі шкідливі домішки в сталі, як сірка та фосфор, часто розміщуються нерівномірно в об'ємі металу та концентруються в окремих його ділянках. Макроаналіз дає повну картину їхнього розміщення, хоча і не дозволяє провести кількісну оцінку. Дія хімічної обробки дозволяє також якісно визначити й інші макродефекти, які декоруються (фарбуються у різні кольори): так, залишковий аустеніт у сталях набуває жовтуватого кольору, окисли хрому дають зелений колір, сполуки мангану – темно-червоний або коричневий тощо.

Методика дослідження мікроструктури зварного шва.

Мікроструктурний метод дослідження металів і сплавів дозволяє вивчити структуру металів за допомогою мікроскопа на спеціально приготовлених зразках – мікрошліфах.

Видима будова металів, спостережувана під мікроскопом, називається мікроструктурою. За допомогою мікроаналізу можна визначити форму і розмір структурних складових, а також структуру металів після різних видів термообробки, структурні перетворення в зоні термічного впливу зварного з'єднання.

Мікроструктурний метод дослідження включає:

- 1) приготування мікрошліфів – вирізування, шліфування та полірування зразка;
- 2) травлення шліфа – виявлення структури;
- 3) дослідження структури зразка.

Досліджувана поверхня мікрошліфів повинна бути плоскою і дзеркальною. Шліфування проводиться вручну або на механічному верстаті.

У процесі шліфування на поверхні утворюються подряпини, які мають вигляд виступів і впадин. Шліфування проводиться до повного видалення подряпин. Після шліфування зразок промивається водою для видалення частинок абразивного матеріалу, а потім полірується. При поліруванні зразок слід притискати до поверхні тканини рівномірно всією площиною, виконуючи обертально-поступальний рух. Полірування вважається закінченим, якщо вилучені всі подряпини і шліф має дзеркальну поверхню.

Полірований шліф металу в нетравленому вигляді під мікроскопом має вигляд світлої площини. Якщо ж в металі є неметалеві включення, то їх можна бачити без травлення. Для виявлення мікроструктури зварного шва

полірований шліф необхідно піддати травленню 2–4% розчином азотної кислоти у спирті.

Мета травлення полягає в тому, щоб шляхом різної дії на сплав розчином кислоти штучно викликати в ньому неоднакове відбивання світла. Розглядаючи протравлений шліф під мікроскопом, необхідно визначити, чи достатньо виявлена структура зварного шва (зони термічного впливу). Якщо структура виявлена недостатньо, шліф травлять додатково.

Мікроструктура металу при охолодженні після зварювання зазнає такі ж фазові перетворення, як і при термічній обробці. Якщо вміст вуглецю менше 0,22%, то практично в сталі відбуваються перетворення, аналогічні рівноважному стану сталі, і структура – ненапружена, за умови дотримання режиму зварювання.

При дослідженні мікроструктури маловуглецевої сталі в зоні термічного впливу можна виділити наступні ділянки (рис. 4):

- Ділянка I примикає безпосередньо до металу шва, основний метал на цій ділянці в процесі зварювання частково розплавляється і являє собою *суміш твердої і рідкої фаз*.

- На ділянці II сталь сильно перегрівається, внаслідок чого її *зерна збільшуються*. Ця ділянка має значну крихкість і є слабим місцем зварного з'єднання.

- Ділянка III, де спостерігається нормалізація сталі, супроводжується отриманням *дрібнозернистої структури*. Сталь на цій ділянці має підвищені механічні властивості.

- На ділянці IV відбувається неповна перекристалізація сталі, тому поряд з *круглими зернами фериту*, утворюються *дрібні зерна фериту та перліту*.

- На ділянці V структурних змін в сталі *не відбувається*, якщо перед зварюванням вона не піддавалася пластичній деформації. Якщо сталь перед зварюванням піддавалася обробці тиском, то на цій ділянці спостерігається *рекристалізація* (відновлення колишньої форми і розмірів зерен, зруйнованих при пластичній деформації).

- На VI ділянці сталь не зазнає видимих структурних змін, проте, на цій ділянці спостерігається різке зменшення ударної в'язкості – це *зона синьоламкості*.

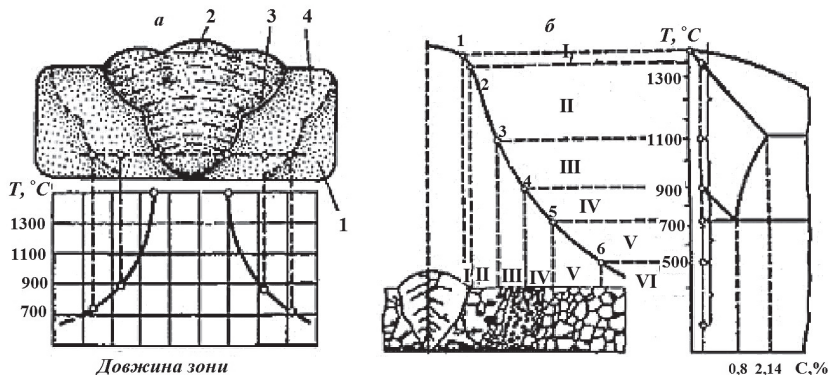


Рис. 4. Будова зварювального шва (а) і структурні перетворення маловуглецевої сталі в зоні термічного впливу (б). Зони: I – неповного розплавлення; II – перегріву; III – нормалізації; IV – неповної перекристалізації; V – рекристалізації; VI – синьоламкості

Структурні зміни основного металу в зоні термічного впливу шва незначно відбиваються на механічних властивостях маловуглецевих сталей при зварюванні її будь-якими способами. Однак при зварюванні деяких конструкційних сталей в цій зоні утворюються гартівні структури, які різко знижують пластичні властивості зварних з'єднань і часто є причиною утворення тріщин.

ХІД РОБОТИ

I. Виявлення ліквациї сірки.

1. Приготувати макрошліф зварного з'єднання. Переконатись з допомогою мікроскопа, що якість полірування достатня.

Для виявлення ліквациї сірки використовується метод Баумана, для виконання якого необхідно:

2. Відполірований макрошліф, протріть ватою, змоченою спиртом, і покладіть на стіл полірованою поверхнею вгору.

3. Аркуш глянцевого бромисто-срібного паперу вимочіть на світлі протягом 5-10 хв. у 5%-му водному розчині сірчаної кислоти, злегка просушіть для видалення надлишку розчину; покладіть емульсійною стороною на макрошліф, зверху ретельно пригладьте для видалення бульбашок газів, які

виникають; витримайте на макрошліфі протягом 10-12 хв.; обережно зніміть фотопапір з макрошліфа.

4. Отримані відбитки промийте у воді, зафіксуйте зображення в 25%-му водному розчині гіпосульфиту не менше 10 хв. та знову промийте у воді (не менше 10 хв.) й просушіть.

Ділянки коричневого кольору на відбитку вказують на місця, збагачені сіркою (скупчення сульфідів). Якщо ж фотопапір має рівномірне забарвлення, то сірка розподілена рівномірно.

Отримання темних ділянок у місцях, збагачених сіркою, пояснюється тим, що спочатку між сірчаною кислотою, увібраною фотопапером і вкрапленнями MnS і FeS , у вигляді яких сірка міститься в сталі, виникають реакції: $\text{MnS} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MnSO}_4 + \text{H}_2\text{S}$ та $\text{FeS} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{S}$. Сірководень, який виникає при цьому, діє на бромисте срібло емульсійного шару, в результаті цього виникає сірнисте срібло, яке має темно-коричневий колір: $2\text{AgBr} + \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{Ag}_2\text{S} + 2\text{HBr}$.

5. Розгляньте отриманий відбиток і дайте характеристику ліквації сірки (відбиток наклеїти до звіту).

II. Дослідження мікроструктури шліфа.

1. Відполірувати зразок та дослідити під мікроскопом.

2. Протравити шліф в 3% спиртовому розчині HNO_3 , поміщаючи шліф в травник короткочасно на 3-5 с, і потім промити його під струменем води та просушити. Якщо мікроструктура не буде виявлена, травлення повторюють.

***Примітка.** Зразок не можна травити неконтрольовано значний час, оскільки при цьому утвориться окисний шар значної товщини і зразок доведеться полірувати наново.*

3. Дослідити і замалювати чи зафотографувати мікроструктуру шваї зони термічного впливу після травлення. Зробити висновки.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Для чого робиться мікроструктурний аналіз зварних з'єднань?
2. Яка будова зварного з'єднання при зварюванні плавленням?
3. Як відрізняються механічні властивості різних ділянок зварних з'єднань?
4. Які структурні перетворення протікають при зварюванні сталей і як вони впливають на механічні властивості зварних з'єднань?
5. Що таке зварюваність і від чого вона залежить?

6. Як впливають наявні домішки в наплавленому металі на якість зварного з'єднання?
7. Перелічити види основних зварних з'єднань.
8. Який реактив використовується для травлення мікрошліфів зварного з'єднання?
9. Опишіть якість зварного з'єднання досліджуваного мікрошліфа?
10. Що таке синьоламкість?

Навчальне видання

КУЗИК Олександр Володимирович
РЯБЕЦЬ Сергій Іванович
ЦАРЕНКО Олег Миколайович

**ПРАКТИКУМ
З ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА
КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Навчально-методичний посібник

В авторській редакції

Технічний редактор Лисенко В.Ф.

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк 5,00. Тираж 300. Зам. 93.

Видавець і виготовлювач СПД ФО Лисенко В. Ф.
25029, м. Кропивницький, вул. Пацаєва, 14, корп. 1, кв. 101. Тел.: (0522) 322-326
Свідокство суб'єкта видавничої справи ДК № 3904 від 22.10.2010
E-mail: kod@kod.kr.ua