

ВСТУП ДО СПЕЦІАЛЬНОСТІ

Методичні вказівки з дисципліни до практичних занять
для студентів освітнього рівня «бакалавр»
спеціальності «Матеріалознавство»
(ОПП «Відновлення та технічний сервіс автомобілів»)



ВСТУП ДО СПЕЦІАЛЬНОСТІ

*Методичні вказівки з дисципліни до практичних занять
для студентів освітнього рівня «бакалавр»
спеціальності 132 «Матеріалознавство»
(ОПП «Відновлення та технічний сервіс автомобілів»)*

*Затверджено на засіданні кафедри
трибології, автомобілів та матеріалознавства.
Протокол № 7 від 29.03.2021*

Вступ до спеціальності : методичні вказівки з дисципліни до практичних занять для студентів освітнього рівня «бакалавр» спеціальності 132 «Матеріалознавство» (ОПП «Відновлення та технічний сервіс автомобілів») / уклад. О. С. Дробот. Хмельницький : ХНУ, 2021 37 с.

Укладач: Дробот О. С., канд. техн. наук, доц.

Відповідальний за випуск: Диха О. В., д-р техн. наук, проф.

Редактор-коректор: Яремчук В. С.

Технічне редагування і верстка: Карпанасюк В. П.

Макетування здійснено редакційно-видавничим відділом Хмельницького національного університету (м. Хмельницький, вул. Інститутська, 7/1). Підп. 21.07.2021. Зам. № 45e/21, електронне видання, 2021.

© ХНУ, 2021

Вступ

«Вступ до спеціальності» – обов'язкова дисципліна, яка читається для здобувачів освітнього рівня «бакалавр» спеціальності 132 «Матеріалознавство» (ОПП «Відновлення та технічний сервіс автомобілів»).

Матеріалознавство – наука, яка вивчає взаємозв'язок складу матеріалу, обробки з його структурою та властивостями. Від головних факторів – складу, структури тощо залежать фізичні, хімічні, механічні та експлуатаційні властивості матеріалів. Сучасному інженеру потрібні знання з матеріалознавства для вмілого та раціонального використання матеріалів і методів їх обробки, які більшою мірою задовольняють умови роботи механізмів та машин.

На виробництві під час виготовлення виробів, а також при експлуатації технічних систем (машин, двигунів, приладів) на всіх етапах виробництва обов'язково виконують контроль якості металу – визначення хімічного складу матеріалу, дослідження макро- та мікроструктури, проведення механічних випробувань (вхідний контроль).

Практичні заняття – важлива складова навчального процесу. Заняття мають не тільки практичне значення, але й теоретичне. Основна їх мета – донести до здобувачів історичні факти про становлення науки «Матеріалознавство», розвиток технологій одержання чавуну і сталі та методів дослідження їх складу, структури, властивостей. Також їм необхідно набути практичних навичок дослідницької роботи, виконання розрахунків і контрольних операцій, які використовують в матеріалознавстві; вони мають оволодіти знаннями з проведення вхідного контролю металопродукції, встановлення причин руйнування деталей у процесі експлуатації тощо.

Здобувач, який успішно завершив вивчення дисципліни має володіти такими компетентностями: визначати якість сталі за способом її одержання; ідентифікувати за маркою матеріал (чавун, сталь, легована сталь); вміти визначати групу матеріалу за його фізико-механічними характеристиками (густина, твердість); використовувати методи дослідження структури металів; використовувати методики проведення макро- та мікроструктурного аналізу; знати основні прилади для проведення цих методів дослідження; визначати вид зломів, розрізняти їх за будовою та кольором; пояснювати можливі причини руйнування деталей; характеризувати види неметалевих включень та передбачати їх вплив на властивості сталі; знати різницю властивостей між легованими та вуглецевими сталями.

Практичні заняття збережено на 34 години, при їх виконанні використовують методи проблемного навчання та візуалізації. Після виконання заняття здобувач захищає звіт та надає відповіді на тестові завдання з теми. Додатково на занятті проводиться усне чи письмове опитування до початку практичної частини з метою визначення рівня його підготовки.

Практичне заняття 1.

Матеріалознавство – наука про метали і сплави на їх основі

Мета: ознайомитись з історією становлення науки «Матеріалознавство».

Завдання до роботи: ознайомитись з задачами фахівців з матеріалознавства, методами дослідження структури та властивостей матеріалів.

Інструменти та матеріали: підручники; навчальні посібники; довідники; ресурси Інтернет.

Теоретичні відомості

Що вивчає матеріалознавство. Ця наука, перш за все, вивчає **властивості матеріалів**, що збігається з задачами фізики, хімії (додаток А). Крім цього вона використовує цілий ряд методів, які дозволяють досліджувати **структуру металів**, тому що властивості металів і сплавів залежать не тільки від їх хімічного складу, та кристалічної будови, але й виду обробки, якому піддавали метал та сформованої структури.

Сьогодні визначено наступні властивості, якими, як правило, володіють метали: світлий колір; здатність до кування; висока електро- та теплопровідність; ріст електричного опору при підвищенні температури.

До властивостей металів і сплавів належать: **механічні** (міцність, пластичність, в'язкість і твердість); **хімічні** (опір дії агресивного середовища); **фізичні** (магнітні, електричні, об'ємні, теплові); **технологічні** (рідкотекучість, штампуємість, оброблюваність ріжучим інструментом, прогартовуваність, зварюваність).

Методи дослідження складу та будови матеріалів. В металознавстві широко використовують **фізичні методи** дослідження металів. За їх допомогою визначають теплоємність, теплопровідність, електричний опір, теплове розширення, магнітні властивості. Різні форми **хімічного аналізу** дозволяють визначити склад металів та сплавів. Для дослідження структури науковці використовують: **металографічний та рентгеноструктурний аналізи**. Вимірювання розмірів структурних складових матеріалів здійснюють методами оптичної та електронної мікроскопії. Механічні властивості визначають проведенням **механічних випробувань**.

Рентгенографія – дослідження структури об'єктів, які відображають з допомогою рентгенівських променів, методика ґрунтується на утворенні тіньового забарвлення на рентгенівській плівці під дією рентгенівських променів (рентгенівські дифракційні методи).

Калориметрія – сукупність методів вимірювання кількості теплоти, що виділяється або поглинається при протіканні різних фізичних чи хімічних процесів. Кількість теплоти, яка передається тілу (системі) або відібрана від неї, пропорційна зміні температури тіла та його масі – $Q = cm\Delta T$, де c – питома теплоємність; m – маса речовини; ΔT – різниця температур.

Хімічні методи аналізу – сукупність операцій, за допомогою яких встановлюють якісний та кількісний склад речовин.

Термічний аналіз – методи дослідження фізико-хімічних перетворень речовин під впливом температури.

Значення матеріалознавства як науки. На сучасному етапі розвитку промисловості, матеріалознавство має практичне та інженерне значення. Воно є однією з актуальних та провідних спеціальностей у всьому світі, особливо у розвинутих країнах. Інженерів з матеріалознавства готують у більшості кращих університетів світу (Китай, Сінгапур, Велика Британія, США) – ці держави випускають високотехнологічні товари. Завдяки цьому, ці прогресивні країни вважають матеріалознавство однією з основних ключових галузей, розвиток економіки в них відбувається досить швидко. Самі матеріалознавці цінні, перш за все, тим, що вирішують складні технологічні проблеми створення застосування та опису нових матеріалів для XXI ст.

Підсумовуючи викладене, треба зазначити важливу роль матеріалознавства у сучасному світі та історії людства.

Наукові відкриття. Нобелівської премії з матеріалознавства не існує, але значна кількість премій була присуджена або за матеріалознавчі розробки, або за надзвичайно важливі відкриття – ключові для матеріалознавчої науки. Значна кількість премій з фізики призначається за розробку методів дослідження та розшифрування структури матеріалів. Застосовуючи дифракційні методи аналізу структури, науковці розшифрували будову нуклеїнових кислот та механізм їх дії. За це були присуджені премії у 1962 р. – з фізіології та медицини; 1968 р. – за розшифрування генетичного коду в ДНК; 1982 р. – за розробку методів розшифрування дифракційних результатів (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Нобелівські лауреати з фізики за відкриття в матеріалознавстві

Рік присудження	Досягнення
1	2
1901	Рентгенівські промені
1914	Макс фон Лау'є німецький фізик Дифракція рентгенівських променів на кристалах.
1915	Вільям Генрі Брегг Вільямс Лоренс (батько і син з Великої Британії). Дослідження структури кристалів дифракцією рентгенівських променів
1920	Ш-Е. Гійом (Швейцарія). Відкриття сплавів з аномальною поведінкою коефіцієнту теплового розширення (Інвар – елінвар)
1928	О. Річардсон (Велика Британія). Вивчення термоемісійних властивостей матеріалів
1937	К. Девіссон, Д. Томсон (США і Велика Британія). Дифракція електронів на кристалах
1953	Фазово-контрастний мікроскоп

Продовження таблиці 1.1

1	2
1956	В.-Б. Шоклі, Дж. Бардін, В.Г. Браттейн (США). Напівпровідники та винахід транзистора
1973	Тунельні явища в напівпровідниках та надпровідниках
1986	Електронний мікроскоп та тунельний мікроскоп
1987	Г. Беднорц (Німеччина) і К.А. Мюллер (Швейцарія): надпровідність керамік (високотемпературна)
2000	Напівпровідникові гетероструктури в електроніці
2009	Оптоволокно та «цифровий фотоапарат»
2010	Двомірний матеріал графен

Порядок виконання роботи

1. Вивчити та дослідити етапи розвитку науки «Матеріалознавство».
2. Зробити аналіз історії розвитку матеріалознавства.
3. Вивчити визначення основних властивостей металів та сплавів.
4. Засвоїти задачі, які вирішує теоретичне і практичне матеріалознавство.
5. Вивчити суть методів для дослідження металів.
6. Засвоїти поняття: склад, структура металу.

Контрольні питання

1. Назвіть основні періоди розвитку матеріалознавства.
2. Хто з вчених започаткував наукові основи матеріалознавства?
3. Що вивчає сучасне матеріалознавство?
4. Назвіть основна властивості, якими володіють метали.
5. Назвіть методи дослідження металів.
6. Що таке склад металу? Як його визначають?
7. Що таке структура металу? Як її досліджують?
8. Які методи дослідження використовують в матеріалознавстві?
9. Що досліджують з допомогою рентгенографії?
10. Що досліджують з допомогою хімічного аналізу?
11. Що досліджують з допомогою термічного аналізу?
12. Що таке хімічний і фазовий склад матеріалу?
13. Сучасні напрямки досліджень в матеріалознавстві.

Література: [1, с. 5–7; 3, с. 8–10; 6]

Практичне заняття 2.

Дослідження історії одержання чавуну і сталі

Тема заняття: одержання чавуну та сталі.

Мета: ознайомитись з історією добування та використання людством заліза та сплавів на його основі: чавуну та сталі.

Завдання до роботи: оцінити якість металу одержаного кричним способом; вивчити будову злитків сталі після кристалізації; дослідити вплив способу одержання сталі та умов кристалізації на будову злитка та властивості сталі.

Інструменти та матеріали: сталевий злиток; моделі злитків кип'ячої та спокійної сталі; мікроскоп МБС-9; фотографії кричного заліза; злитки чавуну та сталі.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з метою, завданням і методичними рекомендаціями до заняття.
2. З рекомендованих джерел вивчити історію одержання кричного заліза, чавуну і сталі.
3. Розглянути та замалювати будову зразків з кричного заліза, описати особливості.
4. Розглянути неозброєним оком макети злитків кип'ячої та спокійної сталі, виявити характерні зони.
5. Підготувати для дослідження мікроскоп МБС-9.
6. Дослідити будову сталевого злитка під мікроскопом.
7. Зарисувати будову злитків кип'ячої та спокійної сталі, описати її, визначити характерні зони, пояснити причини їх утворення.

Контрольні питання

1. Дайте визначення «руда», «чавун», «криця».
2. Що є вихідною сировиною для одержання чавуну, криці, заліза?
4. Яке паливо використовували для одержання чавуну та криці?
5. Як Бесемер одержав ковку сталь?
6. Чим забруднюється сталь в процесі виплавки?
7. Поясніть вислів «брудна сталь».
8. Яку сталь називають кип'ячою, а яку спокійною?
9. Яку будову має злиток кип'ячої сталі?
10. Яку будову має злиток спокійної сталі?
11. Що таке хімічна ліквіація?
12. Що таке зональна ліквіація?
13. Які елементи схильні до ліквіації?
14. З якою метою застосовують додаток виливниці?
15. Де зосереджена усадочна порожнина?
16. Де зосереджена усадочна рихлість?
17. Що таке дендрит?

Література: [1, с. 6–10; 6; 8]

Практичне заняття 3. Дефекти сталевих злитків

Мета: навчитись виявляти і класифікувати дефекти сталевих злитків.

Завдання до роботи: дослідити і вивчити макродефекти злитків сталі, описати їх причини утворення; як вони проявляють себе при виготовленні та в процесі роботи деталей.

Інструменти та матеріали: макети злитків спокійної та кип'ячої сталі, атласи, довідники з ілюстраціями дефектів сталевих злитків. ДСТУ 8975:2019 «Сталь. Методи випробування та оцінювання макроструктури».

Порядок виконання роботи

За наданими зразками, ілюстративними та нормативними матеріалами ознайомитись з основними дефектами сталевих злитків, замалювати, описати їх та визначити тип (усадочну раковину, підкоркові пузири, флокени, ліквацию, тріщини).

Біля кожного малюнку описати причини виникнення кожного з описаних дефектів.

З довідникових матеріалів дізнатись та записати, які заходи вживають для запобігання виникнення цих дефектів.

Контрольні питання

1. Що належить до дефектів сталевих злитків?
2. Що таке осьова рихлість?
3. Що таке заворот?
4. Який зв'язок існує між підкорковими газовими пузирями та волосовинами?
5. Які злитки мають усадочну раковину?
6. Які злитки не мають усадочної раковини?
7. У якої сталі більша пластичність: у спокійної чи кип'ячої?

Література: [1, с. 8–12; 2, с. 4–6; 4, с. 10–14; 6]

Практичне заняття 4. Макроструктурний аналіз сталей

Мета: оволодіння навичками наукового макроструктурного аналізу та узагальнення отриманих результатів.

Завдання до роботи: вивчити макроструктуру заготовок і деталей, виготовлених литтям та обробкою тиском; описати особливості структури та оцінити її вплив на властивості деталей.

Інструменти та матеріали: мікроскоп МБС-9; зразки сталі для дослідження; шліфувальна шкурка зернистістю 46–50 мкм; розчини для травлення.

Порядок виконання роботи

Одержати у викладача макрошліфи (литого та деформованого металу) розглянути неозброєним оком та під мікроскопом МБС-9 при різних збільшеннях.

1. Дослідження макроструктури литої сталі. Для виявлення макроструктури литої сталі макрошліф шліфують і піддають травленню в реактиві, який містить 250 мл соляної кислоти, 35 мл сірчаної кислоти, 100 мл води. Травлення проводять в реактиві нагрітому до 70–90 °С, тривалість 30–60 хв. Після травлення макрошліф промивають проточною водою та просушують фільтрувальним папером. Макроструктура литої сталі **дендритна**. Правильна форма дендритів порушена внаслідок зіткнення та зростання окремих ділянок кристалів на завершальних стадіях процесу кристалізації

Зарисувати макроструктуру литої сталі та описати її.

2. Дослідження макроструктура деформованої сталі. Макроструктуру деформованої сталі виявляють після шліфування та дії на підготовлену поверхню реактиву, який містить CuCl_2 – 85 г, NH_4Cl – 53 г та H_2O – 1000 мл. Після травлення поверхню зразка промити водою та просушити. Макрошліф дослідити під мікроскопом. Макроструктура деформованої сталі **волокониста**. Розміщення волокон може повторювати конфігурацію виробу, або волокна можуть бути перерізаними при виготовленні деталі. Якщо вони повторюють конфігурацію деталі, то це свідчить про правильно обрану технологію обробки тиском.

Замалювати макроструктуру деформованої сталі та описати її. Зробити висновки по якості металу та визначити спосіб попередньої обробки.

Контрольні питання

1. Задачі, які вирішують з допомогою макроаналізу.
2. З якою метою проводять макроскопічні дослідження?
3. В чому полягає підготовка макрошліфа?
4. Назвіть способи макроаналіза.
5. Що таке макроструктура?
6. Як підготувати макрошліф для виявлення дендритної будови металу?
7. Як підготувати макрошліф для виявлення будови поковки?
8. Склад травників для проведення мікроаналізу.
9. Поясніть вислів «волокониста структура» – за яких умов вона утворюється.
10. Що є причиною смужкуватості, за яких умов вона утворюється?
11. Який реактив виявляє смужкуватість?
12. Які реактиви використовують для травлення литої сталі?
13. Які реактиви використовують для травлення деформованої сталі?
14. Як смужкуватість впливає на властивості сталі?

Література: [1, с. 14–17; 2, с. 4–6; 4, с. 4–14; 6]

Практичне заняття 5. **Макроаналіз ліквациї сірки**

Тема: виявлення ліквациї сірки в сталях.

Мета: ознайомитись з методикою виявлення ліквациї сірки.

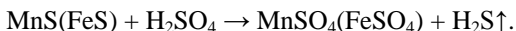
Завдання до роботи: засвоїти методику виявлення ліквациї сірки за методом Баумана.

Інструменти та матеріали: листи бром-срібного засвіченого фотопаперу; реактив – 5 % водний розчин сірчаної кислоти, вата, фільтрувальний та шліфувальний папір, зразки сталі, розчин гіпосульфїту, чашки для реактивів, лупа, гумові рукавички, спирт.

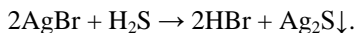
Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з методикою виявлення сірки в сталі, яка описана далі. Для визначення ліквациї сірки поверхню зразка шліфують наждачним папером з малим розміром зерна, промивають ватою змоченою спиртом, для очищення від часточок абразиву та металевого пилю. Потім лист засвіченого бром-срібного паперу занурюють у 5 % водний розчин сірчаної кислоти на 4 хв (добре просочують). Далі папір необхідно трохи просушити за допомогою фільтрувального паперу для видалення крапель кислоти. Підготовлений фотопапір емульсійною стороною накладають на знежирену поверхню підготовленого макрошліфа і злегка притискають для видалення повітря між макрошліфом і папером. Витримують 1–2 хв.

Під час витримки сірка сталі чи чавуну, яка знаходиться у вигляді сульфідів MnS та FeS, реагують з сірчаною кислотою за такими реакціями:



Сіркководень реагує з бромистим сріблом фотопаперу:



Сірчане срібло Ag_2S випадає в осад і утворює темні плями на фотопапері, що свідчить на присутність (скупчення) сірки в металі. Папір знімають з поверхні зразка, промивають водою та витримують у гіпосульфїті протягом 3–5 хв. Після витримки у фіксажі фотопапір знову промивають водою і висушують фільтрувальним папером. На папері відбивається поверхня макрошліфа сірого кольору, а ділянки скупчень сірки мають більш темний колір. Потемніння ділянок, які містять підвищену кількість сірки, відбувається внаслідок хімічних реакцій, які описані раніше.

2. За описаною методикою виявити ліквацию сірки сірчанним відбитком в зразках сталі, виданих викладачем.

3. Отримані відбитки вивчити та проаналізувати, зробити висновки про розподіл сірки перерізом макрошліфа.

Контрольні питання

1. З якою метою проводять макроскопічні дослідження?
2. В чому полягає підготовка макрошліфа?
3. Що таке ліквація?
4. Види ліквації.
5. Які реактиви використовують для виявлення сірки?
6. Як виявити ліквацію сірки в сталі?
6. Як виявити ліквацію фосфору в сталі?

Література: [2, с. 5–7; 3, с. 14–17; 4, с. 7–10; 6]

Практичне заняття 6. Фрактографія

Тема: метод фрактографічного аналізу сталі.

Мета: ознайомитись з основами проведення фрактографічних досліджень та задачами, які вирішують за допомогою фрактографії.

Завдання до роботи: дослідити та вивчити типові види зламів.

Інструменти та матеріали: мікроскоп МБС-9; набір зруйнованих сталевих деталей; світлини зламів; довідникові матеріали.

Порядок виконання роботи

1. Вивчити методику проведення фрактографічних досліджень. З методичних посібників вивчити характерні види зламів після випробувань на розтяг та згинання.

2. Розглянути неозброєним оком та під мікроскопом МБС-9 зразки зламів, видані викладачем і орієнтовно визначитись з передумовами його формування; оцінити злам за такими ознаками: за формою, будовою та здатністю відбивати світло.

3. Описати будову досліджених зломів і зробити висновок про характер руйнування металу наданих зразків.

Контрольні питання

1. Що таке фрактографія?
2. Як класифікують злами за формою?
3. Які злами бувають за будовою?
4. Характерні ознаки кристалічного зламу.
5. Характерні ознаки в'язкого зламу.
7. Характерні ознаки зламу втомленості.
8. Назвіть основні властивості металу, якщо при руйнуванні сформувався крихкий злам.

9. Змодельуйте причини руйнування металу, якщо після руйнування сформувався в'язкий злам.

10. Змодельуйте причини руйнування металу, якщо після руйнування сформувався втомний злам.

11. Чи відрізняються за властивостями метали, якщо після руйнування вони мають різні злами (один – крихкий, другий – втомний злам)?

Література: [1, с. 18–20; 2, с. 4–5; 4, с. 73–76; 6]

Практичне заняття 7. Основи мікроструктурного аналізу

Тема: мікроструктурний аналіз.

Мета: вивчення будови оптичного мікроскопа, набуття навичок роботи з лабораторним обладнанням та приладами на прикладі вивчення будови металографічного мікроскопа.

Завдання до роботи: вивчити будову оптичного металографічного мікроскопа.

Інструменти та матеріали: оптичні мікроскопи ММР та МИМ-7; документація на прилади.

Порядок виконання роботи

Ознайомитись з конструкцією оптичних мікроскопів МИМ-7 та ММР, будовою і характеристиками окулярів та об'єктивів.

Металографічний мікроскоп – прилад для дослідження і фотографування структури металів і сплавів, де використовується світло, відбите від дзеркальної поверхні непрозорого об'єкта – шліфа.

Металографічний мікроскоп має складну будову, складається з таких основних частин: оптичної системи (об'єктив, окуляр), які призначені для отримання потрібного збільшення; механічної системи, яка потрібна для переміщення основних частин і вузлів та освітлювальної системи для освітлення мікрошліфа, а також фотографічної апаратури (рис. 7.1). Головна частина мікроскопа – лінзи.

Об'єктив (рис. 7.2, лінзи 1 і 2) – система лінз, які об'єднані металевою трубчатою оправкою – вони є основним елементом оптичної системи мікроскопа. Об'єктив – у перекладі з латині «об'єктус» означає предмет.

Об'єктиви характеризуються збільшенням (фокусною відстанню), апертурою и робочою відстанню між шліфом та фронтальною лінзою.

Об'єктиви залежно від числової апертури і збільшення, поділяють на три групи: 1) малих збільшень ($10\times$); 2) середніх збільшень (до $40\times$); 3) великих збільшень (більше $40\times$ до $90\times$).

Звичайні об'єктиви можуть мати збільшення від 3 до 90 разів.

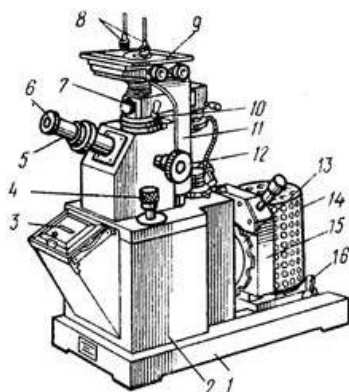


Рис. 7.1 – Загальний вигляд мікроскопа МИМ-7:

- 1 – плита (основа); 2 – корпус; 3 – фото-рамка; 4 – мікрометричний гвинт;
 5 – візуальний (зоровий) тубус; 6 – окуляр; 7 – ілюмінаторний тубус;
 8 – притискачі; 9 – змінні підкладки; 10 – рукоятка для увімкнення діафрагми;
 11 – стойка; 12 – макрометричний гвинт; 13 – світлофільтри; 14 – ліхтар;
 15 – освітлювач; 16 – стопорний гвинт

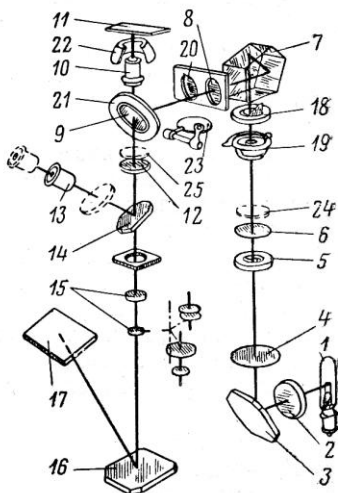


Рис. 7.2 – Оптична система мікроскопа:

- 1 – джерело світла; 2 – колектор; 3 – дзеркало; 4 – лінза; 5 – апертурна діафрагма;
 6 – лінза; 7 – призма; 8 – лінза; 9 – відбиваюча пластинка; 10 – об'єктив;
 11 – об'єкт; 12 – ахроматична лінза; 13 – окуляр; 14 – дзеркало; 15 – фото окуляр;
 16 – дзеркало; 17 – фотопластинка; 18 – польова діафрагма; 19 – заслінка;
 20 – лінза для роботи в темному полі; 21 – кільцеве дзеркало;
 22 – параболічне дзеркало; 23 – заслінка (вмикається при роботі в темному полі);
 24 – поляризатор; 25 – аналізатор

Окуляр (рис. 7.3, лінзи 3 і 4) розміщений у верхній частині тубуса. В тубусі знаходяться лінзи, які збільшують зображення. Тубус може підніматись та опускатись з допомогою гвинта. В окуляр дослідник розглядає зображення. **Окуляр** – у перекладі з латини «окулус» означає око. Окуляр збільшують зображення, яке створює об'єктив. Основна характеристика окуляра – його власне збільшення. У звичайних окулярів власне збільшення знаходиться в межах 3–20[×].

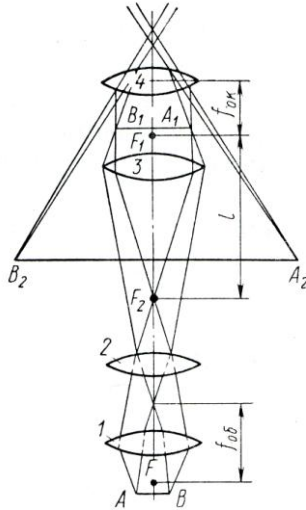


Рис. 7.3 – Спрощена оптична схема мікроскопа

Мікроскоп має такі основні системи: механічну, яка призначена для переміщення предметного столика, на якому розміщено мікрошліф. Столик може рухатись в горизонтальному та вертикальному напрямках.

Освітлювальна система складається з джерела світла, лінз, світлофільтрів і діафрагми. Джерелом світла є низьковольтна лампа розжарювання, яка підключена до трансформатора.

Основними характеристиками металомікроскопів є:

– **роздільна здатність** мікроскопа – найменша відстань між двома точками, при якій їх можна бачити окремо одну від одної. Роздільна здатність мікроскопа d залежить від апертури об'єктива A і довжини світлової хвилі λ :

$$d = \frac{0,61\lambda}{A},$$

де d – роздільна здатність мікроскопа, мкм; λ – довжина хвилі світла; A – характеристика об'єктива.

Роздільна здатність оптичного мікроскопа 200 нм (0,2 мкм);

– **загальне збільшення мікроскопа.** Збільшення зображення об'єкта в мікроскопі відбувається у дві стадії: перше дає об'єктив, друге – окуляр.

Окуляр створює збільшене уявне і пряме зображення об'єкта, яке знаходиться від спостерігача на відстані комфортного спостереження (250 мм). Отже ми бачимо в мікроскопі зображення об'єкта під великим кутом зору – збільшене та перевернуте. Об'єктив дає корисне збільшення об'єкта. Тобто таке, яке додає нові деталі у об'єкта. Окуляр лише збільшує зображення, яке дає об'єктив, не додаючи в зображення нових деталей.

Предмет, який розглядають AB , розміщують перед об'єктивом дещо далі за його фокус F (рис. 7.3). Під час освітлення предмета AB промені світла відбиваються від нього, проходять через лінзи 1, 2 об'єктива, заломлюються в них, проходять через лінзу 3 окуляра і дають обернене збільшене, дійсне зображення предмета B_1A_1 . Під час спостереження оком зображення B_1A_1 через лінзу 4, яка є лупою, буде видно уявне, збільшене обернене зображення B_2A_2 , яке і є остаточним зображенням предмета. Зазвичай, зображення B_2A_2 проектується на відстані чіткого зору – 250 мм;

– **збільшення мікроскопа** дорівнює добутку збільшень об'єктива та окуляра. Об'єктив збільшує предмет, який розглядаємо, а окуляр збільшує лише зображення, яке одержують від об'єктива і не додає ніяких нових особливостей структури, якщо вони не виявлені об'єктивом;

– **збільшення об'єктива:**

$$N = \frac{L}{f_{i\acute{a}}},$$

де L – оптична довжина тубуса, тобто це відстань між сусідніми фокусами F_1 і F_2 (для мікроскопа МИМ-7 воно дорівнює 250 мм); $f_{o\acute{o}}$ – фокусна відстань об'єктива;

– **збільшення окуляра**, так як і для лупи:

$$N_{i\acute{e}} = \frac{250}{f_{i\acute{e}}},$$

де $f_{o\acute{k}}$ – фокусна відстань окуляра;

– **загальне збільшення мікроскопа:**

$$N_i = N_{i\acute{a}} \cdot N_{i\acute{e}} = \frac{L}{f_{i\acute{a}}} \cdot \frac{250}{f_{i\acute{e}}};$$

– **оптична роздільна здатність мікроскопа:**

$$d = \frac{\lambda}{A},$$

де λ – довжина хвилі світла в ангстремах; A – числова апертура об'єктива.

Чим коротша довжина світла і чим більшою є апертура об'єктива, тим більш дрібні елементи структури можна розгледіти під мікроскопом. Числова апертура лінзи об'єктива визначається рівнянням:

$$A = n \cdot \sin \varphi,$$

де n – коефіцієнт заломлення середовища між предметом і об'єктивом; φ – половина твірного кута об'єктива.

Твірним кутом об'єктива (рис. 7.4) називають кут AOB , який утворений крайовими променями OA і OB . Чим більшим є твірний кут і коефіцієнт заломлення, тим більшою буде роздільна здатність мікроскопа.

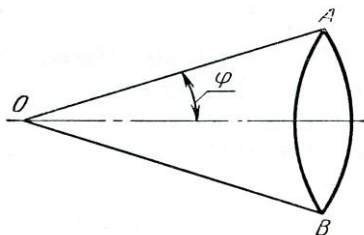


Рис. 7.4 – Твірний кут

Корисне збільшення в оптичних мікроскопах в межах 70–1500 при зоровому спостереженні і 2000 раз при фотографуванні (табл. 7.1).

Таблиця 7.1 – Збільшення об'єктивів та окулярів мікроскопа МИМ-7

Об'єктив	Окуляр для:						
	візуального спостереження				фотографування		
	×7	×10	×15	×20	×7	×10	×15
×8,6 ($F = 23,2; A = 0,17$)	60	90	130	170	70	120	160
×14,4 ($F = 13,89; A = 0,30$)	100	140	200	300	115	200	270
×24,5 ($F = 8,16; A = 0,37$)	170	240	360	500	200	340	450
×32,5 ($F = 6,16; A = 0,65$)	250	320	500	650	260	440	600
×72,2 ($F = 2,77; A = 1,25$)	500	720	1080	1440	575	1000	1350

Контрольні питання

1. Історія винаходу мікроскопа
2. Що означає слово «мікроскоп»?
3. Будова мікроскопа.
4. Назвіть вчених, які брали участь у створенні мікроскопа.
5. Основні конструктивні елементи перших мікроскопів.
6. Призначення металографічного мікроскопа.
8. Які основні елементи сучасних мікроскопів?

9. На яких фізичних явищах базується робота мікроскопа?
10. Що таке збільшення мікроскопа, яке його значення у оптичних мікроскопів?
11. Яка роздільна здатність оптичного мікроскопа?
12. Що є остаточним зображенням предмета?
13. Як вираховують збільшення мікроскопа?
14. Корисне збільшення оптичних мікроскопів.

Література: [1, с. 20–25; 2, с. 5–6; 4, с. 35–40; 6]

Практичне заняття 8. Техніка мікроструктурного аналізу

Тема: методика проведення мікроструктурного аналізу.

Мета: оволодіти методикою проведення мікроструктурного аналізу металів.

Завдання до роботи: підготувати мікрошліф за вивченою методикою: виготовлення, шліфування, полірування та травлення зразків. Дослідити його під мікроскопом при різних збільшеннях.

Інструменти та матеріали: шліфувальна шкурка; полірувальний станок; мікроскоп ММР; спирт; ванночки для травників; фільтрувальний папір.

Порядок виконання роботи

1. Вивчити методику виготовлення мікрошліфів з літературних джерел.
2. Отримати у викладача зразки сталі для виготовлення мікрошліфів та набір шліфувального паперу. За засвоєною методикою виготовити мікрошліфи з використанням шліфування, механічного полірування та хімічного травлення. Якість підготовки поверхні зразків контролювати під мікроскопом МБС-9.
- Під керівництвом викладача здійснити травлення шліфів в 4 % розчині азотної кислоти в спирті, тривалість травлення 1–20 с. Після травлення шліф промити під струменем води і швидко висушити фільтрувальним папером. Дослідити під мікроскопом поверхню кожного шліфа. Підготовлені зразки в кінці заняття здати викладачу.

Контрольні питання

1. Що таке мікрошліф? Вимоги до поверхні мікрошліфа.
2. Які стадії підготовки поверхні мікрошліфа для досліджень?
3. Як виконують ручне шліфування зразка для дослідження мікроструктури?
4. Як проводять механічне полірування?
5. Чи можна спостерігати структуру на шліфованому мікрошліфі?

6. Чи можна спостерігати структуру на полірованому мікрошліфі?
7. Чому при травленні мікрошліфа на границях зерен утворюються канали (заглибини)?
8. Чому зерна однієї фази після травлення можуть виглядати темнішими за зерна іншої фази?
9. Який склад травників для виявлення структури сталей?

Література: [1, с. 20–25; 2, с. 6–8; 4, с. 37–40; 6]

Практичне заняття 9.

Мікроструктурний аналіз залізо-вуглецевих сплавів

Тема: мікроструктурний аналіз сталей та сірих чавунів.

Мета: навчитись проводити мікроструктурний аналіз сталей та чавунів; набути навичок наукового аналізу і узагальнення отриманих результатів.

Завдання до роботи: вивчити мікроструктуру заготовок сталей низько вуглецевої та середньо вуглецевої після обробки тиском; описати особливості структури, оцінити її вплив на властивості деталей; вивчити мікроструктуру сірих чавунів з різною формою графітних включень; за формою графітних включень визначити групу чавуну.

Інструменти та матеріали: мікроскоп ММР, зразки сталей та чавунів для дослідження.

Порядок виконання роботи

Отримати у викладача зразки сталей та чавунів, підготувати їх для проведення мікроструктурного аналізу: протравити підготовлені мікрошліфи травником і дослідити під мікроскопом при збільшеннях у 100 та 300 разів.

Зарисувати та описати мікроструктури деформованої сталі та сірих чавунів.

Контрольні питання

1. Що таке мікроструктура?
2. Що таке мікрошліф?
3. Яке призначення травників при проведенні мікроаналізу?
4. Які елементи мікроструктури сталі ви досліджували під мікроскопом?
5. Які елементи мікроструктури чавунів ви досліджували під мікроскопом?
6. Що таке зерно та структура металу?
7. З якою метою вивчають мікроструктуру металу?
8. Хто першим використав мікроскоп для вивчення структури металу?
9. Як отримати різну форм графітних включень в чавунах?

Література: [1, с. 23–25; 2, с. 6–8; 4, с. 36–39; 6]

Практичне заняття 10.

Аналіз неметалевих включень в сталі

Тема: дослідження неметалевих включень в сталі.

Мета: вивчити класифікацію та морфологію неметалевих включень, які присутні в сталі.

Завдання до роботи: оволодіти методикою вивчення та розпізнавання неметалевих включень; оцінити їх вплив на властивості сталі.

Інструменти та матеріали: мікроскоп МИМ-7; світліни структури сталей з неметалевими включеннями; мікрошліфи; нормативні документи.

Порядок виконання роботи

Ознайомитись з підручників та посібників з класифікацією та будовою неметалевих включень. Ознайомитись з нормативними документами по виявленню неметалевих включень в сталі ДСТУ 8966:2019 «Сталь. Металографічні методи визначення неметалевих включень». Підготувати для дослідження мікроскоп МИМ-7. Дослідити мікрошліфи з неметалевими включеннями. Замалювати неметалеві включення, описати їх морфологію та характер розміщення, визначити групу за ДСТУ 8966:2019. Зробити висновки про вплив неметалевих включень на властивості сталі.

Контрольні питання

1. Назвіть компоненти та домішки сталі.
2. Назвіть корисні та шкідливі домішки в сталі.
3. Чому в сталь попадає сірка та фосфор?
4. Що таке розкислення сталі? Чим забруднюється сталь після розкислення?
5. Як досліджують неметалеві включення? Яку форму вони можуть мати?
6. Як впливають неметалеві включення на властивості сталі?
7. Які дефекти сталі викликає водень?
8. Які продукти розкислення залишаються в сталі у вигляді неметалевих включень (SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2)?
9. Методи оцінки забрудненості сталі неметалевими включеннями.
10. Які дефекти виникають в заготовках з вини неметалевих включень?

Література: [3, с. 149–159; 4, с. 62–68, 6]

Практичне заняття 11.

Фізичні і механічні властивості металів

Тема: механічні та фізичні властивості металів і сплавів.

Мета: ознайомитись з методикою проведення досліджень для визначення основних фізичних властивостей металів та сплавів.

Завдання до роботи: за фізичними характеристиками (густиною, кольором) визначити групу (чорні, кольорові, легкі); за показниками твердості розрахувати механічні характеристики сталі 45 після відпалу.

Прилади та матеріали: ваги аналітичні; штангенциркуль; зразки чорних та кольорових металів і сплавів на їх основі; ДСТУ 8975:2019; довідники.

Порядок виконання роботи

1. За показниками твердості вимірної за методом Бринеля для сталі 45 (дані видає викладач), визначити умовну межу текучості, межу міцності, відносне поперечне звужування та відносне видовження.

Умовну межу текучості для конструкційних вуглецевих сталей (після відпалу) визначають за формулою (11.1), межу міцності – (11.2), відносне поперечне звужування сталей після відпалу – (11.3), а відносне видовження для п'ятикратних зразків – (11.4):

$$\sigma_{0,2} = 0,367 \text{ HB} - 240; \quad (11.1)$$

$$\sigma_{\delta} = 0,365 \text{ HB}^{0,989}; \quad (11.2)$$

$$\psi = 105 - 0,0316 \text{ HB}; \quad (11.3)$$

$$\delta_5 = 420 \cdot 100 / (2 \sigma_{\delta} + \sigma_{0,2}). \quad (11.4)$$

Результати записати в таблицю 11.1.

Таблиця 11.1 – Механічні характеристики сталі

Механічні характеристики					
Марка сталі	HB, МПа	$\sigma_{0,2}$	σ_{δ}	ψ , %	δ , %

2. Отримати у викладача зразки для визначення густини металу. Зважити зразки на аналітичних вагах, результати записати у таблицю 1.2. Зважування кожного зразка виконати тричі з точністю до 0,1 г.

За допомогою штангенциркуля виміряти розміри кожного зразка і вирахувати його об'єм. Кожну грань зразка виміряти у трьох місцях за шириною, довжиною, висотою ($a_1, a_2, a_3; b_1, b_2, b_3; h_1, h_2, h_3$). Виміри зробити тричі. За кінцевий результат прийняти середнє арифметичне трьох вимірів кожної грані. Об'єм зразка V , см³ (куб чи паралелепіпед) визначити за формулою:

$$V_1 = a_{cp} \cdot b_{cp} \cdot h_{cp}, \quad (11.5)$$

де a_{cp}, b_{cp}, h_{cp} – середні значення розмірів граней зразка, см.

Для зразків циліндричної форми на кожній з паралельних площин провести два взаємно перпендикулярних діаметра d_1, d_2, d_3, d_4 і виміряти їх, потім виміряти діаметри середньої частини циліндра (d_5, d_6). За кінцевий результат прийняти середнє арифметичне шести вимірів діаметра.

Висоту циліндра визначити у чотирьох місцях (h_1, h_2, h_3, h_4) і за кінцевий результат прийняти середнє арифметичне чотирьох вимірів. Вимірювання виконати з точністю до 0,1 мм.

Об'єм зразка $V, \text{см}^3$ циліндричної форми розрахувати за формулою:

$$V_1 = \frac{\pi \cdot d_{cp} \cdot h_{cp}}{4},$$

де $\pi = 3,14$; d_{cp} – середній діаметр циліндра, см; h_{cp} – середня висота циліндра, см.

Густина ρ розрахувати за результатами випробувань, для чого визначити масу зразка m в грамах, зважуванням його на технічних чи аналітичних вагах і величину об'єму V . Об'єм визначають з допомогою вимірювача об'єму в см^3 чи розрахунками для тіл простої форми (куб, паралелепіпед, стрічка, циліндр). За цими даними густину визначають за формулою.

$$\rho = \frac{m}{V}, \text{г/см}^3. \quad (11.6)$$

Схема виконання вимірювань розмірів зразків наведена на рис. 11.1.

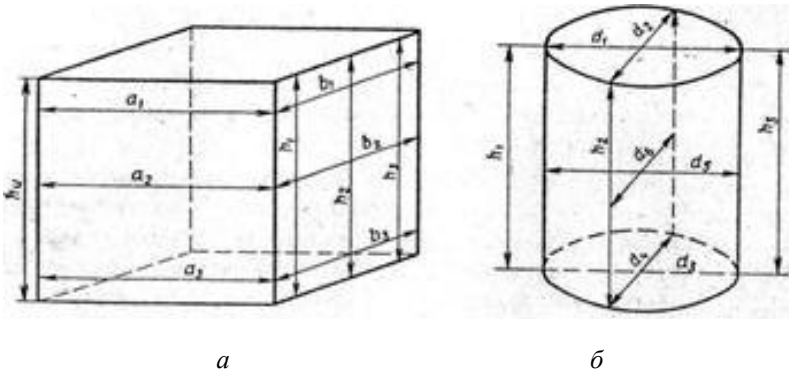


Рис. 11.1 – Схема вимірювання розмірів зразків для визначення об'єму: а – куб; б – циліндр

Результати визначення об'єму записати в таблицю 11.2. Розрахувати густину за формулою (11.6). Результати записати в таблицю 11.2.

Заповнити всі стовбці таблиці, зробити висновки до роботи.

Таблиця 11.2 – Результати випробувань сплавів на густину

Сплав (метал)	Маса зразка, г	Об'єм, см ³	Густина, г/см ³	Густина за довідником (хімії та фізики)	Група сплаву за густиною (важкий/легкий)

Контрольні питання

1. Що таке твердість?
2. Суть методу вимірювання твердості за Бринелем.
3. Яка існує залежність між твердістю та міцністю сталі?
4. Що таке відносне видовження?
5. Що таке відносне звужування?
6. Що таке межа міцності?
7. Що таке межа текучості?
8. До якої групи властивостей металів належить твердість?
9. Що таке густина, як її визначають?
10. Які метали належать до групи легких?
11. Відбивання світла – фізична чи хімічна властивість металів?
12. Пластичність – притаманна металам чи солям?

Література: [3, с. 225–240; 4, с. 121–123; 6]

Практичне заняття 12. Зерно в сталі

Тема: визначення розміру зерна сталі.

Мета: ознайомлення з методикою визначення величини (номера) зерна металевих матеріалів за методом порівняння (ДСТУ 8972:2019 «Сталі та сплави. Методи виявлення та визначення величини зерна»).

Завдання до роботи: підготувати зразки сталі для дослідження, згідно ДСТУ 8972:2019 дослідити їх під мікроскопом, провести кількісну оцінку розміру зерна.

Приклади та матеріали: зразки сталі для дослідження; мікроскоп ММР, ДСТУ 8972:2019.

Порядок виконання роботи

Отримати у викладача контрольний зразок і визначити величину зерна методом візуального оцінювання і безпосереднім визначенням кількості зерен на одиниці площі досліджуваного зразка.

Метод візуального оцінювання. За цим методом величину зерна визначають порівнянням видимих під мікроскопом зерен з еталонною шкалою. З допомогою гвинтів горизонтального переміщення столика вибрати потрібну

ділянку на мікрошліфі та порівняти видимі під мікроскопом зерна з еталонною шкалою, вибрати ще дві ділянки і виконати підрахунки (отже, операцію повторити тричі).

Метод підрахунку перетинів границь зерен. Отримати світлини мікроструктури сталі у викладача.

За ДСТУ 8972:2019 на світлинах провести декілька відтінків (2–3) прямих ліній довжиною 100 мм, що відповідає довжині в 1 мм на мікрошліфі (при збільшенні 100[×]). Довжина відтінків має бути такою, щоб кожен з них перетинав не менше 10 зерен.

Підрахувати точки перетину відтінків прямих ліній з межами зерен. Зерна на кінці прямих, які ця пряма не перетнула повністю, рахують за одне зерно.

Визначити сумарну довжину відтінків L записану в міліметрах натуральної величини на шліфі, і сумарну кількість перетнутих зерен N . Для вимірювання вибрати п'ять місць на шліфі.

Підрахунок кількості перетинів рівноважних зерен провести в двох взаємно – перпендикулярних відтинках прямих, які проведені в кожному з п'яти місць шліфа.

Середній умовний діаметр зерна d_L в мм вираховують за наступною формулою:

$$d_L = \frac{L}{N},$$

де L – сумарна довжина відрізків, мм; N – загальна кількість зерен, які перетинають відрізки довжиною L .

Таблиця 12.1 – Розрахунок умовного діаметра рівновісних зерен (додаток 4 ДСТУ 8972:2019)

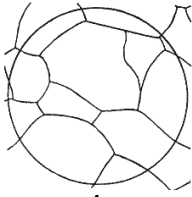
Кількість полів зору	Загальна кількість відтінків при $L = 0,6$ мм	Число перетинів в кожному полі зору на двох прямих					Загальна кількість перетинів	Середній умовний діаметр d_L , мм	Номер зерна (додаток 2 ДСТУ 8972:2019).
		1	2	3	4	5			
5	$5 \cdot 2 \cdot 0,6 = 6,0$	35	37	39	37	41	188	$6,0/188 = 0,0319$	7

В багатьох науково-дослідних лабораторіях використовується автоматизована система визначення розміру зерна, яка складається з мікроскопа, відеокамери, відеоластера і персонального комп'ютера.

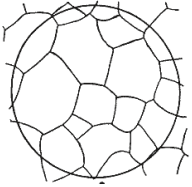
Шкали для визначення величини зерна показано на рис. 12.1

Збільшення 100

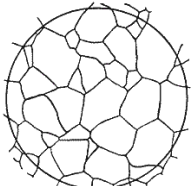
Шкала 1 (номер зерен 1–6)



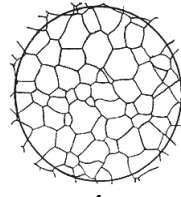
1



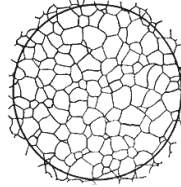
2



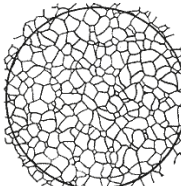
3



4

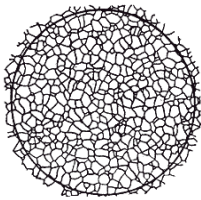


5

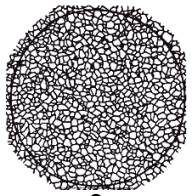


6

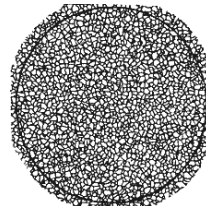
Шкала 1 (номер зерен 7–10)



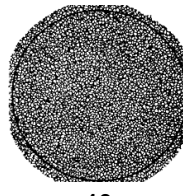
7



8



9



10

Рис. 12.1 – Шкали для визначення величини зерна

Контрольні питання

1. Що таке зерно сталі?
2. Як визначають умовний діаметр зерна?
3. Яке збільшення мікроскопа використовують при визначенні умовного діаметра зерна?
4. Як розмір зерна впливає на властивості сталі?
5. Яка сталь має кращі механічні характеристики – дрібнозерниста чи грубозерниста?
6. Якщо бал зерна 3 – сталь грубозерниста чи дрібнозерниста?
7. Якщо бал зерна 8 – сталь дрібнозерниста чи грубозерниста?

Літературна: [3, с. 159–170; 4, с. 45–50; 5; 6; 8]

Практичне заняття 13. Прилади для термічної обробки

Тема: ознайомлення з методами та приладами для вимірювання температури в агрегатах для термічної обробки.

Мета: вивчити принцип роботи та конструкцію приладів для вимірювання температури при проведенні операцій термічної обробки.

Завдання до роботи: навчитись користуватись приладами для вимірювання температури.

Інструменти та матеріали: технічна документація на прилади для вимірювання температури; оптичний пірометр; термопари.

Порядок виконання роботи

За методичними матеріалами та довідниками вивчити принцип дії термопар та пірометрів. Виміряти температуру нагрітого сплаву олова з цинком за допомогою термопари. За допомогою оптичного пірометра виміряти температуру в електронній печі для проведення термічної обробки.

Контрольні питання

1. Призначення пірометрів.
2. Чим оптичний пірометр відрізняється від радіаційного?
3. Якщо яскравість розжарення нитки лампочки оптичного пірометра і нагрітого тіла збігаються, то це означає ...?
4. Будова термоелектричного пірометра.
5. Чому термопари виготовляють з дротів різного хімічного складу?
6. Навіщо термопару під'єднують до гальванометра?

Література: [3, с. 87–91; 4, с. 55–65; 6]

Практичне заняття 14. Фізичні методи в матеріалознавстві

Тема: термічний аналіз металів та сплавів

Мета: ознайомитись з методикою проведення термічного методу аналізу металів та сплавів.

Завдання до роботи: побудувати криву охолодження заданого сплаву; за даними термічного аналізу побудувати криву охолодження заданого сплаву; знайти критичні точки; зробити аналіз кривої охолодження; пояснити всі процеси, що відбувались на кожній ділянці кривої охолодження.

Прилади та інструменти: установка для термічного аналізу; сталевий тигель із заданим сплавом системи «Sn–Zn» (до 200 г); секундомір.

Порядок виконання роботи

Лаборант використовуючи установку для термічного аналізу (рис. 14.1) має покласти в тигель 2, який розміщено в тигельній електропечі 1, 100–150 г зразків металу (свинцю, сурми чи олова) 3. Увімкнути піч і розплавити в тиглі метал. На поверхню розплавленого металу насипати шар товченого деревного вугілля для запобігання окиснення металу. Закрити тигель кришкою.

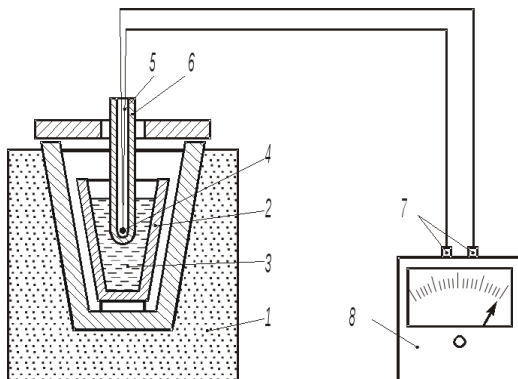


Рис. 14.1 – Схема установки для термічного аналізу:

1 – електропечь; 2 – тигель; 3 – розплав; 4 – гарячий спай термопари;
5 – термопара; 6 – кожух термопари; 7 – затискні клемми; 8 – мілівольметр

Через отвір в кришці в розплавлений метал занурити гарячий спай термопари 4, холодний спай термопари має бути приєднаний до гальванометра 8. Вимкнути піч.

Здобувачі мають ознайомитись з конструкцією установки для проведення термічного аналізу, вивчити призначення кожного елемента. Вони починають працювати, коли метал в тиглі розплавлений і піч вимкнута. Метал

оохолоджується разом з піччю. З моменту початку оохолодження фіксують показники мілівольметра. З присутніх здобувачів формуються підгрупи з трьох осіб, яким видається завдання: визначити температуру кристалізації конкретного сплаву.

Кожен з цієї підгрупи має відповідати за певну ділянку роботи: один має слідкувати за секундоміром і оголошувати момент зняття показань з мілівольметра кожних 30 с; другий – має слідкувати за показниками мілівольметра і озвучувати їх за командою першого здобувача; третій – записує показники в таблицю 14.1. Записи закінчити через 2–3 хвилини після повного оохолодження металу. Після закінченню процесу вимірювання, здобувачі будують криву оохолодження, описують кожен ділянку кривої.

Таблиця 14.1. Результати термічного аналізу

№ з/п	Час, с	Показники мілівольметра	Температура, °С
1	0		
2	30		
3	60		
...
<i>n</i>	<i>n</i>	<i>n</i>	<i>n</i>

Контрольні питання

1. Суть термічного аналізу металів і сплавів.
2. Конструкція установки для проведення термічного аналізу.
3. В яких координатах будуються криві оохолодження?
4. Що показує крива оохолодження?
5. Основні ділянки кривої оохолодження чистих металів, їх фізичний зміст.
6. Що таке критична точка?
7. Чим відрізняється крива оохолодження чистого металу від кривої оохолодження сплаву?

Література: [3, с. 225–235; 4, с. 121–123; 6]

Практичне заняття 15. Основи спектрального аналізу

Тема: спектральний аналіз.

Мета: ознайомитись з фізичними основами та методикою проведення спектрального аналізу.

Завдання до роботи: вивчити фізичні основи спектрального аналізу та принцип роботи спектроскопу і стилоскопу.

Інструменти та матеріали: навчальні посібники; світлини спектрів; прилад «Спектроскан» та технічна документація на прилад.

Порядок виконання роботи

Використовуючи підручники, методичні видання вивчити теоретичні основи спектрального аналізу. На світлинах розглянути та вивчити спектри елементів одержані на стилоскопі. За технічною документацією вивчити принципи дії та методику проведення аналізу на рентгенівському флуоресцентному приладі «Спектроскан».

Контрольні питання

1. Суть спектрального аналізу.
2. Що таке спектр?
3. Види спектрів.
4. З якою метою використовують стилоскопи?
5. З якою метою використовують спектроскопи?

Література: [3, с. 9–12; 4, с. 45–50; 6; 9]

Практичне заняття 16. Легуючі елементи в сталях

Тема: історія розробки легованих сталей.

Мета: ознайомитись з історією введення легуючих легувальних елементів в сталі та їх впливом на властивості сталі.

Завдання до роботи: вивчити історію відкриття та застосування в якості легуючих таких елементів як хром, нікель, титан, ванадій, вольфрам, марганець. Які основні властивості сталей змінюють ці елементи.

Інструменти і матеріали: довідникові матеріали; нормативні документи на леговані сталі:

- ДСТУ 7806:2015 «Прокат из легированной конструкционной стали. Технические условия»;
- ДСТУ ISO 683–17:2008 «Підшипникові сталі»;
- ГОСТ 5950–2000 Инструментальная легированная сталь. «Прутки и полосы из инструментальной легированной стали. Технические условия»;
- ГОСТ 19265–73 Инструментальная быстрорежущая сталь. «Прутки и полосы из быстрорежущей стали. Технические условия»;
- ГОСТ 5632–72 «Стали высоколегированные и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные». Марки.

Порядок виконання роботи

До заняття з Інтернету та літературних джерел дізнатись історію легування сталі. На занятті ознайомитись з нормативними документами на леговані сталі:

– ДСТУ 7806:2015 «Прокат из легированной конструкционной стали. Технические условия»;

– ДСТУ ISO 683–17:2008 «Підшипникові сталі».

За ДСТУ 7806:2015, ДСТУ ISO 683-17:2008 визначити, в якій кількості вводять основні легуючі елементи в сталі спеціального призначення.

Порівняти властивості сталей 40 і 40ХНМА та 40Х13; сталі 20 та 20ХН3А; У9 та ШХ9.

У звіт з роботи записати рік впровадження основних легуючих елементів – хрому, нікелю, титану, ванадію, вольфраму, марганцю у виробництво сталі.

3 нормативних документів записати: в якій кількості вводять в сталі хром, нікель, титан, ванадій, вольфрам, марганець; показники міцності для сталей 40, 40ХНМА, 40Х13, сталі 20, 20ХН3А, У9 та ШХ9.

Зробити висновки про вплив легуючих елементів на властивості сталі.

Контрольні питання

1. Які сталі називають легованими?
2. Чим леговані сталі відрізняються від вуглецевих?
3. Як маркують леговані сталі?
4. В якій кількості вводять марганець, якщо ним легують сталь?
5. Чи достатньо ввести в сталь 0,1 % ванадію, щоб вона називалась легованою?
6. Чи достатньо ввести в сталь 0,5 % марганцю, щоб вона називалась легованою?
7. Скільки хрому має бути в сталі, щоб вона була зносостійкою?
8. Чому відповідальні деталі автомобілів виготовляють з ванадієвих сталей?
9. Яких властивостей сталям надає вольфрам?
10. Які легуючі елементи додають до корозійностійких сталей?
11. До складу яких сталей вводять титан і чому?
12. Як змінює властивості сталі нікель?
13. За стандартами запишіть, скільки хрому містять корозійностійкі сталі.
14. За стандартами запишіть, скільки хрому містять шарикопідшипникові сталі.
15. Які незвичайні властивості надає сталям марганець?
16. Чим особливою є сталь Гадфільда?
17. Як змінює властивості сталевих виробів алюміній?

Література: [1, с. 34–413; 6]

Література

1. Дробот О. С. Історія інженерної діяльності та виробниче навчання: методичні вказівки до практичних занять для студентів інженерно-технічних спеціальностей / О. С. Дробот. – Хмельницький : ХНУ, 2018. – 46 с.
2. Дробот О. С. Макро- і мікроструктура металів та сплавів / О. С. Дробот, О. П. Бабак, О. О. Нікітін. – Вид. 2-ге, випр., допов. – Хмельницький : ХНУ, 2016. – 55 с.
3. Богомолова Н. А. Практическая металлография / Н. А. Богомолова. – М. : Высш. школа, 1978. – 272 с.
4. Пилюшенко В. Л. Справочник по практическому материаловедению / В. Л. Пилюшенко, Б. Б. Винокур, С. Е. Кондратюк. – Київ : Техніка, 1984. – 135 с.
5. Ткач В. П. Справочник по химии : справ. пособ. / В. П. Ткач, А. И. Шаповалов. – Київ : Радянська школа, 1980. –143 с.
6. ДСТУ 8972:2019 «Сталі та сплави. Методи виявлення та визначення величини зерна» (на заміну ГОСТ 5639–82). – Чинний від 2021–01–01. – Київ : Держспоживстандарт України, 2019.
7. <https://mirnovogo.ru/zhelezo/>.
8. Металознавство та обробка металів : щоквартальний рецензований науковий журнал Фізико-технологічного інституту металів та сплавів НАН України. – URL: <http://dspace.nbuiv.gov.ua/handle/123456789/14051>

Історія виникнення науки про метали

1. Історична довідка. Ранні етапи розвитку цивілізації називають в залежності від матеріалу, який використовувала людина : кам'яна доба, бронзова, залізна.

Камінь, як матеріал для виготовлення найпростіших знарядь праці та зброї почали використовувати понад 300 тис. років тому, виробництво керамічних матеріалів (виробів з випаленої глини) виникло понад 30 тис. років тому. До періоду неоліту належать перші спроби обробки у (у VIII тисячолітті до н.е. було освоєне декоративне кування та карбування самородної міді) та плавлення металів (приблизно у V тисячолітті до н.е. навчилися виплавляти мідь з малахіту та лазуриту і виливати предмети різної форми) за 3,5 тис. років до н.е. почали виплавляти залізо, придатне до використання з декоративною метою .

Приблизно 3 тис тому увійшов у вжиток перший відомий металевий сплав – бронза. У IX–VII ст. до н.е. винайдено спосіб виробництва сталі і приблизно у III ст. до н.е. розроблена технологія розливання сталі у виливниці, що поклало початок сучасної металургії.

У I тисячолітті до н.е. металурги Індії виготовляли булат – високоуглецеву сталь, яка мала композитну будову. Булат (вуц) у 1828 г. дослідив Аносов. У II тисячолітті до н.е. в Китаї отримували Дамаську сталь багаторазовим куванням заліза, що підвищувало його твердість, міцність. На території Ірану, Персії, Індії за 6 тис. років до н.е. виробляли булатну сталь. У 1200 р. до н.е. з'явилась лита зброя. У 1828 запрацював перший прокатний стан.

2. Задаємо наших пращурів. Камінь як природний матеріал використовувався людиною для виготовлення знарядь праці, але вони були крихкі і недовговічні.

Приблизно 4–5 тис. років тому, комусь до рук потрапив зелений камінь (мідь), і цей камінь оброблявся значно краще ніж інші, досить швидко набував потрібної форми і його поведінка не була схожа на поведінку каменю, перш за все, він не руйнувався під ударами.

Сучасні дослідники оцінили на скільки ефективним для людини стало використання міді замість каменю. Група дослідників в наші часи виготовила сокири, ножі, свердла з каменю та міді. З'ясувалось, що зрубати дерево мідною сокирою у три рази швидше, ніж кам'яною, мідний ніж працює у 6–7 разів ефективніше за кам'яний, а березове поліно, мідне свердло просвердлило у 22 рази швидше, ніж кам'яне.

3. Визначення та характеристика ливарних дефектів. Усадочні раковини (відкриті чи закриті порожнини довільної форми з грубою шорсткою поверхнею іноді окисленою, що знаходяться в тілі виливка) утворюються внаслідок нерівномірної усадки металу при твердінні у верхній частині злитка чи потовщених ділянках виливка, де метал твердне в останню чергу.

Рихлота – місцеве скупчення дрібних усадочних раковин у грубозернистій структурі металу (часто зустрічається над усадочною раковиною).

Пористість – місцеве скупчення дрібних газових чи усадочних раковин. Газова пористість має місце у великому об'ємі виливка і в окремих його ділянках. Усадочна пористість може бути продовженням підусадочної рихлості і знаходиться під усадочною раковиною.

Ліквацийні зони – з нерівномірним хімічним складом металу в тілі виливка. Причина ліквациї – різна температура твердіння чистого металу і присутніх домішок.

Різновидом зональної ліквациї є підусадочна ліквация, яка розміщена під усадочною раковиною виливка, яка збагачена вуглецем, і домішками (сірка, кисень, фосфор). На мікрошліфі видно скупчення сульфідів і оксидів.

Газові пузири. Чи раковини в литому металі – округлі (овальні, витягнуті) порожнини з чистою і гладкою поверхнею, іноді окисленою

Внутрішні пузири та підкоркові. Внутрішні пузири утворюються в об'ємі злитка в спокійній сталі переважно у верхній частині злитка, а в кип'ячій сталі – по висоті і перерізу злитка.

Шлакова раковина – порожнина заповнена шлаком. Піщана раковина – порожнина заповнена формувальним матеріалом.

Поверхнєве окислення (загар, горіння) для магнієвих сплавів – суцільна окисна плівка чорного чи сірого кольору; окремі чи групові раковини, заповнені порошком чорного кольору чи сірого; наростів – (грибків) чорного кольору.

Неметалеві включення. Корочки – забруднення неметалевими включеннями – розміщені в об'ємі злитка чи біля поверхні, можуть бути світлими чи темними. Темна зона погано полірується, активно травиться. Світла кірка – в нижній частині злитка, має вигляд світлих стрічок, що обмежені неметалевими включеннями.

Металеві включення – чужорідні тіла в основному металі – це може бути нерозплавлений легуючий компонент, модифікатор тощо.

Корольок – металеве включення того ж складу, що і виливок. Включення оточене металом повністю.

Утяжина – заглиблення з пологими краями на масивному виливку. Утворюється внаслідок усадки металу при твердінні. Під утяжиною можуть знаходитись внутрішні дефекти.

Плени – плівки на поверхні чи в середині виливка, які складаються з окислів іноді з формувальної суміші. До утворення плен схильні леговані сталі. Легуючі елементи хром, алюміній, титан, утворюють окислі, які в металі не розчиняються і утворюють на поверхні тугоплавку щільну плівку. При zalиванні металу окремі шматки плівки осідають в різних частинах виливка.

Оксидний спай – порушення щільності виливка у вигляді не злитих потоків металу, розділених плівкою, виникає в тонких перерізах виливка.

Пригар – кірка з формувальної суміші, просочена металом.

Термічні тріщини – глибокі розриви поверхні виливка. Поверхня злому розкритої тріщини – дрібнозерниста, окислена. Виявляються в виливках після термічної обробки. Причина – високі внутрішні напруження розтягу, які за знаком співпадають з залишковими напруженнями.

Міжкристалічні тріщини – тонкі порушення щільності, які утворюються на межах кристалів при низькій міцності цих границь, присутність на границях неметалевої фази та елементів, що схильні до ліквідації, сприяє цьому.

4. Дефекти прокатного виробництва. Штампувальні тріщини (гарячого деформаційного походження) мають хвилястий вигляд. Характерною структурною ознакою такої тріщини є об'єднання легуючими елементами матеріалу деталі в зоні її порожнин, які на мікрошліфах проявляються у вигляді білих стрічок, що не травляться, які знаходяться по краю тріщини.

Тріщини напруження – це тріщина, яка направлена вглиб металу часто під прямим кутом до поверхні. Тріщина утворюється внаслідок об'ємних змін, що відбуваються під дією структурних перетворень під час нагрівання чи охолодження металу.

Тріщини бувають гарячі та холодні.

Гарячі тріщини виникають у виливках, у процесі кристалізації при температурах, близьких до температури солідуса, внаслідок досягнення усадочними напруженнями меж міцності металу. Поверхня тріщин сильно окиснена. Знизити чи попередити їх утворення можна використанням податливої ливарної форми, використанням більш технологічної конструкції виливка, використанням сплавів, які мають більш високу межу міцності при температурах утворення тріщин.

Холодні тріщини – утворюються при температурах для сталі нижчих 620–650 °С, для чавуна 400–650 °С – температурах переходу металу з області пластичних деформацій в область пружних. Тріщини мають прямолінійний профіль, можуть мати окислену чи не окислену поверхню. Руйнування відбувається по границям зерен та по тілу зерна. Причиною появи холодних тріщин є внутрішні напруження – термічні, фазові, які спричиняються зміною об'єму. Для попередження утворення холодних тріщин потрібно створювати умови для рівномірного охолодження всіх ділянок виливка.

5. Дефекти сталевих злитків, причини їх виникнення та рекомендації до запобігання їх утворенню. Головна усадочна раковина. Порожина у верхній частині злитка виникає внаслідок усадки сталі. Причиною виникнення є прискорене охолодження головної частини злитка.

Запобігти дефекту можна якщо уповільнити охолодження головної частини злитка використанням додатку виливниці.

Газові пухирі. Мають вигляд заглибин або порожнин, які розміщуються поблизу поверхні злитків кип'ячої чи напівпокоїної сталі. Причиною їх виникнення є недостатнє видалення газів перед розливанням.

Запобігти дефекту можна проведенням повного розкиснення сталі.

Пухирі сотові (соту). Газові пузири, розміщені поблизу поверхні злитків кип'ячої чи напівспокійної сталі, на поверхню не виходять (не є дефектом).

Розшарування однорідного листа на шари, які мають поздовжнє розміщення, чітко проявляються у поперечному перерізі або виходять на край листа.

Причиною виникнення їх є залишки розкатоної усадочної раковини. Запобігти дефекту можна більш повною обрізкою частини злитка з усадочною раковиною.

Неметалеві включення. Шлакові включення, включення вогнетривів, кристали оксидів, нітридів, сульфідів різної форми та розмірі.

Утворюються внаслідок фізико-хімічних процесів при одержанні сталі, досліджуються на мікрослїфах до травлення. Іноді виявляються на поверхні заготовки під час або після механічної обробки.

Запобігти дефекту можна використанням якісних вогнетривів, проведенням технологічних заходів для зменшення попадання їх в сталь.

Флокени – білі плями. Дефекти сталі, які виявляються переважно на поверхні злому металу після обтискання у вигляді блискучих ділянок металевої поверхні (світлі плями). На протравлених слїфах виявляються у вигляді внутрішніх тріщинок хвилястих окреслень. Причиною їх виникнення є прискорене охолодження від 800 °С, коли водень не встигає виділитись із кристалічної решітки заліза і при температурах 100–200 °С зумовлює виникненню значних внутрішніх напружень, які викликають появу тріщин. Запобігти появі тріщин можна уповільненим охолодженням заготовок після кування.

Розшарування. Тріщини у вигляді розшарування, має місце у листовому прокаті. Ці розшарування металу виникають при наявності залишків усадочної раковини, газових пузирів, неметалевих включень.

Попередити їх перед куванням неможливо і усунути також.

Зональна ліквіація. Хіміко-фізична неоднорідність сталі в окремих зонах злитка. Проявляється у значному коливанні вмісту вуглецю, сірки і фосфору, а також скупчень газів і неметалевих включень в окремих зонах злитка.

Дендритна ліквіація. Хіміко-фізична неоднорідність сталі, яка проявляється в збагаченні міждендритних проміжків компонентами сталі, а також в скупченнях в них неметалевих включень.

Ендогенні неметалеві включення. Речовини неметалевого характеру, які утворюються внаслідок хіміко-фізичних процесів під час плавки, розливання та кристалізації сталі. На полірованому слїфі такі включення видно неозброєним оком або під лупою.

Екзогенні неметалеві включення. Часточки вогнетривів, шлаку, піску та інших неметалевих речовин, які попадають в сталь під час її виплавки та розливання. За розміром вони більші ніж ендогенні і на полірованому слїфі їх видно неозброєним оком.

6. Склад реактивів для проведення макро- та мікроструктурного аналізу. Для *глибокого* травлення рекомендують реактиви, які використовують при проведенні макроаналізу злитків та прокату (табл. А.1).

Таблиця А.1 – Реактиви для глибокого травлення.

Галузь використання	Склад реактиву, мл			
	HCl з густиною 1,1	HNO ₃	K ₂ Cr ₂ O ₇	Вода
Сталі: конструкційні, інструментальні, нержавіючі хромисті (до 18 % Cr)	1000	–	–	1000
Нержавіючі хромисті (більше 18 % Cr) і аустенітні	1000	100	250	1000

Травлення проводять при 60–70 °С протягом 15–40 хв. Для освітлення поверхні шліф промивають водою, а потім 10–15 % розчином азотної кислоти. Високохромисті нержавіючі і аустенітні сталі освітлюють водним розчином : 100 мл H₂SO₄ і 50 г хромпику в 1000 мл води.

Реактиви поверхневого травлення більш прості у використанні і є поширеними для мікроаналізу низько-і середньо вуглецевих сталей.

Реактив Гейна має такий склад: 85 г CuCl₂ і 53 г NH₄Cl на 1000 мл води. Промитий спиртом макрошліф на 30–60 с. занурюють в реактив шліфованою поверхнею. Внаслідок обмінної реакції залізо витісняє з реактиву мідь, і вона осідає на поверхні шліфа. В місцях наявності пор, тріщин, неметалевих включень обмінна реакція не відбувається повільно, і ці ділянки, які погано захищені міддю, протравлюються. Після цього макрошліф промивають струменем води, знімаючи при цьому ваткою шар міді.

Для **макроаналізу кольорових металів** використовують інші реактиви. Для мідних сплавів використовують 10–20 % розчин персульфату амонію, 10 % розчин перекису водню в насиченому водному розчині аміаку, розчин хлорного заліза (10 г) і соляної кислоти (30 г) у воді (120 мл).

Алюмінієво-мідні сплави травлять 10–5 % водним розчином їдкого натру. Макрошліф витримують в реактиві до утворення на поверхні темної плівки, а потім промивають водою. Для зняття плівки макрошліф занурюють на 1–2 с у 50 % розчин азотної кислоти (з густиною 1,5). Залишки кислоти видаляють промиваючи зразок у окропі.

Дуралюміні травлять реактивом: соляна кислота (з густиною 1,19) – 40 мл, азотної кислоти (з густиною 1,5) – 40 мл і плавикової кислоти (10 мл) в об'ємі води 150 мл. Реактив діє швидко, тому промивку і просушування зразка виконують швидко.

Будову литої сталі виявляють травленням 15 % водним розчином персульфату амонію, нагрітого до 80–90 °С протягом 5–10 хв для вуглецевої сталі і трохи довше для легованої. Макрошліф спочатку занурюють на 1–2 хв у 5 % розчин азотної кислоти (густина 1,4), після чого механічним шляхом знімають утворену плівку і на 2–3 хв шліф занурюють в холодний 15 % розчин персульфату амонію.

Смужкуватість добре виявляється реактивом, який містить 85 г CuCl₂, 53 г NH₄Cl і 1000 мл H₂O. Травлять шліфи зануренням поверхні у реактив на 30–60 с. Ділянки (стрічки), де є зосереджені неметалеві чи газові включення, травляться сильніше. Після травлення шліф промивають водою,

змиваючи ватним тампоном осаджену мідь. Стрічки, які містять підвишену кількість вклучень, мають більш темний колір.

7. Спектроскопія. Кірхгоф (1861) розробив конструкцію приладу – *спектроскопа*, який дозволяв розкласти полум'я на складові. Винахід Кірхгофа дозволяв визначити хімічний склад будь-якої речовини, навіть Сонця та зірок з такою ж точністю, як визначають в лабораторії сульфати чи хлориди.

Наприклад, дослідники Кірхгоф та Роберт Бунзен змогли визначити наявність *літію* в 20 г морської води. Як писав Бунзен « якщо у вас є суміш, яка складається з літію, натрію, калію, барію, стронцію, кальцію, достатньо дати 1 мг для досліджень на спектроскопі, щоб визначити наявність всіх цих елементів».

В 1860 році в лабораторію Бунзена від лікарів шварцвальдських джерел надійшли зразки мінеральної води, яка мала лікувальні властивості, за проханням визначити її склад. В ньому був секрет лікувальних властивостей цієї джерельної води. Бунзен випарив воду, а те що залишилось спалив у полум'ї пальника. Полум'я під час горіння досліджувалось на спектроскопі. В спектрі чітко було видно характерні лінії натрію, кальцію, літію. Присутніми були ще дві лінії блакитного кольору. Ні одному з відомих на той час елементів вони не належали. Отже, виявлено новий елемент, його назвали «цезій», в перекладі з латинської *блакитний* (небесний).

В джерельній воді цезій знаходиться дуже в малій кількості. Бунзену для того, щоб добути декілька грамів цього металу потрібно було випарити 40 тон води.

Завдяки спектральному аналізу в період з 1861 по 1923 роки було відкрито 25 нових елементів, передбачених Д. І. Менделєєвим (рис. А.1) на основі його періодичного закону.

Періодична система хімічних елементів (коротка форма)																		
Періоди	Групи елементів																	
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	http://vkurok.ru/									
1	H 1 1,00794																	He 2 4,00
2	Li 3 6,94	Be 4 9,01	B 5 10,81	C 6 12,01	N 7 14,00	O 8 15,99	F 9 18,99	Ne 10 20,18	Паралельний вимір									
3	Na 11 22,99	Mg 12 24,30	Al 13 26,98	Si 14 28,08	P 15 30,97	S 16 32,06	Cl 17 35,45	Ar 18 39,95	Назва елементів елементарних									
4	K 19 39,09	Ca 20 40,08	Sc 21 44,96	Ti 22 47,88	V 23 50,94	Cr 24 51,99	Mn 25 54,94	Fe 26 55,85	Co 27 58,93	Ni 28 58,69	Ферум							
5	Rb 37 85,47	Sr 38 87,62	Y 39 88,90	Zr 40 91,22	Nb 41 92,90	Mo 42 95,94	Tc 43 98,90	Ru 44 101,07	Rh 45 102,90	Pd 46 106,42	Нікель							
6	Cs 55 132,90	Ba 56 137,33	La 57 138,90	Ce 58 140,90	Pr 59 140,90	Nd 60 144,24	Pm 61 (144,91)	Sm 62 150,36	Eu 63 151,96	Gd 64 157,25	Tb 65 158,92	Dy 66 162,50	Ho 67 164,93	Er 68 167,26	Tm 69 168,93	Yb 70 173,04	Lu 71 174,96	
7	Fr 87 [223]	Ra 88 [226]	Ac 89 [227]	Th 90 [232]	Pa 91 [231]	U 92 [238]	Np 93 [237]	Pu 94 [244]	Am 95 [243]	Cm 96 [247]	Bk 97 [247]	Cf 98 [251]	Es 99 [252]	Fm 100 [257]	Md 101 [258]	No 102 [259]	Lr 103 [260]	
Лантаноїдний ряд	R₂O RO R₂O₃ RO₂ R₂O₅ RO₃ RO₄																	
Легкі водні розчини	RH₄ RH₃ H₂R HR																	

Рис. А.1 – Таблиця хімічних елементів Д. І. Менделєєва

Зміст

Вступ	3
Практичне заняття 1. Що вивчає наука «Матеріалознавство».....	4
Практичне заняття 2. Дослідження історії одержання чавуну і сталі	6
Практичне заняття 3. Дефекти сталевих злитків.....	8
Практичне заняття 4. Макроструктурний аналіз сталей.....	8
Практичне заняття 5. Виявлення ліквациї сірки в сталях.....	10
Практичне заняття 6. Фрактографічний аналіз	11
Практичне заняття 7. Мікроструктурний аналіз	12
Практичне заняття 8. Методика проведення мікроструктурного аналізу.....	17
Практичне заняття 9. Мікроструктурний аналіз сталей та сірих чавунів	18
Практичне заняття 10. Дослідження неметалевих включень в сталі.....	19
Практичне заняття 11. Визначення механічних та фізичних властивостей металів і сплавів	20
Практичне заняття 12. Визначення розміру зерна сталі	22
Практичне заняття 13. Ознайомлення з методами та приладами для вимірювання температури в агрегатах для термічної обробки сталі.....	25
Практичне заняття 14. Термічний аналіз металів та сплавів.....	26
Практичне заняття 15. Спектральний аналіз	27
Практичне заняття 16. Дослідження історії розробки легованих сталей.....	28
Література	30
Додаток А	31