

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

**Кафедра матеріалознавства та ливарного
виробництва**

**ФІЗИКО – ХІМІЧНИЙ АНАЛІЗ
ОБ'ЄКТІВ ІСТОРИКО -
КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ**

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ
ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ
для студентів спеціальності В9 Історія та археологія**

**ОСВІТНЬО – НАУКОВА ПРОГРАМА «Історія матеріальної
культури та експертиза об'єктів історичної спадщини»**

Галузь знань – В Культура, мистецтво та гуманітарні науки

Ступінь вищої освіти - магістр

Кропивницький 2025

Фізико - хімічний аналіз об'єктів історико-культурної спадщини. Методичні рекомендації до виконання практичних занять для студентів спеціальності спеціальності В9 Історія та археологія / Укл. Кузик О.В., Кропівна А.В. – Кропивницький, ЦНТУ, 2025. - 50 с.

Укладачі:

Кузик Олександр Володимирович, к.т.н., доцент, завідувач кафедри матеріалознавства та ливарного виробництва;

Кропівна Альона Володимирівна, к.т.н., доцент кафедри матеріалознавства та ливарного виробництва.

Затверджено на засіданні кафедри матеріалознавства та ливарного виробництва ЦНТУ (Протокол № 1 від 29 серпня 2025 р.)

ВСТУП

До завдань археологічної науки відноситься процес реконструкції подій минулого за матеріальними залишками. Терміном «артефакт» в археології позначають продукти людської діяльності, об'єкти матеріальної культури, що містять у собі певний зміст інформації про минуле: знаряддя праці, зброя, одяг, посуд, гроші, прикраси, предмети культу й поклоніння тощо. Існує декілька підходів до класифікації речових джерел, зокрема за функціональним призначенням, за характером матеріалу та за походженням. Речові джерела або пам'ятки матеріальної культури є невід'ємною складовою історико-культурної спадщини.

Вагомою складовою археологічного дослідження є камеральні (кабінетні) дослідження. Пояснення минулого має ґрунтуватися на ретельному вивченні археологічних артефактів, процесів їх виготовлення та використання. Після отримання і опису археологічних знахідок розпочинається проведення комплексу наукових досліджень для отримання розширеної інформації про історію створення та використання певного об'єкта. На основі дослідження фрагментів битого скла, кераміки, металевих виробів (знарядь праці, зброї, прикрас), монет та інших речових джерел виготовлених в певному місці, але знайдених в іншому, встановлюються давні торговельні шляхи.

Аналіз історичних артефактів передбачає вивчення хронології їх створення, елементного складу та структури, визначення походження сировини і технології виробництва з відповідним статистичним опрацюванням. Інформація про структуру матеріалів і технологію виготовлення об'єктів історико-культурної спадщини може дати уявлення про дату їх створення, місце походження та ймовірне використання. Визначення кількісного хімічного складу артефакту може бути основою для визначення віку об'єктів, а також підказкою щодо їхнього походження та джерел сировини, з яких були виготовлені металеві, керамічні чи скляні вироби. Комплексне вивчення археологічних об'єктів із залученням природничо-наукових підходів стає провідною тенденцією у розвитку сучасних археологічних досліджень. Це саме стосується і ряду спеціальних галузей історичної науки, зокрема, нумізматики та сфрагістики.

Основною метою навчальної дисципліни «Фізико - хімічний аналіз об'єктів історико-культурної спадщини» є формування у студентів компетентностей щодо використання фізико - хімічних природничих лабораторних методів археологічних досліджень. Навчальна дисципліна «Фізико - хімічний аналіз об'єктів історико-культурної спадщини» спрямована на формування у студентів знань щодо:

- фізико – хімічних методів лабораторних досліджень різних видів історичних артефактів;

- вибору фізико – хімічних методів для проведення досліджень історичних артефактів з обраної теми;
- особливостей збору історичних артефактів та взяття зразків для подальших досліджень за допомогою фізико – хімічних методів;
- отримання об'єктивних результатів досліджень історичних артефактів на основі застосування фізико – хімічних методів аналізу;
- практичних навичок для успішної роботи по охороні та використанню пам'яток історії та культури України.

Використання для проведення досліджень сучасного аналітичного обладнання дозволяє отримувати розширені обсяги інформації від кожного досліджуваного артефакту, який було знайдено археологами у попередні періоди. Музейні працівники цікавляться складом старовинних металевих предметів для вирішення таких практичних проблем, як визначення автентичності старовинних артефактів. У науковій літературі описується значна кількість результатів фундаментальних фізико – хімічних досліджень історичних артефактів, але складно знайти опис сутності цих методів та інтерпретацію їх результатів на рівні доступному для студентів – гуманітаріїв з метою виконання аналітичних процедур чи використання результатів таких аналізів у своїх дослідженнях. В навчальному посібнику приведено короткий огляд положень, знання яких допоможе молодим дослідникам, насамперед магістрантам, які не мають глибоких знань з хімії та фізики зорієнтуватися у масиві наукових публікацій, розібратися у загальній проблематиці вивчення історичних артефактів. Розглянуто підходи, методи та оригінальні методики дослідження, а також технології виробництва історичних артефактів. Правильна ідентифікація та точний кількісний аналіз металів і сплавів, з яких виготовлено стародавні предмети, часто ускладнюється проблемами, які не зустрічаються при дослідженні сучасних металів і сплавів. Стародавні металеві предмети майже завжди піддаються значній корозії, а тривале перебування у захороненому стані суттєво змінює їх хімічний склад. Матеріали, з яких виготовлено історичні артефакти, часто складно ідентифікувати візуально. Дослідження внутрішньої будови також може бути дуже важливим для документування історичних артефактів, стратегії їх збереження або консервації.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 1

Вивчення Законів України «Про музеї та музейну справу», «Про охорону культурної спадщини» та «Про охорону археологічної спадщини»

Мета роботи - ознайомлення із основними положеннями Законів України «Про музеї та музейну справу», «Про охорону культурної спадщини» та «Про охорону археологічної спадщини»

1.1. КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Музеї відіграють надзвичайно важливу роль у збереженні культурної спадщини, розвитку освіти та формуванні національної ідентичності. В Україні музейна справа є невід'ємною частиною суспільного життя.

До основних напрямів діяльності музеїв належать: формування музейного фонду, збереження музейних предметів, наукове опрацювання фондів, експозиційна та виставкова діяльність, освітня й культурно-просвітницька робота, науково-дослідницька діяльність, популяризація спадщини. Ця робота чітко регламентується законодавством України.

29 червня 1995 року Верховна Рада України ухвалила Закон України «Про музеї та музейну справу» — нормативно-правовий акт, що визначає загальні засади створення та діяльності музеїв України, порядок наукового формування, обліку, зберігання, охорони й використання Музейного фонду України. Закон визначив правові засади функціонування музеїв, гарантував захист музейних колекцій і став основою для збереження, розвитку та популяризації національної культурної спадщини.

Музеї України — це активно діючі установи, де зберігається історична пам'ять, осмислюється сучасність і формується майбутнє. Розвиток музейної справи свідчить про рівень культурної зрілості суспільства, підтримка та модернізація українських музеїв — це інвестиція в національну ідентичність, освіту і безпеку нашої держави.

Найважливішим напрямом роботи в умовах сучасної війни залишається розробка стратегій з охорони та евакуації колекцій, створення безпечних сховищ і забезпечення психологічної підтримки для працівників.

Закон України «Про музеї та музейну справу» — нормативно-правовий акт, що регулює суспільні відносини у сфері музейної справи, визначає правові, економічні, соціальні засади створення і діяльності музеїв України та особливості наукового формування, вивчення, обліку, зберігання, охорони і використання Музейного фонду України, його правовий статус.

Закон України «Про музеї та музейну справу» містить такі розділи:

I. Загальні положення.

II. Види музеїв. Порядок створення і матеріальна база музеїв.

111. Музейний фонд України.

IV. Міжнародна діяльність музеїв.

V. Управління і самоврядування музеїв, гарантії прав і законних інтересів їх працівників.

VI. Відповідальність за порушення законодавства України про музеї та музейну справу.

Основними напрямками діяльності музеїв є науково-дослідна, культурно-освітня діяльність, комплектування музейних зібрань, експозиційна, фондова, видавнича, реставраційна, виставкова, пам'яткоохоронна робота, а також діяльність, пов'язана з науковою атрибуцією, експертизою, класифікацією, державною реєстрацією та усіма видами оцінки предметів, які можуть бути визначеними як культурні цінності, з метою включення до Музейного фонду України. Унікальні музейні предмети, музейні колекції, музейні зібрання Музейного фонду України та предмети музейного значення, що підлягають внесенню до Музейного фонду України і мають виняткове художнє, історичне, етнографічне та наукове значення, незалежно від форми власності і місця зберігання вносяться центральним органом виконавчої влади, що реалізує державну політику у сферах культури та мистецтв до Державного реєстру національного культурного надбання. Музейний фонд України є національним багатством, невід'ємною складовою культурної спадщини України, що охороняється законом.

Закон України «Про охорону культурної спадщини» № 1805-III — Закон України, ухвалений Верховною Радою України 8 червня 2000 року. Цей Закон регулює правові, організаційні, соціальні та економічні відносини у сфері охорони культурної спадщини як одного з головних елементів національних інтересів України з метою її збереження, використання об'єктів культурної спадщини у суспільному житті, захисту традиційного характеру середовища в інтересах нинішнього і майбутніх поколінь. Культурна спадщина - сукупність успадкованих людством від попередніх поколінь об'єктів культурної спадщини. Об'єкт культурної спадщини - визначне місце, споруда (витвір), комплекс (ансамбль), їхні частини, пов'язані з ними рухомі предмети, а також території чи водні об'єкти (об'єкти підводної культурної та археологічної спадщини), інші природні, природно-антропогенні або створені людиною об'єкти незалежно від стану збереженості, що донесли до нашого часу цінність з археологічного, естетичного, етнологічного, історичного, архітектурного, мистецького, наукового чи художнього погляду і зберегли свою автентичність.

Перша стаття Закону визначає такі терміни, як культурна спадщина, об'єкт культурної спадщини, пам'ятка, охорона культурної спадщини, зони охорони пам'ятки, історичне населене місце, історичний ареал населеного

місця, традиційний характер середовища, консервація, реабілітація, реставрація, музеєфікація,

Друга стаття Закону подає класифікацію об'єктів культурної спадщини. До об'єктів культурної спадщини відносяться археологічні об'єкти- рештки життєдіяльності людини (нерухомі об'єкти культурної спадщини: городища, кургани, залишки стародавніх поселень, стоянок, укріплень, військових таборів, виробництв, іригаційних споруд, шляхів, могильники, культові місця та споруди, їх залишки чи руїни, мегаліти, печери, наскельні зображення, ділянки історичного культурного шару, поля давніх битв, а також пов'язані з ними рухомі предмети), що містяться під землею поверхнею та під водою і є невідтворним джерелом інформації про зародження і розвиток цивілізації.

Другий розділ Закону визначає органи управління охороною культурної спадщини.

Третій розділ Закону встановлює обов'язковий державний облік пам'яток культурної спадщини, визначає процедуру включення пам'яток в Державний реєстр нерухомих пам'яток України та вилучення їх з реєстру.

Об'єкти культурної спадщини незалежно від форм власності відповідно до їхньої археологічної, естетичної, етнологічної, історичної, мистецької, наукової чи художньої цінності підлягають реєстрації шляхом занесення до Державного реєстру нерухомих пам'яток України (далі - Реєстр) за категоріями національного та місцевого значення пам'ятки. Право безумовного доступу до об'єктів культурної спадщини з метою їх обстеження, ознайомлення зі станом зберігання, характером та способом використання, ведення реставраційних робіт, одержання відповідних даних, наукового вивчення мають особи, уповноважені на це органами охорони культурної спадщини. Усі пам'ятки археології є державною власністю. Такі рухомі предмети підлягають віднесенню до державної частини Музейного фонду України, обліку та збереженню у порядку, визначеному законодавством. Консервація, реставрація, реабілітація, музеєфікація, ремонт, пристосування пам'яток національного значення здійснюються лише за наявності письмового дозволу центрального органу виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері охорони культурної спадщини на підставі погодженої з ним науково-проектної документації.

Органи охорони культурної спадщини зобов'язані заборонити будь-яку діяльність юридичних або фізичних осіб, що створює загрозу пам'ятці або порушує законодавство, норми і правила у сфері охорони культурної спадщини.

Закон України «Про охорону археологічної спадщини» ухвалений Верховною Радою України в 2004 році. Цей Закон регулює відносини, пов'язані з охороною археологічної спадщини України - невід'ємної частини культурної спадщини людства, вразливого і невідновлюваного джерела знань про історичне минуле, а також визначає права та обов'язки дослідників археологічної спадщини.

Археологічна спадщина - сукупність археологічних об'єктів, що перебувають під охороною держави, та пов'язані з ними території, а також рухомі культурні

цінності (археологічні предмети), що походять з об'єктів археологічної спадщини. Об'єкт археологічної спадщини (- місце, споруда (витвір), комплекс (ансамбль), їх частини, пов'язані з ними території чи водні об'єкти, створені людиною, незалежно від стану збереженості, що донесли до нашого часу цінності з археологічного, антропологічного та етнографічного погляду і повністю або частково зберегли свою автентичність. Держава виділила археологічну спадщину окремо і заборонила перебування археологічних пам'яток у приватній власності (на відміну від пам'яток історії, культури, мистецтва та архітектури, які можуть мати власника). Археологічні пам'ятки як спадщина усього народу є власністю держави. І до прийняття вищезгаданих змін законодавством було чітко встановлено – усі проекти землеустрою підлягали археологічній експертизі.

Наукове дослідження археологічної спадщини (археологічне дослідження) - наукова діяльність, спрямована на здобуття нових знань про об'єкти археологічної спадщини, закономірності розвитку давнього суспільства і людини на основі результатів аналізу археологічних матеріалів і документованої інформації (публікацій, наукових звітів тощо) археологічного характеру;

Наукові дослідження археологічної спадщини включають:

- вивчення історико-архівних даних щодо об'єктів археологічної спадщини;
- польові дослідження (археологічні розвідки, розкопки, інші земляні і підводні роботи);
- післяпольові дослідження (шифрування, реставрація, замальовування та фотографування знахідок, архівні, лабораторні та інші види вивчення археологічних пам'яток і предметів, знайдених під час польових досліджень тощо).

Принципами наукового дослідження археологічної пам'ятки є:

- застосування, де це можливо, неруйнівних методів дослідження;
- завдання якнайменшої шкоди об'єктам археологічної спадщини та запобігання тому, щоб об'єкти археологічної спадщини залишалися розкритими після завершення польових досліджень без забезпечення їхнього належного збереження, консервації та раціонального використання;
- проведення наукової фіксації усіх етапів дослідження і всіх виявлених знахідок та інших матеріальних залишків;
- публікація результатів наукового дослідження археологічної пам'ятки.

Право на проведення наукових досліджень археологічної спадщини надається виключно археологам, які мають практичний досвід проведення археологічних робіт (розкопок, розвідок), виконують вимоги законодавства України про охорону культурної спадщини. Проведення археологічних розвідок, розкопок, інших земляних робіт на території пам'ятки, охоронюваній археологічній території, у зонах охорони, в історичних ареалах населених місць, а також дослідження решток життєдіяльності людини, що містяться під землею поверхнею, під водою, здійснюється за дозволом, виданим центральним органом виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері охорони культурної спадщини. Порядок видачі дозволів визначається Кабінетом Міністрів України.

Дозволи на проведення археологічних розвідок, розкопок надаються за умови дотримання археологом вимог охорони археологічної спадщини та наявності у нього кваліфікаційного документа, виданого кваліфікаційною радою, створеною відповідно до Закону України "Про охорону культурної спадщини". Знахідки, одержані в результаті археологічних досліджень (нерухомі та рухомі предмети, які були пов'язані з об'єктом археологічної спадщини і виявлені під час археологічних досліджень), є державною власністю. Вони підлягають обліку та класифікації відповідно до методик, затверджених центральним органом виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у сфері охорони культурної спадщини. Правовий режим скарбу визначається законодавством України

1.2. ЗАВДАННЯ І ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

1. Ознайомитися з основними положеннями Законів України «Про музеї та музейну справу», «Про охорону культурної спадщини» та «Про охорону археологічної спадщини».

2. Виконати індивідуальні завдання щодо

1.3. ПОРЯДОК ОФОРМЛЕННЯ РОБОТИ

1. Назва та мета роботи.

2. Описати відповідні статті та розділи: Зверніть особливу увагу на положення, що стосуються:

- Визначення археологічних пам'яток (що вважається такою пам'яткою).
- Правила проведення археологічних досліджень та розкопок.
- Обов'язки фізичних та юридичних осіб щодо виявлення та збереження археологічних знахідок.
- Процедура повідомлення про знахідку та відповідальність за її ненадання. риведіть визначення ключових понять: археологічна пам'ятка, археологічна знахідка.

Опишіть процедуру виявлення та повідомлення про археологічну знахідку: розгляньте реальний випадок знахідки (наприклад, монета, стародавній посуд) та обговоріть, які кроки мали б бути вчинені згідно із законом.

1.4. ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Які основні завдання визначає Закон України «Про музеї та музейну справу» для діяльності музеїв?

2. Хто може бути засновником музею відповідно до чинного законодавства України?

3. Які категорії об'єктів належать до культурної спадщини згідно із Законом України «Про охорону культурної спадщини»?

4. Які права та обов'язки мають власники об'єктів культурної спадщини?

5. Що є об'єктом археологічної спадщини згідно із Законом України «Про охорону археологічної спадщини»?

6. Які вимоги встановлені законодавством щодо проведення археологічних розвідок і розкопок на території України?

7. Яка відповідальність передбачена законами України за порушення правил охорони, використання або знищення об'єктів культурної та археологічної спадщини?

Л І Т Е Р А Т У Р А

1. Закон України «Про музеї та музейну справу» від 29 червня 1995 р. № 249/95-ВР (зі змінами та доповненнями).

2. Закон України «Про охорону культурної спадщини» від 8 червня 2000 р. № 1805-III (зі змінами).

3. Закон України «Про охорону археологічної спадщини» від 18 березня 2004 р. № 1626-IV.

4. Іваненко, О. М. Музейна справа в Україні: теорія, методика, практика. — Київ: Либідь, 2017.

5. Тимофієнко, В. І. Охорона культурної спадщини України: правові засади та практика реалізації. — Київ: НАГУ, 2019.

6. Гаврилюк, Н. О. Основи музеєзнавства та охорони культурної спадщини. — Львів: Світ, 2020.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 2

Радіовуглецевий метод датування

Мета роботи - ознайомлення із основними положеннями радіовуглецевого методу датування археологічних об'єктів.

2.1.КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Протягом останніх 70 років прогрес в аналітичних технологіях та обчислювальній потужності дав можливість вченим точно оцінити вік артефактів — об'єктів, що існують в результаті людської діяльності, а також осадів — фрагментів гірських порід і мінералів. Серед методів, що дозволяють визначити вік історичних артефактів у роках, найбільш точним і поширеним є радіовуглецевий аналіз, винайдений у 50-х роках минулого століття американським фізиком Віллардом Ліббі. Метод заснований на тому, що після загибелі організму припиняються обмінні процеси і більше не відбувається поглинання ним радіоактивного ізотопу ^{14}C , що розпадається з плином часу. Вимірювання залишкового вмісту радіоактивного ізотопу ^{14}C дозволяє оцінити кількість років, що минули з моменту загибелі цього організму. На відміну від звичайного стабільного ізотопу ^{12}C , нестабільний ізотоп радіоактивного вуглецю ^{14}C утворюється в атмосфері при бомбардуванні атомів азоту нейтронами космічного випромінювання. Період його напіврозпаду 5730 років, так що після закінчення 50 тис. років залишається лише 0,2% від початкової кількості атомів цього ізотопу. Радіовуглецеве датування, яке базується на визначенні співвідношення ізотопів радіоактивного ізотопу ^{14}C до стабільних ізотопів ^{12}C і ^{13}C , отриманих з похованих або ізольованих органічних або карбонатних матеріалів. Існує відоме співвідношення радіоактивною ^{14}C і $^{12}\text{C} + ^{13}\text{C}$ стабільними формами вуглецю приблизно один до 1012. На вік стародавніх зразків суттєво впливає забруднення більш молодим вуглецем (гуміновими кислотами, корінням рослин, сторонніми карбонатами тощо), що призводить до уявного заниження віку зразка. При датуванні стародавніх зразків (понад 30 тис. років) похибка становить від 700 до 3000 років. Для стародавніх зразків невелика домішка сучасного вуглецю може різко занизити визначений вік.

Метод радіовуглецевого датування був оснований на припущенні стабільності концентрації ізотопу ^{14}C в атмосфері. Результати такого підрахунку будуть вірогідні за наступних умов-обмежень: 1) ізотопний склад атмосфери за життя зразка був близьким до сучасного; 2) ізотопна

система зразка у той час була у рівновазі з атмосферою; 3) ізотопна система зразка після відмирання організму була закритою і не зазнавала ніяких змін під впливом зовнішніх факторів місцевого чи часового значення. Ці три обмеження є граничними умовами застосування методики радіовуглецевої хронології. Як з'ясувалося в результаті досліджень, концентрація ізотопу ^{14}C в атмосфері змінюється від напруженості і направленості магнітного поля Землі, активності Сонця та інших космічних і природних явищ. Дані радіовуглецевого датування не можуть бути безпосередньо використані як календарні дати, оскільки припущення про те, що рівень поглинання ^{14}C залишається постійним, на практиці не справджується. Рівень підтримується високоенергетичними частинками, що взаємодіють з верхньою атмосферою Землі, на які можуть впливати зміни в магнітному полі Землі або в космічному фоні, наприклад, коливання, спричинені сонячними бурями. Крім того, існують значні резервуари вуглецю в органічній речовині, океані, океанічних відкладах та осадових породах; а зміна клімату іноді може порушувати потік вуглецю між цими резервуарами та атмосферою. На рівень також впливає діяльність людини — він майже подвоївся за короткий період часу через випробування атомної зброї в 1950-х і 1960-х роках і зменшився через викиди великих кількостей вуглекислого газу з давніх органічних джерел, де ізотоп ^{14}C відсутній, — викопного палива, що використовується в промисловості та транспорті. Існують стандартні калібрувальні криві, засновані на порівнянні радіовуглецевих дат з іншими методами, такими як дослідження річних кілець дерев (дендрохронологія), льодових кернів, кернів глибоководних океанських відкладень, озерних відкладень, зразків коралів і спелеотем (печерних відкладень). Калібрувальні криві можуть значно відрізнятись від прямої лінії, тому порівняння некаліброваних радіовуглецевих дат (наприклад, нанесення їх на графік або віднімання дат для отримання часу, що минув) може дати оманливі результати. У кривих також є значні плато, такі як плато від 11000 до 10000 радіовуглецевих років до н. е., яке, як вважається, пов'язане зі зміною циркуляції океану під час періоду молодого дріасу.

Для виконання калібрації існує декілька програм, найпоширеніші серед них: Грьонінгенська радіовуглецева калібраційна програма — розроблена Йохансом ван дер Пліхтом (Johannes van der Plicht) при Центрі ізотопних досліджень Грьонінгенського університету, Оксфордська калібраційна програма — розроблена при Радіовуглецевому відділі Оксфордського університету та калібраційна програма Бернхарда Венінгера, розроблена в Радіовуглецевій лабораторії Кельнського університету.

Як альтернативу до вищезгаданих програм, в Київській радіовуглецевій лабораторії при Державному центрі радіогеохімії навколишнього середовища НАН України було розроблено радіовуглецеву калібраційну програму “Ages” під управлінням операційної системи Windows 95/98. Це вітчизняна програма, що виконує калібрацію радіовуглецевих дат, надає графіки калібрації, має можливість друку та експорту в окремий файл побудованих графіків та результатів калібрації. Програма надає можливість калібрувати як окремі дати, так і групи дат. Для вводу нової дати необхідно лише вказати її радіовуглецевий вік, в якості додаткової (необов’язкової) інформації можна зазначити лабораторний номер, прив’язку, власника та нотатки до зразку. Максимальне і мінімальне значення радіовуглецевого підраховуються автоматично.

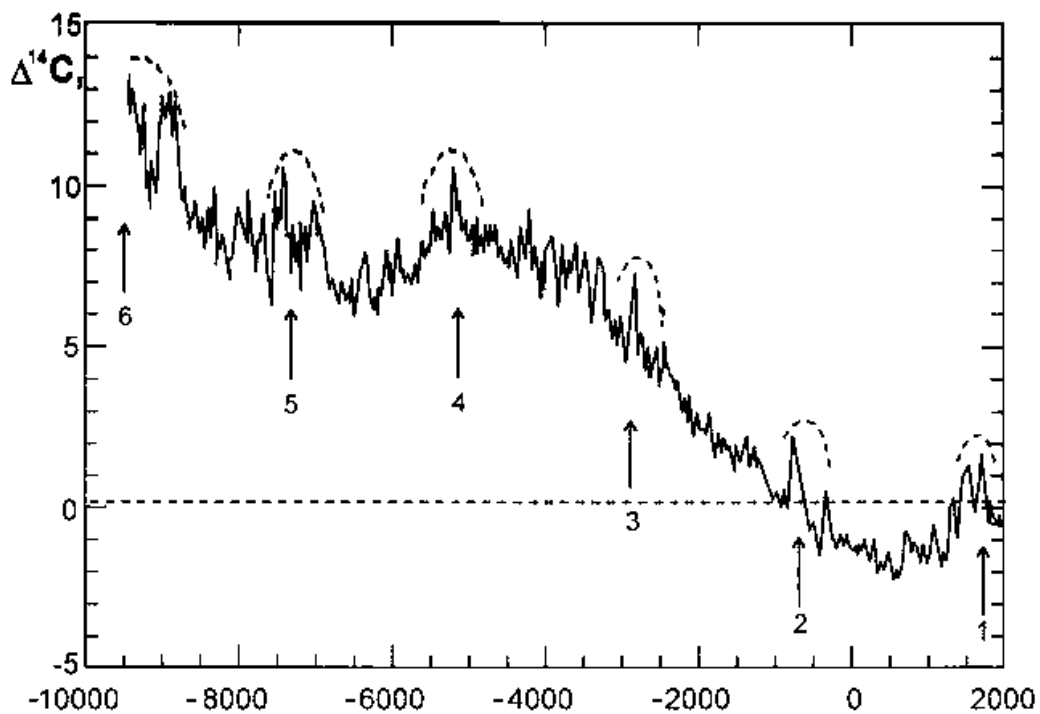


Рисунок 2.1 - Зміна в часі концентрації радіоактивного ізотопу $\text{C}14$ (%), виміряної в річних кільцях дерев відомого віку. Стрілки на малюнку показують прояв періодів найбільш помітних максимумів у зміні амплітуд концентрації

Для виконання калібрації існує декілька програм, найпоширеніші серед них: Грьонінгенська радіовуглецева калібраційна програма – розроблена Йохансом ван дер Пліхтом (Johannes van der Plicht) при Центрі ізотопних досліджень Грьонінгенського університету, Оксфордська калібраційна програма – розроблена при Радіовуглецевому відділі

Оксфордського університету та калібраційна програма Бернхарда Венінгера, розроблена в Радіовуглецевій лабораторії Кельнського університету.

Як альтернативу до вищезгаданих програм, в Київській радіовуглецевій лабораторії при Державному центрі радіогеохімії навколишнього середовища НАН України було розроблено радіовуглецеву калібраційну програму “Ages” під управлінням операційної системи Windows 95/98. Це вітчизняна програма, що виконує калібрацію радіовуглецевих дат, надає графіки калібрації, має можливість друку та експорту в окремий файл побудованих графіків та результатів калібрації. Програма надає можливість калібрувати як окремі дати, так і групи дат. Для введення нової дати необхідно лише вказати її радіовуглецевий вік, в якості додаткової (необов’язкової) інформації можна зазначити лабораторний номер, прив’язку, власника та нотатки до зразку. Максимальне і мінімальне значення радіовуглецевого підраховуються автоматично.

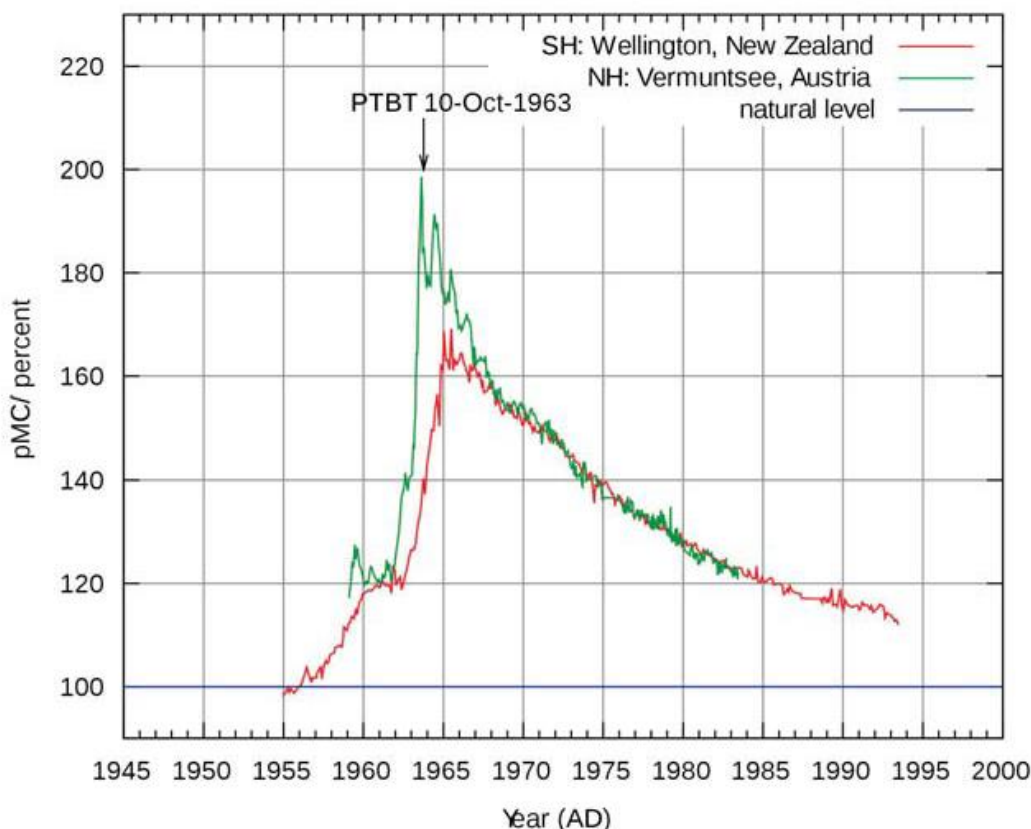


Рисунок 2.2 - Зміна атмосферної концентрації радіовуглецю ^{14}C , спричинена ядерними випробуваннями в різні роки. Синім кольором показано природну концентрацію C , зеленим – рівень радіовуглецю в Австрії (Вермунтзее), червоним – рівень радіовуглецю в Новій Зеландії (Веллінгтон)

Для демонстрації калібрації в таблиці наведено дані по ямній культурі. Зразки представлені в таблиці калібрувалися програмою “Ages”, за калібраційної кривою INTCAL98. На підставі радіовуглецевих датувань представлених в таблицях можна зробити такі висновки: давньо-ямна культура розвивалася в межах 2800-2500 років; пізньо-ямна культура розміщена в геохронологічних рамках 2500-2300 років. На межі життя двох типів ямної культури давня та пізня співіснували близько 100 років.

Таблиця 1.

Результати радіовуглецевого датування та калібрації зразків ямної культури території України

№	Прив'язка		Лаб. №	Вік		
	Місце	Зразок		BP	BC	BC
1	с. Відрадне (Отрадное) Новобузький р-н, Миколаївська обл., пізньо-ямне поховання	кург. 26 погр. 9 гл. 2.6 м.	Ki-7069	3920±60	2388±82	1σ2470-2306 2σ2572-2515 2500-2271
2	с. Відрадне, Новобузький р-н, Миколаївська обл., (пізньо-ямне)	кург. 1 погр. 21 гл. 5.45 м.	Ki-7070	3890±65	2376±91	1σ2467-2286 2248-2234 2216-2212 2σ2563-2522
3	м. Запоріжжя, давньо-ямне поховання	кург. 1 погр. 14	Ki-7072	4360±70	2964±66	1σ3083-3065 3031-2898 2σ3328-3222

Причина тільки у надійності самого методу радіовуглецевої хронології та можливості застосування його до такого об'єкту, як Туринська Плащаниця. Напрошується висновок, що Плащаниця – підробка, виготовлена вмілим середньовічним художником.

Поверхня на Плащаниці була додатково досліджена такими аналітичними методами: 1) радіовуглецеве датування способом мас-спектрографії; 2) електронна мікроскопія; 3) спектрометрія розсіяної енергії; 4) наявність грибків та бактерій; 5) газова хроматографія/ мас-спектрометрія; 6) трансформаційна інфрачервона спектрографія Фур'є; 7) оптична мікроскопія; 8) скануюча електронна мікроскопія; 9) дослідження в ультрафіолетовому світлі (у діапазоні 254 та 366 нанометрів); 10) довгохвильова розсіююча спектроскопія. Встановлено, що полотно пройшло через багато рук, між волокнами осіло багато пилу, через постійні подорожі і покази під відкритим небом, що мали місце у період середньовіччя, зазнавало значного забруднення. Плащаниця мала бурхливу історію і зустріла на своєму шляху багато подій, які могли через забруднення “молодим” вуглецем вплинути на результат дати, якщо навіть припустити, що радіовуглецевий метод вірний.

Спершу метод радіовуглецевого датування вимагав великої кількості матеріалу, тому власники полотна не дозволяли провести датування через побоювання втратити значну частину Плащаниці. Так, для датування необхідно було біля 500 см² полотна, що завдало б непоправної шкоди реліквії. Але з винайденням методу мас-спектрометрії для датування потрібно було усього кілька квадратних сантиметрів тканини. Вимірювання ¹⁴C і ¹²C спочатку проводилося за допомогою бета-лічильників, які підраховували кількість бета-частинок, що випромінюються атомами ¹⁴C, які розпадаються. Сучасна модифікація радіовуглецевого датування — AMS-метод (метод прискорювальної мас-спектрометрії), тобто аналіз міліграмових кількостей вуглецю за допомогою мас-спектрометрії на прискорювачах. При використанні цього методу підраховують всі атоми ізотопу ¹⁴C у зразку, а не тільки бета-частинки. Радіовуглецеве датування, як правило, обмежується датуванням зразків, вік яких не перевищує 50 000 років. Зразки, старші за цей вік, містять надзвичайно малу кількість ¹⁴C.

Радіовуглецеве датування допомагає усвідомити, що багато суспільств процвітали протягом історії та по всьому світу, а не лише в місцях, де були письмові записи та інтенсивне сільське господарство. Це також допомагає виявляти підробки та фальсифікації, які протягом століть вводили в оману дослідників, спонукаючи їх до неправильних інтерпретацій соціальної поведінки людини. Завдяки відносному датуванню, отриманому з тисяч

єгипетських, римських і грецьких записів, ввідомо, що єгипетський фараон Тутанхамон правив під час 18-ї династії періоду Нового Царства. Завдяки радіометричному датування залишків рослин, знайдених у його гробниці, встановлено, що його правління тривало з 1353 по 1331 рік до н. е., що раніше, ніж вважали єгиптологи, спираючись лише на письмові записи.

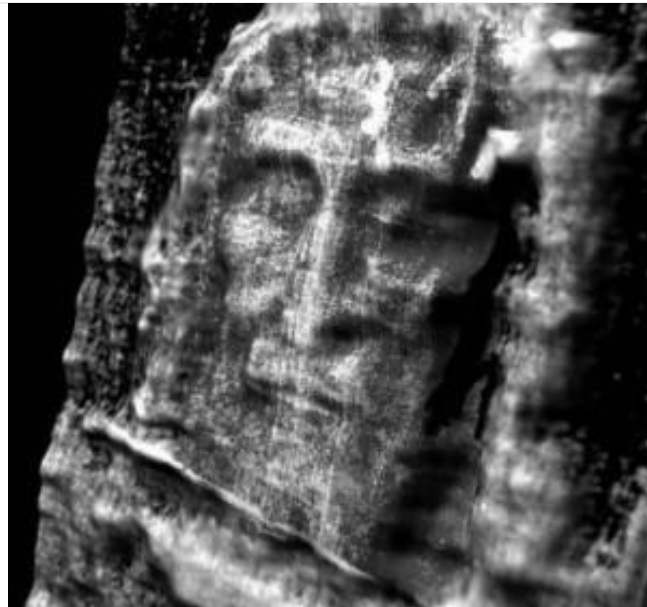


Рисунок 2.4 - Тривимірне зображення Туринської Плащаниці

Радіовуглецеве датування дозволило датувати ключові переходи в доісторичному періоді, такі як кінець останнього льодовикового періоду та початок неоліту і бронзового віку в різних регіонах.

Хорошим прикладом є дослідження поховань вікінгів у Гренландії шляхом аналізу ізотопів вуглецю. Дослідження підтвердило дати: колонія була заселена між кінцем 10 століття і початком 12 століття.

Маючи правильну інформацію, можна реконструювати послідовність подій. Це фундаментальна концепція, яка використовується в археології, і ця ідея бере свій початок у геології. Геологічні процеси є важливою складовою будь-якого археологічного дослідження, оскільки вони допомагають нам реконструювати послідовність подій, що відбулися на місці розкопок.

Дослідження фітолітів (скам'янілих залишків рослин), ентомологія (вивчення комах), а також дослідження пилку та спор можуть не тільки показати, як змінилося середовище і що спричинило ці зміни (діяльність людини чи зміни в навколишньому середовищі), але й коли ці зміни відбулися.

ЗАВДАННЯ І ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

1. Ознайомитися з теоретичними основами радіовуглецевого аналізу історичних артефактів та правилами їх підготовки до проведення радіовуглецевого аналізу.

2. Виконати індивідуальні завдання щодо обробки результатів радіовуглецевого датування археологічної знахідки.

2.3. ПОРЯДОК ОФОРМЛЕННЯ РОБОТИ

1. Мета роботи.

2. Коротко викласти сутність радіовуглецевого датування. Описати методику проведення радіовуглецевого датування. Описати причини виникнення похибок при радіовуглецевого датування. Наведіть перелік випадків раціонального використання методу радіовуглецевого датування.

2.4. ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Що таке радіовуглецевий метод датування і який його принцип дії?
2. Який із ізотопів вуглецю використовується для визначення віку археологічних знахідок?
3. Яким чином утворюється ізотоп вуглецю-14 у природі?
4. Який період напіврозпаду має ізотоп вуглецю-14?
5. Які типи археологічних матеріалів можуть бути датовані за допомогою радіовуглецевого методу?
6. Чому радіовуглецевий метод застосовується лише до органічних решток?
7. Які фактори можуть впливати на точність результатів радіовуглецевого датування?
8. У яких одиницях зазвичай виражається вік, визначений за допомогою радіовуглецевого аналізу?
9. Що таке калібрування радіовуглецевих дат і для чого воно потрібне?
10. Яке значення має радіовуглецевий метод для археології та історії людства?

ЛІТЕРАТУРА

1. Фізико - хімічний аналіз об'єктів історико-культурної спадщини. Навчальний посібник для студентів спеціальності 032 «Історія та археологія» / В.М. Кропівний, В.М. Орлик, О.В. Кузик, А.В. Кропівна // Загальна редакція В.М. Кропівного. – Кропивницький: ЦНТУ, 2023. – с. 265.
2. Пустовалов, С. Ж., Телегін, Д. Я., Ковалюх, М. М. Радіокарбонова хронологія ямних та катакомбних пам'яток. Археологічні студії / Магістеріум. Київ, 2003.
3. Комар, О. В. Досвід використання радіокарбонного методу для датування ранньослов'янських пам'яток України (1970-1987 рр.). Інститут археології НАН України. [nasplib.isofts.kiev.ua]
4. Timothy J Heaton, Maarten Blaauw, Paul G Blackwell, Christopher Bronk Ramsey, Paula J Reimer, E Marian Scot The IntCal20 Approach to Radiocarbon Calibration Curve Construction: A New Methodology Using Bayesian Splines and Errors-in-Variables/ Radiocarbon, Vol 00, Nr 00, 2020, p 1–43
https://www.researchgate.net/publication/343612727_The_IntCal20_Approach_to_Radiocarbon_Calibration_Curve_Construction_A_New_Methodology_Using_Bayesian_Splines_and_Errors-in-Variables://link/5f3b82c3458515b7292a565b/download?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 3

Методи дослідження властивостей металевих матеріалів

Мета роботи - ознайомитись з методикою визначення механічних властивостей матеріалів.

3.1. КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Для раціонального використання металів і сплавів необхідно знати їх фізичні, механічні й технологічні властивості.

До фізичних властивостей належить питома густина, питомий електроопір, температура плавлення та ін. Хімічні властивості характеризують поведінку матеріалів в хімічно активних середовищах, а

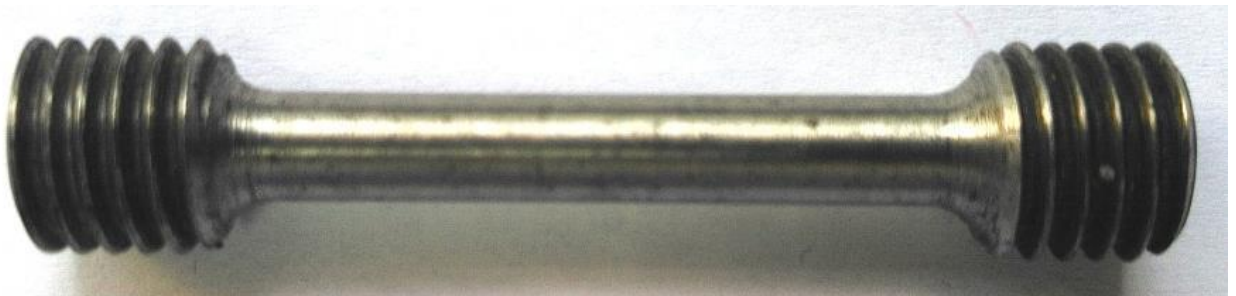
технологічні – можливість проводити з матеріалом технологічні операції лиття (рідкотекучість, усадка), обробки тиском (ковкість), зварювання (зварюваність), обробки різанням.

Механічні властивості характеризують здатність матеріалу працювати під дією механічного навантаження. Під дією зовнішніх сил у металах відбувається пластична деформація, метал змінює свою форму, розміри. При досягненні певних значень зовнішніх сил метал руйнується. Для кожного металу існує певна межа прикладених зовнішніх сил, до якої він деформується, але зберігає цілість, тобто ще не руйнується.

До основних механічних властивостей відносять міцність, пластичність і твердість. Механічні властивості визначаються випробуванням виготовлених з даного матеріалу зразків, які мають стандартизовані розміри й форму

Міцність – здатність матеріалу не руйнуватись під дією зовнішніх сил. Ця характеристика визначається на розривній машині як напруження, при якому відбулось руйнування зразка в процесі випробування.

Пластичність – здатність матеріалу змінювати без руйнування форму й розміри під дією навантаження, а також зберігати утворену форму після зняття навантаження. Малі значення пластичності називають крихкістю. Показниками пластичності являється відносне видовження (δ) та звуження (ψ) на розривних зразках.



а)



б)

Рис. 3.1 - Зовнішній вигляд зразків для випробувань на розтяг при визначенні міцності і пластичності металевих матеріалів: а – до випробування; б – після випробування

Твердість – здатність матеріалу чинити опір проникненню в нього іншого, більш твердого тіла (індентора). Визначення твердості матеріалів є найпоширенішим методом випробування сплавів, який не потребує виготовлення спеціальних зразків і може бути використаний на готових деталях. Вимірювання твердості отримало широке застосування для контролю якості металів внаслідок швидкості і простоти здійснення, а також можливості судити про властивості виробу без його руйнування. Між твердістю пластичних металів та іншими механічними властивостями (головним чином межею міцності) існує кількісна залежність.

Одним з перших методів визначення твердості був метод, що базувався на використанні шкали Мооса. В цьому випадку визначалось який з десяти стандартних мінералів дряпає тестований матеріал, і який матеріал з десяти стандартних мінералів дряпається досліджуваним матеріалом.

Найбільш поширені методи визначення твердості: по Брінеллю (HB), Роквеллу (HRB, HRC, HRA), Віккерсу (HV).

При визначенні твердості за методом Брінелля у матеріал, що випробується пресом, вдавлюють сталю загартовану кульку (рис. 4). Перед випробуванням поверхню зразка механічно обробляють, щоб вона була рівною, гладкою і не мала дефектів. Це необхідно для отримання правильного відбитка і щоб його краї були чітко видні для вимірювання.

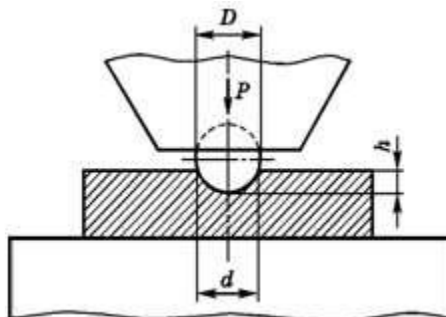


Рисунок 3.2 - Схема визначення твердості за методом Брінелля

Після зняття навантаження на поверхні зразка залишається відбиток, розміри якого залежать від твердості матеріалу. На практиці їх значення визначають залежно від діаметра відбитка і навантаження за таблицями. Діаметр відбитка на поверхні зразка визначають за допомогою вимірювальної лупи мікроскопа в двох взаємно перпендикулярних напрямках, діаметр відбитка визначається як середнє арифметичне двох вимірювань. Лупа має шкалу, поділки 0,05 мм. Лупу опорною частиною щільно встановлюють на випробувану поверхню зразка над відбитком; виріз (вікно) в нижній частині лупи звертають до світла. Повертаючи

окуляр, необхідно домогтися, щоб краї відбитка були різко окреслені. Потім, пересуваючи лупу, необхідно один край відбитка поєднати з початком шкали. Прочитати поділку шкали, з якою збігається протилежний край відбитка. Дане число буде відповідати розміру діаметра відбитка. На практиці твердість визначають за табл. 1, в якій наведено числа твердості залежно від діаметра відбитка. Числа твердості за Брінеллем позначають НВ.

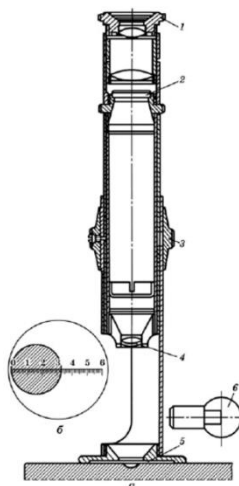


Рисунок 3.3 - Лупа для вимірювання діаметра відбитка кульки: а - загальний вигляд у розрізі: 1 - окуляр; 2 - шкала; 3 - гайка; 4 - об'єктив; 5 - відбиток; 6 - джерело світла

Вимоги до зразків для вимірювання твердості на твердомірі Брінелля:

- товщина зразка повинна не менше ніж у 8 разів перевищувати глибину відбитка, а на протилежному боці зразка після випробування не повинно бути слідів деформації;
- поверхня зразка повинна бути плоскою, гладкою і вільною від окисної плівки;
- зразок повинен бути підготовлений таким чином, щоб не змінювалися властивості металу в результаті механічної або іншої обробки, наприклад, від нагрівання або наклепу;
- відстань між центром відбитка і краєм зразка має бути не менше 2,5 діаметрів відбитка; відстань між центрами двох суміжних відбитків повинно бути не менше 4 діаметрів відбитка.

Вимірювання твердості на твердомірі Брінелля.

1. Отримати зразки з різним вмістом вуглецю(0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,2%).

2. Перед вимірюванням твердості поверхню зразків (деталі) зачистити на абразивному крузі.

3. Вибрати тривалість і величину навантаження на індентор, а також його діаметр (табл. 1).

4. На предметний столик твердоміра покласти зразок.

5. Обертанням рукоятки за ходом годинникової стрілки підняти предметний столик, притиснувши зразок до індентора.

При цьому центр відбитка має бути від краю зразка на відстані, не меншій від діаметра кульки (індентора).

6. Натискуванням кнопки твердоміра ввімкнути електродвигун, при цьому автоматично почнеться процес вимірювання твердості, що закінчиться автоматичним вимкненням електродвигуна.

7. Заміряти діаметр відбитка і за табл. 3 визначити твердість (НВ), перевести її в твердість інших шкал і записати у протокол (табл. 4)

3.2.ЗАВДАННЯ І ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

1.Ознайомитися з теоретичними основами радіовуглецевого аналізу історичних артефактів та правилами їх підготовки до проведення радіовуглецевого аналізу.

2. Виконати індивідуальні завдання щодо обробки результатів радіовуглецевого датування археологічної знахідки.

3.Ознайомитися з будовою і принципом роботи твердомірів; описати спосіб вимірювання довжини діагоналі відбитка

3.3. ПОРЯДОК ОФОРМЛЕННЯ РОБОТИ

1. Мета роботи.

2. Коротко викласти сутність вимірювання твердості.

3. Схема твердоміра Брінелля з його описанням.

4.Привести схему вимірювання твердості а Брінеллем.

5.Заповнити протокол дослідження твердості на твердомірі.

3.4.ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Що таке твердість матеріалу і методи її визначення?

2. Які індентори використовують для вимірювання твердості на твердомірі Брінелля?

3. Яка сутність випробування твердості за методом Брінелля?
4. Якими методами вимірюють твердість металів?
5. Як спрощують обчислення твердості за методом Брінелля?
6. Що таке межа міцності і як інакше називають цю характеристику механічних властивостей металу?
7. В яких одиницях вимірюють твердість Брінелля?
8. Як позначають число твердості за Брінеллем?
9. Як вимірюють діаметр отриманого відбитка?

ЛІТЕРАТУРА

1. Фізико - хімічний аналіз об'єктів історико-культурної спадщини. Навчальний посібник для студентів спеціальності 032 «Історія та археологія» / В.М. Кропівний, В.М. Орлик, О.В. Кузик, А.В. Кропівна // Загальна редакція В.М. Кропівного. – Кропивницький: ЦНТУ, 2023. – с. 265.
2. Металознавство: Підручник / О.М. Бялік, В.С. Черненко, В.М. Писаренко, Ю.М. Москаленко. — 2-ге вид., перероб. і доп. — К.: Політехніка, 2002. — 384 с.
3. Матеріалознавство. Навчальний посібник: навчально-методичний комплекс для студентів денної і заочної форм навчання / А.В. Галико, О.В. Кузик, В.М. Кропівний, А.В. Кропівна, Л.А. Молокост – Кіровоград: КОД, 2015. – 168 с.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 4

Методика виготовлення шліфів та проведення металографічних досліджень

Мета роботи – ознайомитися з методикою виготовлення металографічних шліфів для проведення мікроскопічного аналізу.

4.1. КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Для отримання інформації про будову металів та неметалевих конструкційних матеріалів в залежності від їх хімічного складу, структури, виду обробки тощо в матеріалознавстві використовують методи мікроструктурного аналізу. Макроскопічний метод - дослідження будови металів і зварних з'єднань неозброєним оком або із застосуванням лупи, що дає збільшення в 5-30 разів. Макроаналіз дає можливість виявляти раковини,

шлакові включення, порушення суцільності металу, тріщини та інші дефекти будови сплаву, хімічну і структурну неоднорідність.

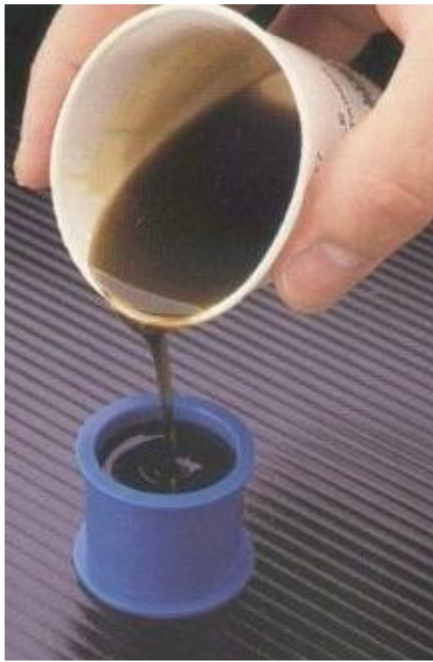
Мікроструктурним аналізом називають метод дослідження структури (будови) металів та їх сплавів, а також інших непрозорих речовин за допомогою оптичних і електронних мікроскопів при збільшеннях більше 50 разів. Мікроструктурний аналіз дозволяє встановити передісторію матеріалу, тобто визначити характер, тип та якість попередньої обробки: особливості процесу лиття, обробки тиском, термічної обробки, зварювання.

Мікроаналіз – вивчення будови металів і сплавів з допомогою металографічних мікроскопів зі збільшенням 50 – 1500 раз. Оптичний металографічний мікроскоп, що застосовується для вивчення внутрішньої будови об'єкта працює у відбитому світлі. Сучасні електронні мікроскопи мають можливість проводити дослідження при збільшеннях до 300000 разів. При проведенні мікроскопічного аналізу виявляють форму та розмір зерен, зміни в структурі після гарячої та холодної деформації, термічної та хіміко-термічної обробки; мікрodefekти металу: тріщини, шпарини, раковини; неметалеві вкраплення: сульфідні, оксидні, нітридні, алюмінати, силікати, графіт (у чавунах) тощо. Застосовуючи металографічні дослідження можна отримати відповідь на наступні питання:

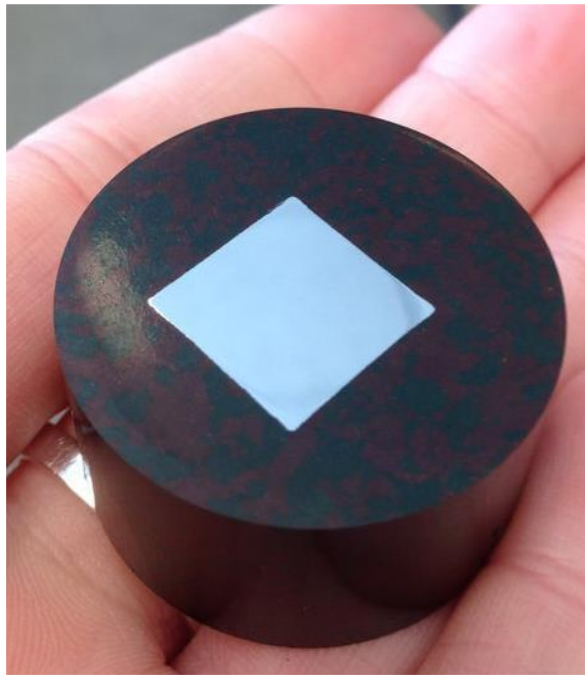
1. Виробничі процеси, які було використано для виготовлення історичного артефакту.
2. Встановлення виду термічної обробки, яка була застосована для виготовлення історичного артефакту.
3. Природа металу або сплаву, що було використано для виготовлення історичного артефакту.

Мікроскопічний аналіз включає приготування мікрошліфів та дослідження їх за допомогою металографічного мікроскопа. Поверхня зразка (мікрошліфа) має бути дзеркальною для достатньо інтенсивного відзеркалення променів, для цього після операції шліфування проводять полірування мікрошліфа. Мікрошліф - зразок металу, поверхня якого підготовлена для мікроаналізу. На вирізаному зразку вирівнюють поверхню, призначену для мікроаналізу. Вимоги до зразків: зразки повинні бути вирізані з виробу, не піддаючись нагріванню. Перегрів може вплинути на мікроструктуру виробу. Зразок при нарізці не може бути піддано деформації. Це згубно впливає на первинну структуру матеріалу і можливість її достовірного визначення та вивчення.

Зразки для аналізу повинні мати розміри не більше 30x30x30 мм. Якщо досліджуваний зразок являє собою тонку пластинку або лист, то для зручності шліфування і полірування його монтують заливкою епоксидною смолою у спеціальних оправках.



а)



б)

Рисунок 4.1 - Процес заливання темплета у формочці рідкою термореактивною смолою (а), готовий мікрошліф (б)

Отримання плоскої поверхні зразка досягають заточуванням наждачною шкіркою із зернами різних розмірів (спочатку зразок обробляється шкіркою з великим зерном поздовжньо, а потім шкіркою з дрібним зерном поперечно до тих пір поки не зникнуть насічки, залишені шкіркою з великим зерном).

Шліфують на абразивній шкірці, покладеній на товсте скло або спеціальних шліфувальних верстатах. Після шліфування зразок полірують алмазними пастами до дзеркального блиску. При цьому мікрошліф шліфують під кутом 90° відносно рисок, що залишилися від механічної обробки до моменту їх повного видалення. По дзеркальній поверхні металевго зразка різко виділяються на світлому тлі полірованого шліфу внаслідок їхньої забарвленості в різні кольори неметалеві включення (сульфіди, оксиди, графіт у сірому чавуні). Неметалеві вкраплення мають інший, ніж у металевій матриці, коефіцієнт відзеркалення, тому на світлому фоні вони виділяються темними ділянками (сірого, чорного, жовтуватого кольору) різної форми. За кольором та формою частинок визначають природу неметалевого вкраплення, а за їх кількістю оцінюють ступінь забрудненості металу чи сплаву.

Для виявлення мікроструктури поліровану поверхню зразка піддають травленню в розчинах кислот, лугів або солей. Сутність травлення полягає у взаємодії реактиву з поверхнею металу, при якому окремі структурні складові різною мірою розчиняються або фарбуються. Структура металу стає рельєфною та під мікроскопом добре різняться різні структурні складові

(зерна металу, дефекти, неметалеві включення та інших.). Для проведення травлення на поверхню мікрошліфа капають реактив, зазвичай витримують кілька секунд. Для травлення сталей і чавунів використовують - 5% розчин HNO_3 в етиловому спирті; для травлення сплавів на основі міді: - 8% аміачний розчин CuCl_2 . отім мікрошліф промивають водою, протирають ватою, змоченою спиртом і просушують фільтрувальним папером. Ознакою протруювання є потьмарення поверхні. Підготовлений мікрошліф досліджують під металографічним мікроскопом.

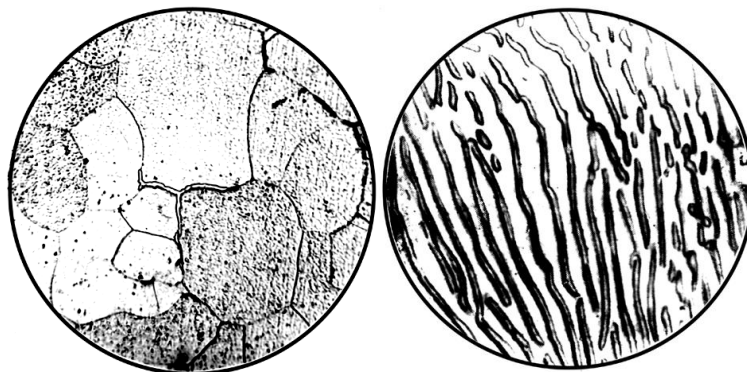


Рисунок 4.2 – Схема утворення контрасту після травлення зразків при мікроскопічних дослідженнях сплавів заліза

4.2.ЗАВДАННЯ І ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

1. Ознайомившись з обладнанням лабораторії приготування мікрошліфів і методикою мікроскопічного аналізу, зразками для мікроаналізу, реактивами для травлення. Коротко описати технологію приготування мікрошліфа. Описати призначення макро- та мікроаналізу.
2. Розглянути на металографічному мікроскопі поверхню нетравленого зразка та виявити неметалеві включення.
3. Зробити травлення зразка, капнувши на його поверхню реактив, витримати кілька секунд, промити водою, протерти спиртом і просушити поверхню.
4. Замалювати мікроструктуру не травленого і травленого зразка.

4.3. ПОРЯДОК ОФОРМЛЕННЯ РОБОТИ

1. Мета роботи.
2. Короткі теоретичні відомості.
3. Описати послідовність приготування мікрошліфів.
4. Замалювати макроструктури, коротко охарактеризувавши їх.
5. Вказати використані хімреактиви для травлення.

4.4.ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Що таке мікроаналіз?
2. Яке призначення мікроаналізу?
3. При яких збільшеннях проводиться металографічний аналіз?
4. Як готують мікрошліф?
5. Для чого використовують травлення мікрошліфів?
6. Які деталі будови металу можна виявити на шліфах до та після травлення ?

ЛІТЕРАТУРА

1. Фізико - хімічний аналіз об'єктів історико-культурної спадщини. Навчальний посібник для студентів спеціальності 032 «Історія та археологія» / В.М. Кропивний, В.М. Орлик, О.В. Кузик, А.В. Кропивна // Загальна редакція В.М. Кропивного. – Кропивницький: ЦНТУ, 2023. – с. 265.
2. Структурний аналіз металів. Металографія. Фрактографія: Підручник / О.М. Бялік, В.С. Черненко, В.М. Писаренко, Ю.М. Москаленко. - К.: Політехніка, 2006. - 328 с.
3. Матеріалознавство. Навчальний посібник: навчально-методичний комплекс для студентів денної і заочної форм навчання / А.В. Галико, О.В. Кузик, В.М. Кропивний, А.В. Кропивна, Л.А. Молокост – Кіровоград: КОД, 2015. – 168 с.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 5.

Металографічне та растрової електронно – мікроскопічне дослідження металевих матеріалів.

Мета роботи – ознайомитися з методикою дослідження зразків металевих матеріалів методами методом металографічного аналізу та методом растрової електронної мікроскопії.

5.1.КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Основні вули металографічного мікроскопа мікроскопа: освітлювальна система (джерело світла, конденсор, світлофільтри, діафрагми); оптична система (об'єктив, окуляр, дзеркала, лінзи, призми) та механічна система (штатив, тубус, макро- та мікрогвинти тощо).

Для роботи на мікроскопі необхідно:

-вибрати збільшення та встановити відповідні об'єктив та окуляр;

- встановити предметний столик у такому стані, щоб об'єктив знаходився в центрі отвору кільця;
- розмістити досліджуваний шліф на столик полірованою поверхнею донизу;
- при спостереженні в окуляр 3 та обертанні макрогвинта 7 провести грубе наведення на фокус та закріпити столик гвинтом 8. Точне фокусування здійснити обертанням в тому чи іншому напрямку мікрогвинта 1;
- дослідити структуру в різних ділянках шліфа, для чого перемістити предметний столик за допомогою гвинтів 6.

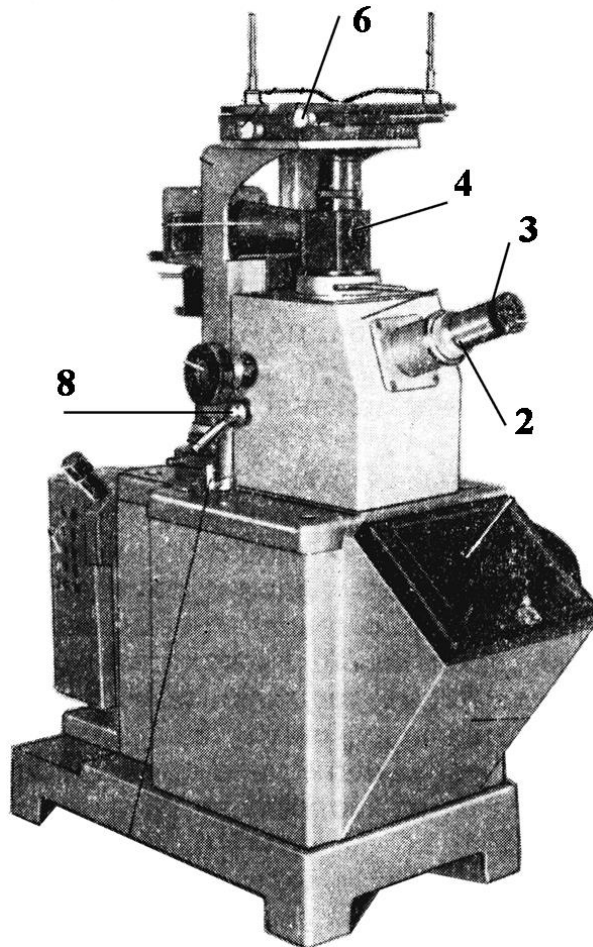


Рисунок 5.1 - Загальний вигляд мікроскопа МІМ-7: 1 – мікрогвинт; 2 - візуальний тубус; 3 - змінний окуляр; 4 - ілюмінаторний тубус зі змінним об'єктивом; 5 - предметний столик; 6 - гвинти переміщення столика; 7 – макрогвинт; 8 - фіксуючий гвинт; 9 - зразок

Проведення металографічного дослідження структури на металографічному мікроскопі МІМ-7 здійснюється у наступній послідовності:

1. Оцінка виду і типу наявних зерен.
2. Визначення наявних фаз у структурі матеріалу, що досліджується.

3. Дослідження наявності неоднорідності або відмінності між різними ділянками зразка.
4. Визначення розміру зерен та особливості деформованих або термічно оброблених поверхонь. Розмір зерен визначають при використанні окуляр – мікрометрів.
5. Дослідження розподілу шлакових включень, швів, пористості.
6. Встановлення наявності нанесеного на поверхню покриття, наприклад, позолоти.
7. Аналіз характеру розповсюдження в структурі корозійних явищ, встановлення наявності та товщини шарів корозії, а також залишків металевих зерен.
8. Виявлення ліній деформації всередині зерен, що свідчить про застосування технологій обробки тиском.
9. Виявлення дендритної будови у зразках з ливарних сплавів та встановлення відстані між осями дендритів.

Вибір збільшення мікроскопа (об'єктив і окуляр) проводять користуючись даними таблиці 4.1.

Таблиця 5.1.

Збільшення мікроскопа МІМ-7 при візуальному спостереженні

Об'єктиви	Окуляри			
	7x	10x	15x	20x
8,6x(F=23,2;A=0,17)	60	90	130	170
14,4x(F=13,89; A=0,30)	100	140	200	300
25,4x(F=8,16; A=0,37)	170	240	360	500
32,5x(F=6,16; A=0,37) 20	250	300	500	650

В отвір візуального тубуса вставляють окуляр. Відкривають затискний гвинт і обертанням мікрометричного гвинта підняти предметний столик. Вставити об'єктив у посадочний отвір, розташований у верхній частині тубуса. У вікно предметного столика вставити підкладку з потрібним отвором у залежності від розмірів шліфу. Обертанням мікрометричного гвинта опустити предметний столик до спів падання риски на кронштейні предметного столика з точкою на корпусі мікроскопа. При допомозі гвинтів установити предметний столик у такому положенні, щоб об'єктив був у центрі отвору підкладки. Помістити шліф, що досліджується, полірованою і протравленою поверхнею вниз на підкладку предметного столика (над об'єктивом). Спостерігаючи в окуляр, обертанням макрометричного гвинта

зробити грубе фокусування. Гвинтом закріпити предметний столик в установленому положенні. Спостерігаючи окуляр, обертанням мікрометричного гвинта роблять фокусування. Спостерігаючи в окуляр, за допомогою гвинтів переміщувати предметний столик і розглядають структуру в різних зонах шліфу.

В даний час розроблено метод одержання тривимірного зображення для аналізу і контролю морфології поверхні і дефектів поверхневих шарів матеріалів на растровому скануючому електронному мікроскопі (РЕМ), Метод растрової електронної мікроскопії забезпечує значну глибину фокусування. На зображенні виникають світлі і темні ділянки, що створює враження тривимірності з ефективним збільшенням приблизно у 20000 крат. За допомогою РЕМ досліджують повархню зразків без попередньої підготовки. Розміри зразків визначаються розмірами камери зразків мікроскопа. Зразки повинні бути струмопровідними, на непровідні матеріали наносять напилюванням тонку плівку провідника, наприклад, графіту.

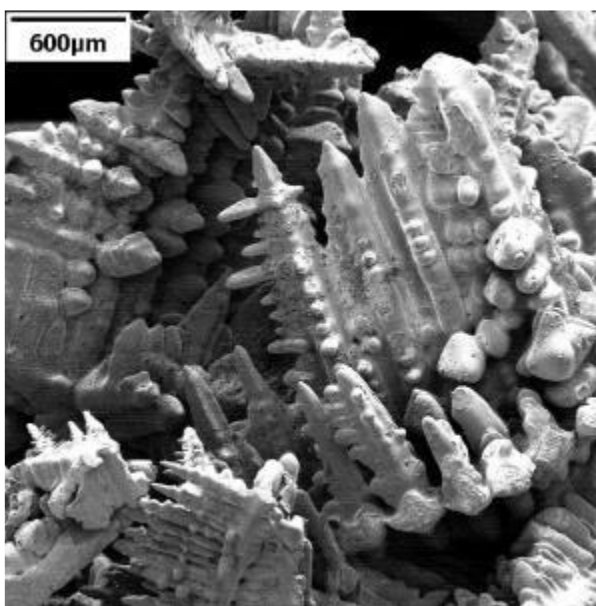


Рисунок 5.2. - Дендритні утворення на поверхні зламу усадкової порожнини всередині сталюого виливка, які виявлені методом растрової електронної мікроскопії, x 200

РЕМ дає можливість:

1. Дослідити великі площі поверхонь проб зі збільшенням в 10-20000 разів і вище з високою роздільною здатністю.
2. Дослідити загальний характер поверхні малими збільшеннями і детально вивчити будь-яку ділянку великими збільшеннями.

3. РЕМ має велику глибину фокуса для спостереження об'ємного зображення структури, що створює умови для вивчення поверхонь з сильно розвиненим рельєфом (наприклад, злами).

4. РЕМ доповнюють мікроаналізатором для аналізу хімічного складу досліджуваних поверхонь, що дозволяє більш повно вивчити об'єкт.



Рисунок 5.3. - Зовнішній вигляд сканувального електронного мікроскопа РЭМ-106И

Досліджуваний зразок в умовах вакууму сканується сфокусованим електронним пучком середніх енергій. Метод сканувальної електронної мікроскопії дозволяє вивчати такі особливості структури матеріалів:

- визначати форму та розмір зерен), а також будову меж зерен;
- вивчати злами зразків різних матеріалів та характер

руйнування (крихке, в'язке);

- вивчати характер розподілу окремих елементів на поверхні зразків.

5.2. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчити будову і принцип дії металографічного мікроскопа МІМ-7. Ознайомитись з конструкцією та правилами роботи на металографічному мікроскопі. Зарисувати мікроструктуру приготовленого зразка при кількох збільшеннях.

2. Вивчити призначення та основні характеристики растрового електронного мікроскопа РЕМ-106И. Ознайомитись з роботою на растровому електронному мікроскопі РЕМ-106И

5.3. ПОРЯДОК ОФОРМЛЕННЯ РОБОТИ

1. Мета роботи.

2. Коротко викласти принцип металографічного дослідження металевих матеріалів та дослідження на растровому електронному мікроскопі.

3. Описати раціональне використання металографічного дослідження та дослідження на растровому електронному мікроскопі.

.

5.4. ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Яка мета металографічного дослідження металів та сплавів?

2. Що таке мікроструктура металу та які її основні елементи?

3. У чому полягає різниця між світловим металографічним мікроскопом та растровим електронним мікроскопом (РЕМ)?

4. Які переваги та недоліки РЕМ порівняно з оптичним мікроскопом?

5. Як порушення технології підготовки шліфів впливає на результати металографічного аналізу?

6. У яких галузях науки і техніки застосовується растровий електронний мікроскоп?

ЛІТЕРАТУРА

1. Фізико - хімічний аналіз об'єктів історико-культурної спадщини. Навчальний посібник для студентів спеціальності 032 «Історія та археологія» / В.М. Кропівний, В.М. Орлик, О.В. Кузик, А.В. Кропівна // Загальна редакція В.М. Кропівного. – Кропивницький: ЦНТУ, 2023. – с. 265.

2. Структурний аналіз металів. Металографія. Фрактографія: Підручник / О.М. Бялік, В.С. Черненко, В.М. Писаренко, Ю.М. Москаленко. - К.: Політехніка, 2006. - 328 с.

3. Матеріалознавство. Навчальний посібник: навчально-методичний комплекс для студентів денної і заочної форм навчання / А.В. Галико, О.В. Кузик, В.М. Кропівний, А.В. Кропівна, Л.А. Молокост – Кіровоград: КОД, 2015. – 168 с.
4. Локальні методи досліджень [Електронний ресурс]: Підручник. / Загородній В.В. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019, 323 с.
<https://ela.kpi.ua/items/4f581657-0495-4b57-9a55-0a254fd70631>
5. Scott D. A. Metallography and microstructure of ancient and historic metals // The Getty Conservation Institute, 1991, p.185.
http://hdl.handle.net/10020/gci_pubs/metallography_microstructure

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 6

Дослідження сплавів заліза в об'єктах історико-культурної спадщини

Мета роботи: ознайомитись із особливостями мікроструктури вуглецевих сталей

6.1. КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Залежно від вмісту вуглецю залізовуглецеві сплави поділяють на сталі (до 2,14 % С) та чавуни (більше 2,14 %). Археологічні залізні сплави поділяють на дві категорії: коване залізо та чавун. З підвищенням вмісту вуглецю у сталі відбувається підвищення міцності та крихкості та зниження пластичності. Більшість сталей в історичних артефактах містять 0,1 - 0,5% вуглецю, а максимальний вміст в окремих випадках (приварені леза ножів) може досягати до 1 % вуглецю. Сплав, що вміщує вуглецю до 0,02 % називають технічним залізом. Його структура складається зі світлих зерен фериту з добре помітними темними границями (рис. 6.3, а).

Залізний вік веде своє літочислення з початку I тисячоліття до н. е. , коли виплавка металу виникла у різних частинах Європи та Азії. Все починалося зі звичайних плавильних ям, викопаних у землі, потім з'явилися горни. Цей процес дозволяв отримати ковке залізо, яке широко використовувалося до масового виробництва зброї та предметів господарського використання. Криця – ком змішаного зі шлаком губчастого заліза, що вимагає подальшого проковування. У печі криця була розпечена до біла. Саме в такому стані її виймали і швидко проковували. Кричне залізо - це низьковуглецевий сплав заліза, який отримували в історичному минулому. Його отримували у вигляді пористої губчастої маси (криці), просякненої шлаком, яку потім проковували для видалення шлаку та ущільнення. Криця складається з зерен фериту, а у

міжзеренному просторі знаходиться пористий шлак. Безформний шматок заліза, що отримується при обробці залізної руди в горні на деревному або кам'яному вугіллі, під ударами молота проковувався, що, забезпечувало його очищення від шлаку і перетворення на болванку. Кричне залізо, було не дуже твердим і міцним. Саме тому виконані з такого матеріалу вироби швидко виходили з ладу. Списи, сокири і ножі гнулися і зовсім недовго залишалися гострими.



Рисунок 6.1.-Витягування криці з печі

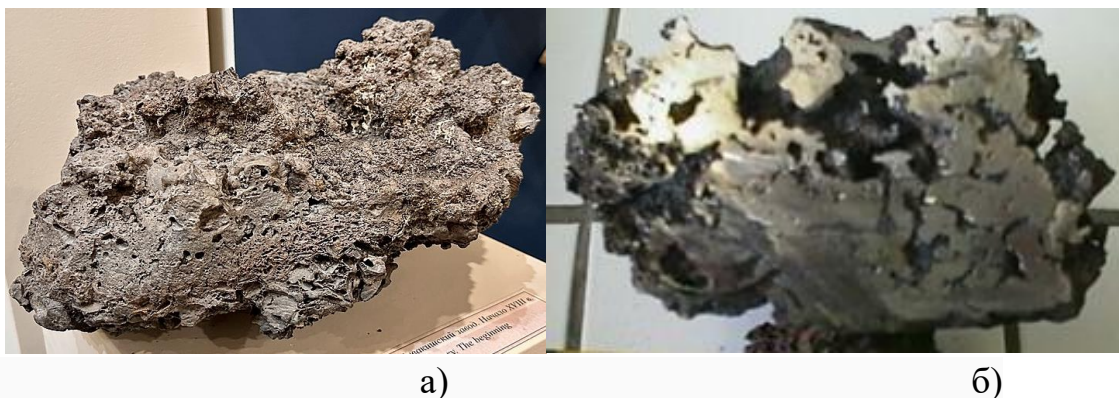


Рисунок 6.2.- Шматок криці (а), розріз шматка криці (б)

Сплави з вмістом вуглецю 0,02...2,14% називаються сталями. Вони поділяються на доєвтектоїдні (0,02...0,8% С), евтектоїдні (0,8% С) і заєвтектоїдні (0,8...2,14% С). Структура доєвтектоїдних сталей складається з суміші фериту та перліту (рис. 6.2, б), евтектоїдних – тільки з перліту (рис. 6.2, в), заєвтектоїдних – перліту і вторинного цементиту (Цц), який при

повільному охолодженні виділяється по границях зерен перліту і спостерігається під мікроскопом у вигляді сітки білого кольору при травленні шліфа спиртовим розчином нітратної кислоти (рис. 6.2, з).

Перлітом називають механічну суміш фериту і цементиту. Перліт містить 0,8% вуглецю. На практиці за мікроструктурою з достатньою точністю можна визначити кількість вуглецю в доєвтектоїдних вуглецевих сталях, враховуючи, що весь вуглець міститься в перлітних зернах. Для цього потрібно візуально визначити площу (у відсотках), яку займають зерна перліту в мікроструктурі і визначити процентний вміст вуглецю у сталі. В процесі травлення мікрошліфа перлітної сталі 4%-м розчином нітратної кислоти в спирті на поверхні шліфа виникає мікрорельєф. Межі між пластинками цементиту і фериту інтенсивніше розчиняються (протравлюються). Така поверхня в оптичному мікроскопі створює уявлення перламутрового переливання (блиску).

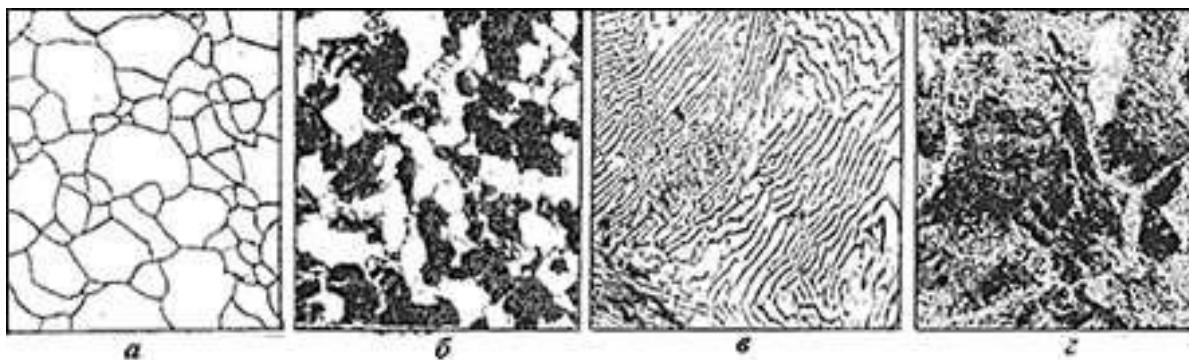


Рисунок 6.3. - Мікроструктура сталей: *a* – технічне залізо (вміст вуглецю 0,01%); *б* – доєвтектоїдної (вміст вуглецю 0,45%); *в* – евтектоїдної (вміст вуглецю 0,8%); *з* – заєвтектоїдної (вміст вуглецю 1,2%)

Дамаська сталь — вид сталі з видимими неоднорідностями на сталевій поверхні, найчастіше у вигляді візерунків, одержуваних різними способами. Дамаска сталь утворюється при багаторазовому перековуванні сталевих пакетів, що складаються із сталей з різним вмістом вуглецю. Дамаська сталь використовується для виготовлення холодної зброї і, рідше, обладунків. Комбінуючи сталеві заготовки з різним вмістом вуглецю з наступним зварюванням шляхом проковування, ковалі добивалися заданого рівня властивостей одержуваного матеріалу. Залізо, як правило, м'яке і легко піддається деформації, високовуглецева сталь — тверда і пружна. Комбінуючи залізо і сталь високовуглецеву, отримували матеріал, який доповнював недоліки обох вихідних сталей. Так виникало чергування шарів металу з дуже високим і дуже низьким вмістом вуглецю. Перші

при загартуванні набували високу твердість, а другі, навпаки, не гартувалися зовсім і служили амортизуючою підкладкою. М'які залізні шари не давали металу бути крихкими, а високовуглецеві шари надавали потрібну пружність і гостроту. При використанні технологій, які були прийняті прийнятої в арабських країнах, ранньосередньовічній Європі та в Китаї, проковували пучок заздалегідь заготовленого дроту або стрічок з певним вмістом вуглецю. Візерунки на поверхні дамаської сталі є оптичним ефектом нерівномірного розподілу вуглецю в зв'язку з неоднорідністю матеріалу. На території Київської Русі візерунчастий булат був відомий ще в домонгольський період і називався булатом або «червоним залізом». Істотних масштабів застосування дамаської зброї на Русі досягло в XV століття, але до початку XVIII століття клинки з дамаської сталі ввозилися з Персії. Європейським майстрам вдалося освоїти технологію отримання багат шарового візерункового дамаску за близькосхідною технологією тільки до початку XVII століття,

Структура дамаської сталі складається з численних шарів, які утворюються шляхом кування та зварювання різних сталей із різним вмістом вуглецю. Вона містить як тверді карбідні включення, які надають високу твердість і зносостійкість, так і м'якіші феритні волокна, що забезпечують гнучкість та ударну в'язкість. Карбідні включення надають високої твердості, що забезпечує тривале збереження гостроти ріжучої кромки. Наявність м'якших феритних волокон додає гнучкості та ударної в'язкості, що робить дамаські ножі міцними та довговічними. Завдяки тому, що твердіші карбіди та м'якший ферит створюють неоднорідну структуру, на поверхні леза з'являється унікальний візерунок після заточування та шліфування.



Рисунок 6.4.- Мікроструктура дамаської сталі

Булат (від перс. *фулад*, «сталь») — сталь, завдяки особливій технології виготовлення відрізняється своєю внутрішньою структурою і виглядом («візерунком») поверхні, високою твердістю і пружністю. Булат - це отримана спеціальним способом понад високовуглецева сталь, що набуває після механічної та термічної обробки комплекс властивостей, що поєднують високу твердість, міцність і пружність у поєднанні з високою пластичністю. Хімічно булат відрізняється від сталі вищим вмістом вуглецю. Але фізично він зберігає гнучкість низьковуглецевих. Такі властивості більш пов'язані зі структурою металу, ніж з хімічним складом.



Рисунок 6.5. - Візерунок на поверхні артефакту з дамаської сталі

Якщо куванням або вальцюванням розбити сітку вторинного цементиту на окремі фрагменти, ми отримаємо матеріал, армований включеннями надтвердого цементиту. Аналіз мікроструктури булатних клинків, що збереглися, показує, що їх лита заготовка піддавалася інтенсивному куванню, при якому вихідна товщина зменшувалася в 3-8 разів.

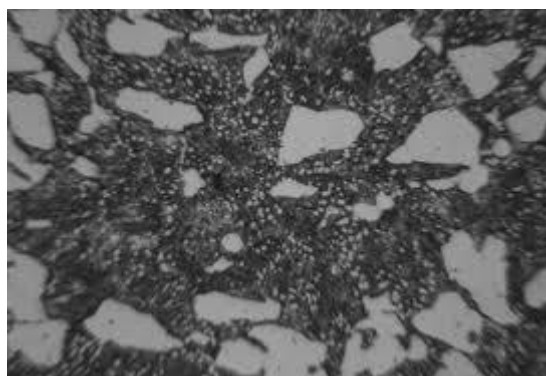


Рисунок 6.6- Мікроструктура булатної сталі

Ч а в у н и - це залізовуглецеві сплави, що містять більше 2,14%С. Вони кристалізуються з утворенням евтектики і тому характеризуються добрими ливарними властивостями: великою рідкотекучістю, малою лінійною усадкою. Це дозволяє одержувати відливки складної форми з малою товщиною стінок. Вуглець у чавунах може знаходитися у вільному стані (графіті), у зв'язаному вигляді (цементиті). Часто чавн служив матеріалом для пушечних ядер.

У білих чавунах весь вуглець знаходиться у зв'язаному вигляді (Fe_3C). Велика кількість цементиту в структурі білих чавунів зумовлює їх значну твердість (НВ 540...550), низьку пластичність та неможливість обробки різанням. Зменшення швидкості охолодження сприяє процесу графітизації. У сірих чавунах графіт на площині шліфа має пластинчасту форму. Пластинчастий графіт являє собою надрізи, що знижують міцність матеріалу. Графіт сприяє утворенню крихкої стружки і тим поліпшує обробку чавунів різанням.



Рис. 6.7 - Мікроструктура сірого чавуна

6.2. МАТЕРІАЛИ ТА ОБЛАДНАННЯ

Металографічні мікроскопи, набір мікрошліфів сталей з різним вмістом вуглецю, альбоми фотографій мікроструктур.

6.3. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчити та зарисувати мікроструктуру приготовлених зразків зі сплавів заліза як матеріала історичних артефактів. Під кожним рисунком мікроструктури написати назву сталі, вказати її структурні складові, орієнтовний хімічний склад і її раціональне використання.

2. Описати технологію виготовлення історичного артефакту зі сплавів заліза.
3. Описати доцільність використання сплавів заліза для виготовлення вказаних викладачем історичних артефактів.

6.3.ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Які основні види залізних сплавів використовувалися для виготовлення історичних артефактів?
2. Які основні методи аналізу мікроструктури залізних сплавів застосовуються у реставрації та археології?
3. Що таке ферит, перліт, цементит та їх роль у структурі сталей?
- 4.Що таке кричне залізо, як його отримували в старину?
- 5.Для виготовлення яких історичних артефактів використовували чавун?
6. Порівняти показники властивостей дамаської та булатної сталі.
7. Яка мікроструктура сталі з масовою часткою вуглецю 0,8% за кімнатної температури?
8. Як визначити вміст вуглецю в доєвтектоїдній сталі за мікроструктурою?
9. Яка мікроструктура заєвтектоїдної сталі за кімнатної температури?

ЛІТЕРАТУРА

- 1.Фізико - хімічний аналіз об'єктів історико-культурної спадщини. Навчальний посібник для студентів спеціальності 032 «Історія та археологія» / В.М. Кропівний, В.М.Орлик, О.В.Кузик, А.В. Кропівна // Загальна редакція В.М.Кропівного. – Кропивницький: ЦНТУ, 2023. – с. 265.
2. Структурний аналіз металів. Металографія. Фрактографія: Підручник / О.М. Бялік, В.С. Черненко, В.М. Писаренко, Ю.М. Москаленко. - К.: Політехніка, 2006. - 328 с.
- 3.Матеріалознавство. Навчальний посібник: навчально-методичний комплекс для студентів денної і заочної форм навчання / А.В. Галико, О.В. Кузик, В.М. Кропівний, А.В. Кропівна, Л.А. Молокост – Кіровоград: КОД, 2015. – 168 с.
4. Паньков С.В., Вознесенська Г.О. Організація залізодобувного і залізообробного виробництва у давньоруському Києві (про витоки місцевої чорної металургії та металообробки) Археологія, 2008, № 3 <https://nasplib.isofts.kiev.ua/server/api/core/bitstreams/51c784a4-8729-4e68-8481-24d3f9f057ba/content>

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 7

Дослідження мідних сплавів в об'єктах історико-культурної спадщини

Мета роботи - ознайомитися з мікроструктурою, основними властивостями та використанням сплавів на основі міді.

7.1.КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Мідь - метал червоного кольору, з температурою плавлення 1083°C , питома вага - $8,94\text{ г/см}^3$. Мідь - метал з високими показниками пластичності, вона легко оброблюється тиском, але має невисокі ливарні властивості через велику усадку. Мідь добре нагартується в результаті деформаційного зміцнення, внаслідок якого твердість зростає втричі. Мідь має досить високу корозійну стійкість в атмосферних умовах, у прісній та морській воді. На повітрі в присутності вуглекислого газу покривається патиною - плівкою зеленого кольору.

Наявність у складі міді домішок значно впливає на її властивості. Компоненти та домішки міді за впливом на процеси структуроутворення поділяють на три групи:

- 1) компоненти, що утворюють з міддю тверді розчини – Ni, Zn, Sb, Sn, Al, Fe, P тощо. Ці компоненти зміцнюють мідні сплави та ускладнюють гарячу обробку тиском;
- 2) компоненти, які практично нерозчинні у міді (Pb), утворюють в її структурі ізольован свинцеві включення. Присутність домішок свинцю у складі міді забезпечує підвищення її ливарних властивостей;
- 3) домішки кисню та сірки, які утворюють з міддю крихкі хімічні сполуки. Сірка практично нерозчинна в міді і при температурі 1067°C утворює крихку евтектику. Присутність сірки приводить до різкого зниження пластичності міді при деформуванні в холодному стані. Мідь має здатність прокатуватися у фольгу, тонкі листи, стрічку. Шляхом волочіння міді отримують дріт діаметром 10-15 мкм.

Всі сплави міді (крім сплавів міді з цинком) мають назву бронзи. Відкриття бронзи зробило революцію у стародавньому суспільстві. Бронзові інструменти, зброя та різні обладунки служили набагато довше, ніж їхні кам'яні попередники, їх можна було переплавляти та використовувати повторно. Володіння бронзовими виробами було показником соціального статусу власників цих артефактів. Бронзові сокири були найціннішим знаряддям того часу. У багатьох частинах світу археологами було виявлено бронзові артефакти.

Ливарні олов'яні бронзи мають добрі ливарні властивості (високу рідкотекучість, малу лінійну усадку), тому її використовують для виготовлення деталей складної форми. Завдяки високим ливарним властивостям з цих сплавів з бронзи з давнини відливали гармати, церковні дзвони та пам'ятники.

Позитивний вплив на якість бронзи присутності у складі сировини миш'яку було помічено стародавніми металургами. Бронза із вмістом миш'яку могла утворитися природним шляхом вже при металургійному виробництві, оскільки миш'як є супутньою домішкою у мідній руді багатьох родовищ. Термін «миш'якова бронза», який використовується в археології, зазвичай застосовується до мідних сплавів із вмістом миш'яку вище 1% за масою. Миш'якова бронза є значно міцнішою за мідь, яку виплавляли з чистих мідних руд. Достатньо наявності у міді 1–4% миш'яку, щоб сплав став твердішим і водночас зберіг високу пластичність міді, яка є необхідною для надання артефактам необхідної форми за допомогою кування. Додатки миш'яку також знижують температуру плавлення мідного сплаву. Миш'як забезпечує очищення металу від забруднень шлаковими включеннями та підвищує рідкоплинність розплаву. У твердому стані максимальна розчинність миш'яку в міді складає 6,9% при кімнатній температурі. Вміст у бронзі понад 1% миш'яку призводить до появи крихтих сріблястих плям на поверхні бронзових артефактів. Це явище відоме під назвою «миш'яковий піт».

Найдавніші відомі на сьогодні артефакти з миш'якової бронзи, які датуються V тисячоліттям до нашої ери, були знайдені на Іранському плато. Цей сплав використовували для виготовлення знарядь праці, зброї, прикрас. З розповсюдженням миш'яковистої бронзи з'явилися важливі нововведення у виробництві зброї. Виробництво довгих лез кинджалів методом ливарного виробництва стало можливим завдяки додаванню до міді миш'яку, який зменшував утворення газової пористості при кристалізації. В процесі холодного кування відбувалося зміцнення таких сплавів за рахунок нагартування. Це дозволило виготовляти методом лиття заготовки бронзових сокир з вушком для встановлення дерев'яної рукояті, а потім лезо відковувати - відтягнути, загострити та зміцнити. Інструменти з миш'якової бронзи виходили більш ефективними і продуктивними, порівняно з чисто мідними. Миш'якову бронзу також використовували у багатьох районах Стародавнього світу, що включали причорноморську область Європи та Кавказу, а також Китай, Індію та Близький Схід, Мексику. Регіони виробництва артефактів з миш'якових бронз досить розрізнені географічно, тому складно говорити про технологічні запозичення. Створення технологій виробництва миш'якових бронз відбувалося в різні періоди та впродовж різного періоду часу окремо у

кожному регіоні. Технології виробництва сплавів міді з миш'яком мали певні відміни і створювали помітний вплив на культурні контексти відповідних країн.

Народи Близького Сходу та Європи користувалися артефактами з миш'якової бронзи впродовж двох тисячоліть (з 4000 до 2000 років до н.е.), перш ніж її заміником стала олов'яна бронза. Перші згадки про сплав міді та олова датовані IV тисячоліттям до н. е. При добавках олова до міді досягалися більш стабільні результати з використанням, оскільки його можна було додавати безпосередньо в мідь у точно визначених кількостях. Точну кількість миш'яку, що вводився у розплав міді, було складніше забезпечити через його інтенсивне випаровування. Олов'яні бронзи виявилися більш технологічними для проведення багаторазового переплавлення лому і браку.

Олов'яні бронзи залежно від вмісту олова і фазового стану, поділяються на однофазні (до 5% Sn) зі структурою α -твердого розчину і двофазні (більше 5% Sn). Двофазні олов'яні бронзи мають підвищену твердість, міцність та крихкість і ускладнено піддаються механічній обробці, тому заготовки для виробництва артефактів створювалися з таких сплавів переважно методом ливарного виробництва.

В системі Cu - Sn наявні наступні фази:

α -твердий розчин олова у міді має максимальну розчинність 15,8% олова при підвищених температурах;

β -твердий розчин, який утворюється на основі інтерметалічної сполуки Cu₅Sn;

γ та δ - електронні з'єднання на базі інтерметалічної сполуки Cu₃₁Sn₈. δ -фаза має високу твердість та крихкість і присутня у структурі сплавів при концентрації олова більш ніж 8% у складі евтектоїда $\alpha + \delta$ (Cu₃₁Sn₈).

У процесі кристалізації литих заготовок з олов'яної бронзи спостерігається ріст дендритів з послідовним заповненням проміжків між гілками дендритів евтектоїдом. Центральна частина гілок дендритів є збагаченою міддю, оскільки цей метал, у порівнянні з оловом, має значно вищу температуру плавлення. В процесі розростання гілок дендритів залишки розплаву збагачуються оловом. При вмісті олова від 2 до 5% цей компонент знаходиться повністю у розчиненому стані у мідному твердому розчині, з якого формуються гілки дендритів. найбільш високу пластичність мають бронзи з вмістом до 5% олова. Це пояснюється тим, що при більшому вмісті олова, бронзи стають більш схильними до дендритної ліквідації.

Ливарні олов'яні бронзи відрізняються кращою рідкоплинністю, мають золотистий колір, при тривалому зберіганні на повітрі покривається благородним оксидом – патиною синьо-зеленого та коричневого кольорів.

При обробці куванням з послідуєчим відпалюванням в однофазному мідно-олов'яному сплаві будуть утворюватися двійники відпалу, лінії деформації, а зерна будуть подрібнюватися та набувати сплющеної форми. Такі ж особливості розвиватимуться і у випадку двофазного сплаву, при цьому крихкий евтектоїд може подрібнюватися. Якщо у виливку сформувалася дендритна структура, така будова може залишитися і в обробленому тиском сплаві у вигляді слабкого дендритного малюнка, накладеного на рекристалізовані зерна.



Рисунок 7.1 - Мікроструктура литої олов'яної бронзи із 5% Sn, x 100. Видно темні осі дендритних зерен бідного оловом твердого розчину. Проміжки між осями - твердий розчин, збагачений оловом



Рисунок 7.2 - Мікроструктура деформівної α – латуні, x 250.

Рівень ливарних властивостей дозволяє отримувати з олов'янистих бронз фасонні виливки з чітким відтворенням відбитка робочої порожнини форми та високоякісне художнє лиття. Однофазні бронзи пластичні і добре піддаються деформуванню, з них виготовляли пластини для панцирних обладунків, вудила та прикраси кінської зброї, різноманітні бляхи, персні та браслети, металевий посуд, монети, наконечники стріл бронзові дзеркала. Олов'яні бронзи мають високу корозійну стійкість в атмосферних умовах, морській та прісній воді. Також олов'яна бронза була традиційним матеріалом для виготовлення литих монет, медалей, плакеток та інших нумізматичних виробів. Використанню такого сплаву в регіонах сприяв золотистий колір такої бронзи. Олов'яні бронзи, які містять 10% олова також використовували для відливання гармат. Поліпшене звучання церковних дзвонів («малиновий звін») досягали при їх виготовленні із бронз із підвищеним вмістом олова від 20 до 22%. Такий сплав має дрібнозернисту структуру і підвищену крихкість, однак це забезпечувало високі музичні властивості.

Двофазні олов'яні бронзи з вмістом олова понад 15% використовують як ливарні матеріали для виготовлення фасонних виливків. Такі бронзи характеризуються зниженою рідкоплинністю, тому у виливках не утворюються усадкові раковини, але виникає дрібна рівномірно розподілена пористість.

Мідь та свинець не утворюють взаємних розчинів ні в рідкому, ні у твердому станах. Дані сплави дуже схильні до ліквідації за питомою вагою, тому перед розливанням сильно перемішані розплави швидко охолоджують. У виливках з бронзи свинець знаходиться у вигляді дрібних глобул, які рівномірно розподілені по всій структурі. Історичні артефакти з двофазних олов'яних бронз, що містять понад 17% було виготовлено шляхом виготовлення заготовки методом ливарного виробництва з наданням заготовці більш точної форми шляхом гарячої обробки при температурі 650°C. Наприкінці обробки сплав повторно нагрівали до тієї ж температури, а потім гартували з високою швидкістю охолодження для збереження однорідної високотемпературної фази. Гравітаційне осідання може спричинити підвищений вміст свинцю в нижній частині виливка. На практиці розвиток процесів сегрегації обмежуються утворенням дендритної структури, і при високій швидкості охолодження свинець тонко диспергується між дендритами.

Свинець полегшує лиття бронз, наприклад, він значно покращує рідкоплинність розплаву. Присутність свинцю у сплаві може бути шкідливою, у випадку коли бронза використовується для виготовлення кинджалів чи лез мечів, оскільки вони будуть ослаблені включенням свинцю.

Хімічний склад кородованої поверхні бронзових артефактів відрізняється вищим вмістом олова. Таке явище пояснюється тим, що мідь при захороненні окислюється у вологому ґрунті більш інтенсивно ніж олово, тому вміст олова в кородованій частині артефакту є вищим, ніж у серцевині. Різну здатність компонентів до окислення слід враховувати при аналізах бронзових артефактів, щоб не допустити отримання неправильних висновків відносно початкового складу металу досліджуваного артефакта.

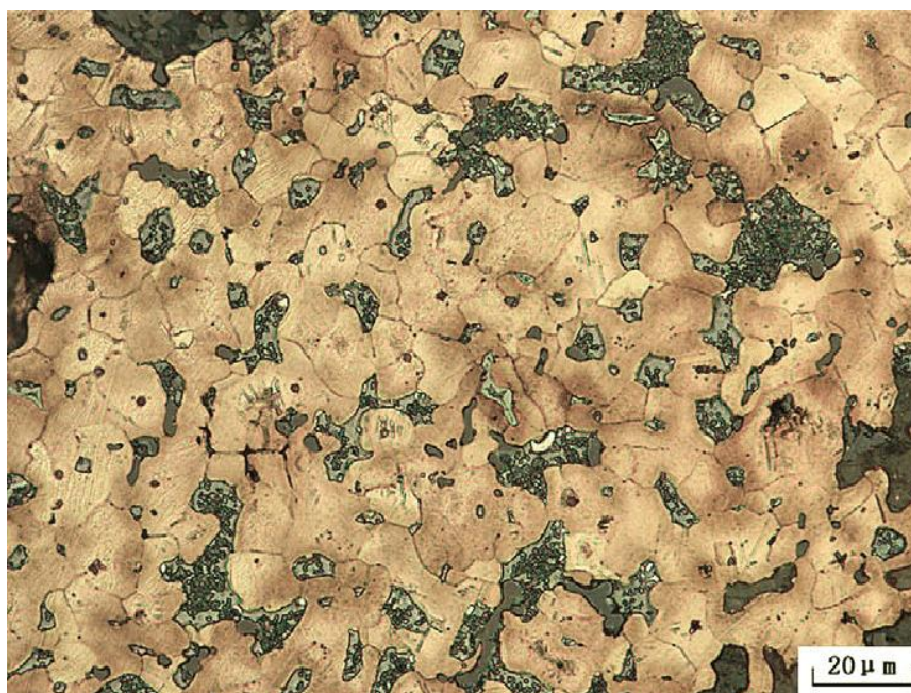


Рисунок 7.3 - Мікроструктура свинцевої бронзи з вмістом 15% Pb

Починаючи з I століття до н.е. починається широке виробництво латуні - сплаву міді з цинком, який мав золотистий колір і поступово став заміником олов'яних бронз. Цей сплав виплавлявся з природних сумішей мідних та цинкових руд. У процесі виплавки цинкова і мідна руда змішувалися і плавилися разом. Також використовували металевий цинк, який вироблявся в Трансільванії, а також у стародавній Індії та Китаї. Латунь є більш дешевим матеріалом за олов'яну бронзу, оскільки вона не містить дефіцитного олова. Стародавні римляни першими почали використовували латунь, переважно для декоративних цілей, особливо для виробництва золотистих шоломів. До того, як срібло з Нового Світу заповнило Європу латунь вважалася символом багатства, оскільки її було складно отримувати у великих кількостях. Латунь добре деформується в гарячому та холодному станах. У середні віки латунь стала основним матеріалом для виготовлення точних інструментів для

астрономії, геодезії, навігації та інших наукових цілей. Латуні поділяються на три групи залежно від фазового складу:

α - латуні з вмістом цинку до 35%;

$\alpha + \beta$ латуні з вмістом цинку від 35% до 46,6%;

β -латуні з вмістом цинку від 46,6% до 50,6%.

За технологічними ознаками спеціальні латуні поділяють на деформівні та ливарні.. У більшості історичних латунних артефактів верхня межа вмісту цинку не перевищувала 28%. Латуні в історичних артефактах переважно мали у мікроструктурі α – фазу та серцевину з дендритною структурою і добре піддавалися холодній обробці та відпалу.

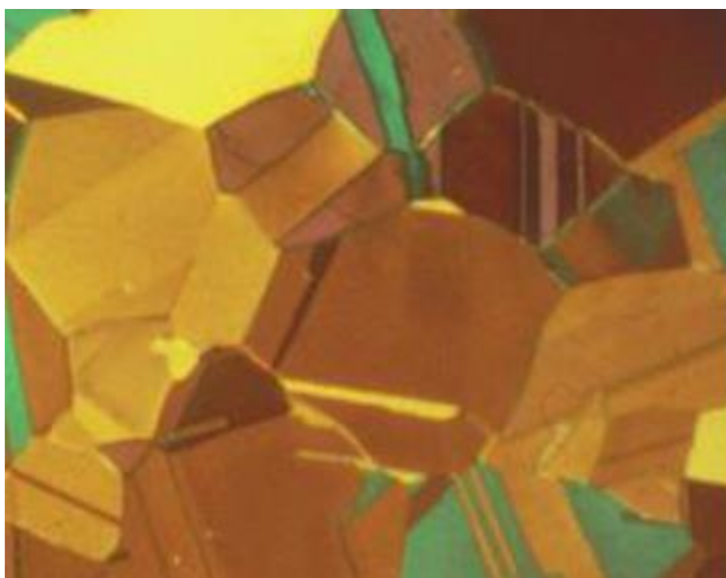


Рисунок 7.4 – Мікроструктура α - латуні після деформування та відпалювання (кольорове травлення), х 200

7.2. МАТЕРІАЛИ ТА ОБЛАДНАННЯ

Металографічні мікроскопи, набір мікрошліфів сталей з різним вмістом вуглецю, альбоми фотографій мікроструктур.

7.3. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчити та зарисувати мікроструктуру приготовлених зразків з мідних сплавів як матеріала історичних артефактів. Під кожним рисунком мікроструктури написати назву мідного сплаву, вказати її структурні складові, орієнтовний хімічний склад і її раціональне використання.
2. Описати технологію виготовлення історичного артефакту зі сплавів міді.
3. Описати доцільність використання сплавів міді для виготовлення вказаних викладачем історичних артефактів.

6.3.ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Чим пояснюється хороша корозійна стійкість міді у природних середовищах?
2. Яким чином зміцнюють мідь?
3. Зіставте властивості міді у наклепаному та відпаленому стані.
4. Домішки яких хімічних елементів практично не розчиняються у міді?
5. Чи є відмінність у мікроструктурі литого та деформованого мідного сплаву, який піддано послідовному рекристалізаційному відпалу міді?
6. Як впливає цинк на властивості однофазних латунів?
7. Які латуні називаються однофазними?
8. Чим відрізняються властивості однофазних та двофазних латунів?
9. У якому стані латунь чи бронза має дендритну будову?
10. Дайте характеристику властивостей олов'яних бронз.
11. Як класифікують латуні за технологічною ознакою?
12. Для виготовлення яких історичних артефактів застосовувалися латуні?

ЛІТЕРАТУРА

1. Фізико - хімічний аналіз об'єктів історико-культурної спадщини. Навчальний посібник для студентів спеціальності 032 «Історія та археологія» / В.М. Кропивний, В.М. Орлик, О.В. Кузик, А.В. Кропивна // Загальна редакція В.М. Кропивного. – Кропивницький: ЦНТУ, 2023. – с. 265.
2. Структурний аналіз металів. Металографія. Фрактографія: Підручник / О.М. Бялік, В.С. Черненко, В.М. Писаренко, Ю.М. Москаленко. - К.: Політехніка, 2006. - 328 с.
3. Матеріалознавство. Навчальний посібник: навчально-методичний комплекс для студентів денної і заочної форм навчання / А.В. Галико, О.В. Кузик, В.М. Кропивний, А.В. Кропивна, Л.А. Молокост – Кіровоград: КОД, 2015. – 168 с.
4. Scott D. A., Podany J., Considine B.B. Ancient & Historic Metals Conservation and Scientific Research // The Getty Conservation Institute, 2007, Electronic Edition, p.96.
https://www.getty.edu/conservation/publications_resources/pdf_publications/pdf/ancientmetals1.pdf

ЗМІСТ

	стор
ВСТУП	3
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 1 Вивчення Законів України «Про музеї та музейну справу», «Про охорону культурної спадщини» та «Про охорону археологічної спадщини»	5
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 2 Радіовуглецевий метод датування	11
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 3 Методи дослідження властивостей металевих матеріалів	20
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 4 Методика виготовлення шліфів та проведення металографічних досліджень	25
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 5. Металографічне та растрової електронно – мікроскопічне дослідження металевих матеріалів	29
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 6 Дослідження сплавів заліза в об'єктах історико-культурної спадщини	35
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 7 Дослідження мідних сплавів в об'єктах історико-культурної спадщини	42