

ТЕПЛОФІЗИЧНІ ТА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ПРОЦЕСИ ТВЕРДІННЯ МЕТАЛІВ ТА СПЛАВІВ

ISSN 2077-1304. Met. lit'e Ukr., vol. 33, 2025, № 3-4 (342-343), 53-63

<https://doi.org/10.15407/steelcast2025.03-04.053>

УДК 620.22:620.3]:7+669]"364"

О.С. Воденнікова¹, канд. техн. наук, доц., доц., e-mail: oksana_vodennikova@ukr.net,

<https://orcid.org/0000-0003-0496-5435>

С.А. Воденніков², д-р техн. наук, проф., проф., e-mail: s_vodennikov@i.ua,

<https://orcid.org/0000-0002-5563-5244>

К.А. Піщенко¹, здобувач вищої освіти, e-mail: kirillpishenko@gmail.com

¹Запорізький національний університет (Запоріжжя, Україна)

²Національний університет «Запорізька політехніка» (Запоріжжя, Україна)

НаноАрт та металургія: симбіоз мистецтва та нанотехнологій під час війни

Актуальність роботи полягає в симбіозі мистецтва та нанотехнологій, що дає можливість в новому ракурсі побачити мікро- та макроструктури чорних та кольорових металів і сплавів. Показано, що при створенні зображення у стилі НаноАрт, розглядаються три етапи: синтез наноструктури (наноматеріалу), дослідження мікро- та макроструктури чорних та кольорових металів і сплавів з отриманням зображення високої якості та безпосереднє отриманого зображення НаноАрт за допомогою графічних редакторів (так зване «розфарбування» об'єкта дослідження). В якості графічних редакторів пропонується використовувати: піксельну графіку — Adobe Photoshop CS, Microsoft Paint; векторну графіку — Adobe Illustrator CS, Microsoft Map, CorelDraw та інші. При «розфарбуванні» об'єкта дослідження головним залишається творча складова: можлива зміна кольорової гами та «домалювання» деталей зображення. При цьому кожне зображення НаноАрт повинно мати так зване «розшифрування», тобто опис структури металу або сплаву, що підлягає дослідженню, та очікуваний результат «розфарбування».

Показано можливість під час дистанційного навчання здобувачів вищої освіти застосування науково-творчого підходу до вивчення мікро- та макроструктур чорних та кольорових металів і сплавів. Зокрема, пропонується розглянути можливість виконання онлайн лабораторної роботи «НаноАрт і металургія» для здобувачів спеціальності G10 «Металургія». Показано, що поєднання науки і мистецтва через дослідження мікро- та макроструктур чорних та кольорових металів сприяє розвитку творчих здібностей і популяризації українського мистецтва. Створені у стилі НаноАрт картини несуть символічний меседж, закликають до підтримки України та зберігають пам'ять про боротьбу українського народу. Поєднання мистецтва та металургії у вигляді картин НаноАрт привертає увагу світу до подій, що відбуваються в Україні у зв'язку з російським вторгненням на терени країни у 2022 році, закликаючи до допомоги та підтримки.

Ключові слова: НаноАрт, нанотехнології, наночастини, метали і сплави, мікроструктура, макроструктура.

Вступ. Відомо, що НаноАрт як один із напрямів наукового мистецтва заснований на творчій переробці продуктів нанотехнологій, а саме зображень молекулярної структури речовини, отриманих за допомогою електронних або атомно-силових мікроскопів. З одного боку — це природничо-наукова революція, яка вразила світ своїми результатами в галузі нанотехнологій, з іншого боку — це інформаційна революція, яка зробила доступними різноманітні комп'ютерні технології, в тому числі ті,

що відкривають найширший спектр можливостей роботи з візуальними образами [1]. Основна ідея НаноАрт — демонстрація глядачеві можливостей техніки зі створення мікроскопічних арт-об'єктів [2].

НаноАрт — це наноландшафти (молекулярні та атомні ландшафти, які є природними структурами речовини на молекулярному та атомному рівнях) та наноскульптури (структури, створені маніпулюванням речовиною на молекулярних та атомних рівнях, використовуючи хімічні та фізичні процеси). Ці структури візуалізуються за допомогою дослідницьких

інструментів, таких як скануючі електронні мікроскопи та атомно-потужні мікроскопи [3].

На сьогодні терміни «наукове мистецтво» та «НаноАрт» можуть розглядатися як надзвичайно близькі за духом терміни «технічна естетика», «художнє конструювання», «промислове мистецтво» — терміни, що несуть у собі поєднання двох, здавалося б, протилежних засад, науково-технічного та художнього. З тією різницею, що технічна естетика має на увазі художнє осмислення штучно створеного людиною техногенного середовища. НаноАрт, як основний вихідний матеріал для своєї практики, використовує «конструктивні» матеріали, створені самою природою.

Створені образи НаноАрт дуже наочні та яскраві. Можна говорити про те, що НаноАрт відрізняється системою художньо-образних завдань — художні образи не залишать людей байдужими своєю неповторною красою та незвичайністю.

Процес створення зображення НаноАрт, його техніку можна представити таким чином: художники створюють скульптури (композиції) мікро- та нанорозмірів під дією хімічних або фізичних процесів обробки матеріалів, фотографуванням отриманих міні-образів за допомогою електронного мікроскопа та обробкою чорно-білих фотографій у графічному редакторі. Використовуючи растровий електронний мікроскоп, роблять відбитки зрізів твердих тіл, чорно-білі зображення обробляють на комп'ютері, додають колір до складної структури матеріалу. Особливої глибини та тривимірності зображення можна досягти, використовуючи техніку DigitalFaux — особливі фільтри та ефект напівпрозорих шарів [4–6].

У всьому світі відомі роботи румунського митця і науковця Кріса Орфеску (засновник НаноАрт), який маніпулює хімікатами та створює наноскульптури, які потім роздуває у великі твори мистецтва за допомогою скануючого електронного мікроскопа (рис. 1) [7].

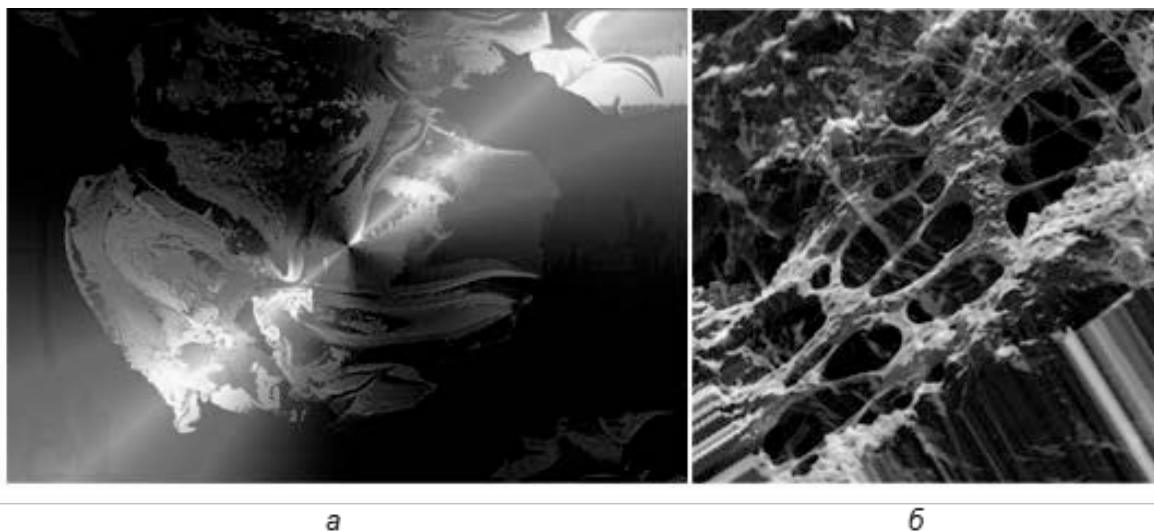


Рис. 1. НаноАрт Кріса Орфеску [7]: а — НаноАрт «Світло крізь отвір»; б — НаноАрт «Квантове тунелювання»

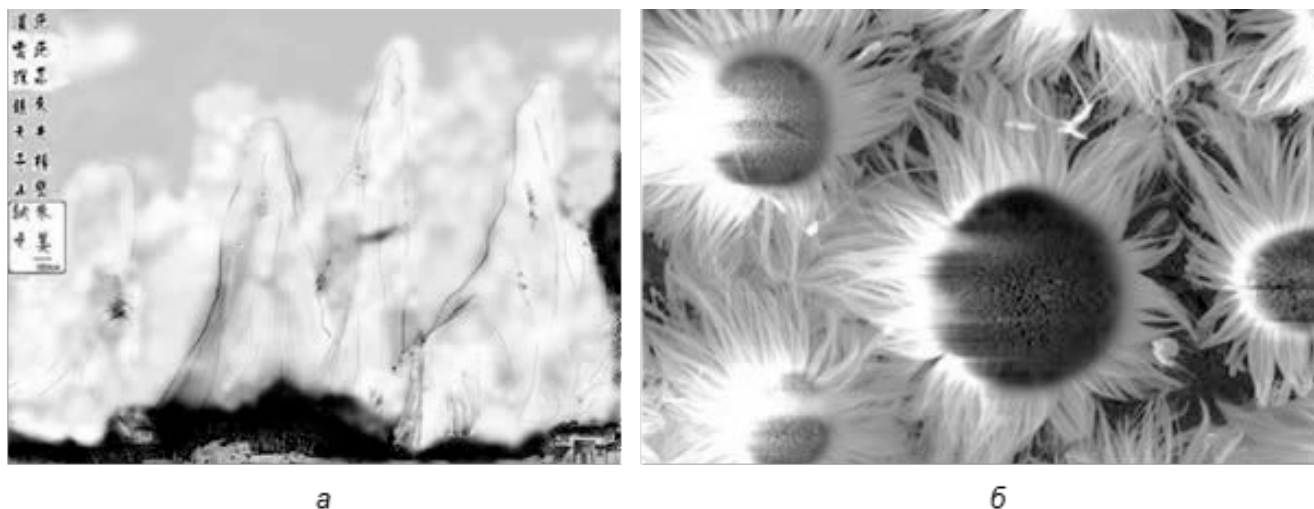


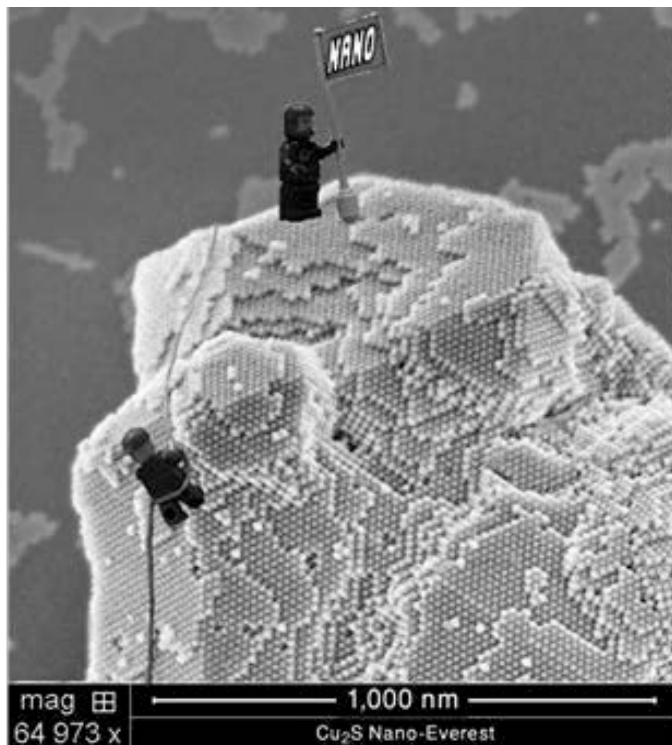
Рис. 2. НаноАрт автора S.K. Hark'a з Китайського університету Гонконгу [8]: а — НаноАрт, створений на прикладі наночастини оксиду цинку (НаноАрт «Гірський пейзаж»); б — НаноАрт, створений на прикладі нанотрубок розміром у кілька мікронів, які вирощені на галієвій та золотій підкладці (НаноАрт «Соняшники»)

В Китаї питанням НаноАрту займався професор S.K. Hark (рис. 2) [8].

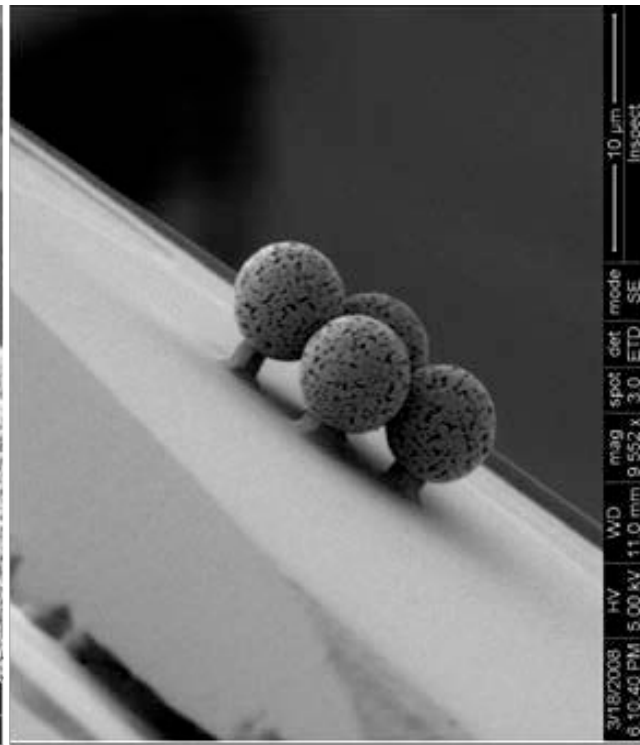
Відомі зображення наночастинок Cu_2S , отримане за допомогою скануючого електронного мікроскопа Magellan XHR (рис. 3а), скануюче зображення хіральних мікросфер полі(N-вініл α -L- фенілаланіну) (PV-L-PhA) на кристалах D-Ala (рис. 3б) та 3D-математично оброблене уявлення

монохроматичних дифракційних картин від нанометричних шарів золотих плям на тонкій комбінаторній плівці повністю оксидного сонячного елемента, що складається з TEC8 $[\text{TiO}_2 | \text{Co}_3\text{O}_4\text{-ZrO}_2/\text{Y}_2\text{O}_3]$ (рис. 3в) [3].

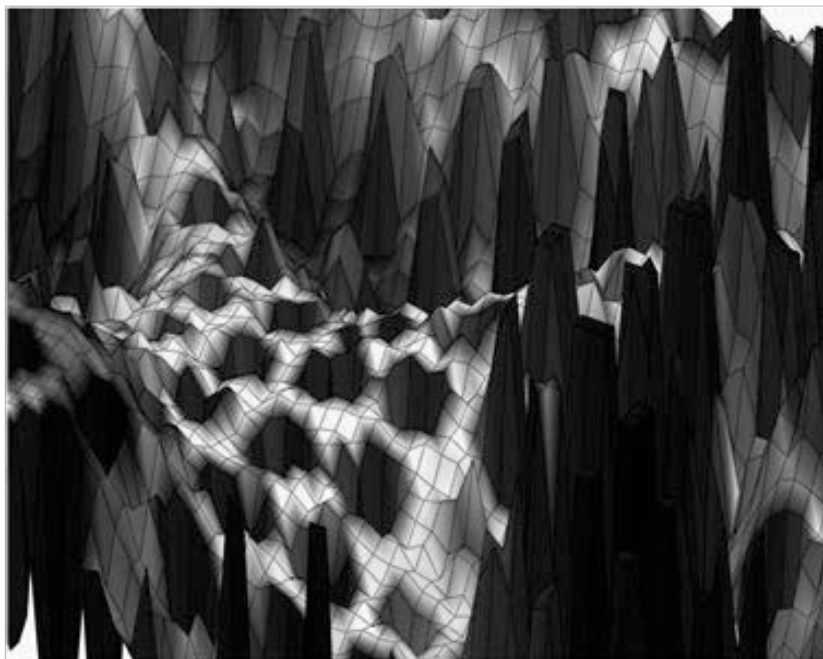
Слід зазначити, що в Україні НаноАрт як вид мистецтва майже не представлений, а існує лише у невеликих масштабах. Основні здобутки за цим на-



а



б



в

Рис. 3. Приклади НаноАрт науковців з Ізраїлю [3]: а — НаноАрт авторів Кеті Винокуров, Йорай Аміт, Адам Фауст із дослідницької групи професора Урі Баніна на хімічному факультеті Єврейського університету в Єрусалимі; б — НаноАрт авторів Дженні Голдштейн та Дана Д. Медіна із лабораторії С. Маргеля та Й. Масаї Інституту нанотехнологій та перспективних матеріалів хімічного факультету Університету Бар-Ілан; в — НаноАрт автора Ассаф Й. Андерсон з Університету Бар-Ілан

прямом має Бердянський державний педагогічний університет, зокрема широкого розповсюдження набув мистецько-науковий проєкт «НаноАрт» під керівництвом Яни Сичікової та Сергія Ковачова [9].

Уваги заслуговує мікроскопічне зображення наночастинок оксиду кадмію на сульфіді кадмію (рис. 4а). Зображення розфарбовано за допомогою Adobe Photoshop у жанрі Scientific Art Nanoart та збільшено в 3983 рази. НаноАрт «Бавовна» набуває культурного значення завдяки мему в Україні, що символізує вибухи чи зриви [10].

НаноАрт «Мак пам'яті» (рис. 4б) зроблено в рамках проєкту «Наноарт. Новий символізм науки», який реалізувався за підтримки Фонду стійкості для українських митців програми Artists at Risk Connection від PEN America. Нанокристаліти було синтезовано методом термічного відпалу. Нанопорошок ZnS наносили на поверхню поруватого кремнію, після чого піддавали термічному відпалу. У результаті було отримано квіткоподібні структури на підкладці з поруватого кремнію. Структури мають ієрархічний характер. Червоний мак, мак пам'яті — символ жертв усіх військових та цивільних збройних конфліктів, починаючи із 1914 року [11].

В світовому топі НаноАрт також представлені такі роботи українських науковців Яни Сичікової та Сергія Ковачова як «Екзопланети» (на мікроскопічній фотографії представлено наноструктурований кремній), «Вільний птах» (ілюстрація характеризується голчастими кристалітами, синтезованими на кремнії шляхом електрохімічного осадження), «Надія» (поперечний переріз пористого арсеніду галію, що нагадує блакитне небо та жовті пшеничні поля), «NanoArta» (оксидні нанокристаліти на поверхні фосфіду індію, розташовані у вигляді паркету), «Фенікс» (зображення поверхні фосфіду індію після електрохімічного травлення, яке демонструє утворення нанокристалітів у місцях виходу дислокацій на поверхню кристалу), «Блискавка перемоги» (кристаліти на поверхні фосфіду індію) та інші [12].

Постановка задачі. Внаслідок російського вторгнення в Україну, починаючи з 2022 року по теперішній час, навчання в багатьох закладах вищої та передвищої освіти України набуло дистанційного формату. У зв'язку з цим стало неможливим виконувати певні практичні та лабораторні роботи здобувачам вищої освіти, зокрема технічних спеціальностей. Тому актуальним стає пошук альтернативних робіт, що зможуть поєднати в собі теоретичні та практичні складові за спеціальністю. Зокрема, при підготовці здобувачів вищої освіти в Запорізькому національному університеті за спеціальністю G10 «Металургія», які здатні розробляти і використовувати сучасні технології виробництва чорних та кольорових металів і сплавів, було впроваджено нову лабораторну роботу за темою «НаноАрт і металургія» з дисципліни «Металургія чорних металів» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти. Поєднання металургії та мистецтва було обрано як для закріплення знань з основ матеріалознавства, зокрема дослідження мікро-

та макроструктури чорних та кольорових металів і сплавів, так і для розвитку творчих здібностей здобувачів.

Мета роботи. Метою роботи є дослідити можливість використання сучасних інформаційних технологій в освітньому процесі, зокрема в науковій роботі при обробці мікро- та макроструктур чорних та кольорових металів і сплавів; показати важливість створення зображень НаноАрт як демонстрації глядачеві можливостей техніки зі створення мікроскопічних арт-об'єктів.

Об'єкт та методика дослідження. Об'єктом дослідження є мікро- та макроструктури чорних та кольорових металів і сплавів. Предметом дослідження є технологія створення зображень НаноАрт з використанням мікро- та макроструктури чорних та кольорових металів і сплавів. Методами дослідження є загальні (емпіричні, комплексні й теоретичні) та спеціальні (графічні та кореляційні) методи наукових пізнань. При узагальненні та аналізі науково-технічної літератури використовувався комплексний підхід.

Під час вирішення завдань застосовувався метод комплексного аналізу розвитку, технології, функції та естетики зображень НаноАрт. Суть цього методу полягає в тому, що процеси створення та сприйняття зображень НаноАрт поділяються на логічно-покрокові та емоційно-комплексні операції, що дозволяє розглядати кожну складову частину НаноАрт за однією універсальною схемою як окремо, так і в комплексі з іншими його складовими.

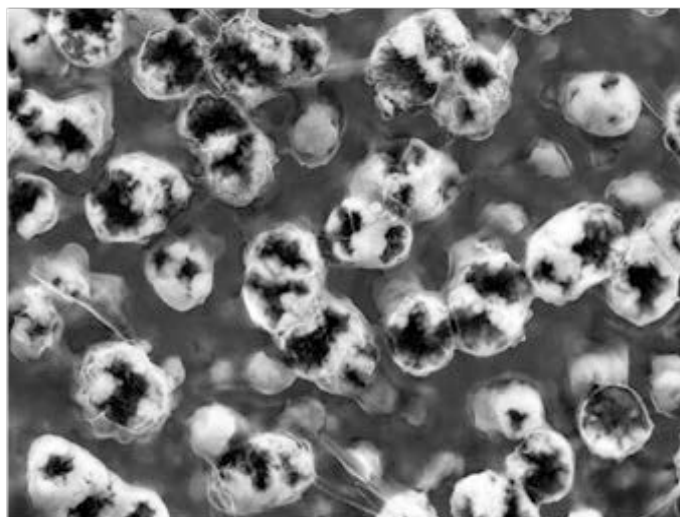
Матеріали та методика дослідження. Створення зображення у стилі НаноАрт відбувається у три етапи:

1. Синтез наноструктури (наноматеріалу).
2. Дослідження мікро- та макроструктури чорних та кольорових металів і сплавів з отриманням зображення високої якості.

Для отримання наноструктури використовується технологія електрохімічного травлення, яка проста в роботі, дешева і не потребує високотехнологічного обладнання. Її суть полягає в наступному: напівпровідник із абсолютно гладкою поверхнею поміщають у розчин кислоти, через який пропускають електричний струм. В результаті поверхні формуються різні типи наноструктур: пори, кристаліти, віскери, дрти, плівки тощо. Змінюючи умови травлення і склад електроліту, можна досягти величезної різноманітності одержуваних наноструктур.

Мікроаналізу піддають спеціально підготовлені зразки — мікрошліфи. Підготовлена поверхня шліфа знежирюється ватним тампоном, змоченим етиловим спиртом. Травлення проводять найчастіше 4%-им розчином азотної кислоти в спирті. Для кращого виявлення мікроструктури, процес полірування і травлення зазвичай повторюють кілька разів.

При вивченні нетравленого шліфа можна виявити різноманітні мікроефекти, наприклад мікротріщини, та неметалеві включення (оксиди, сульфід, графіт) в металевій основі, яка має світлий колір при спостереженні під мікроскопом.



а



б

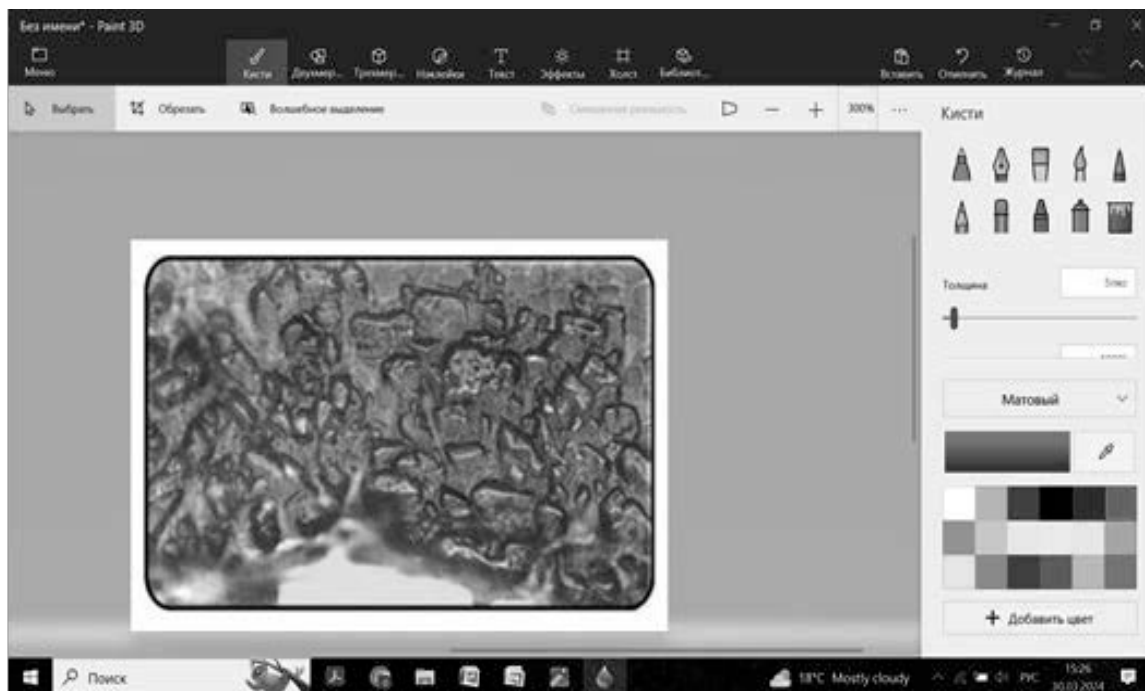
Рис. 4. НаноАрт авторів Яни Сичікової та Сергія Ковачова (Україна): а — мікроскопічне зображення наночастинок оксиду кадмію на сульфіді кадмію (НаноАрт «Бавовна») [10]; б — нанокристаліти ZnS, вирощені на поверхні поруватого кремнію (НаноАрт «Мак пам'яті») [11]

3. За допомогою графічного редактора «розфарбування» отриманого зображення НаноАрт.

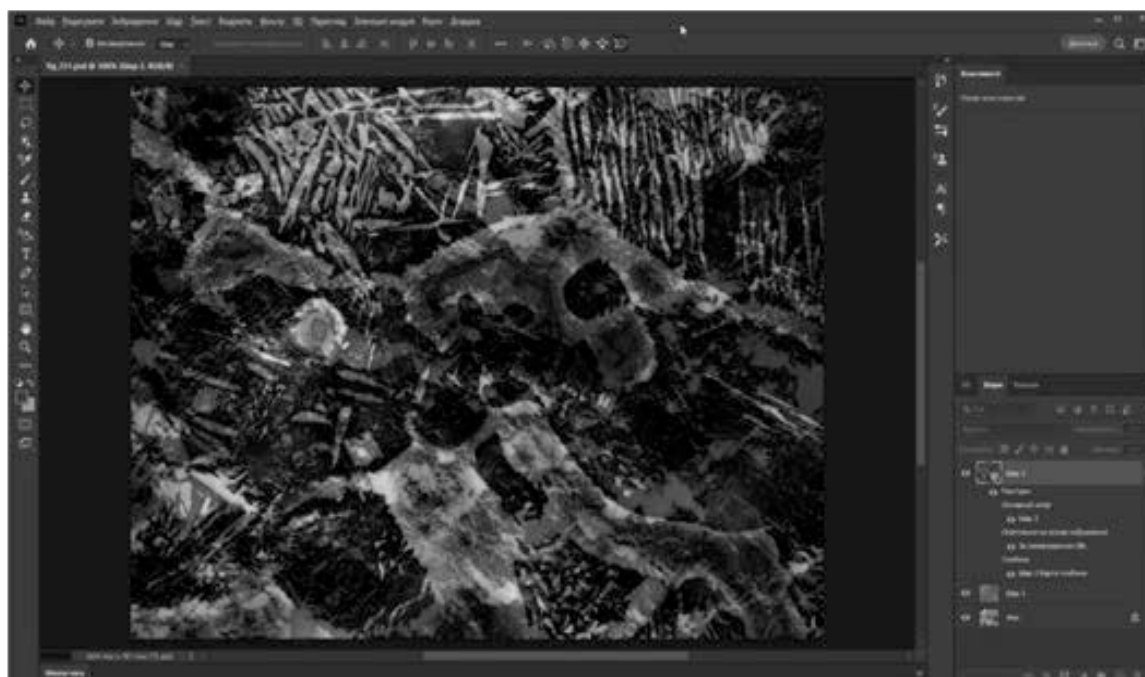
В якості графічних редакторів можливим є використання як піксельної графіки (Microsoft Paint, Adobe Photoshop CS (рис. 5)), так і векторної графіки (Adobe Illustrator CS, Microsoft Map, CorelDraw) [13, 14].

З використанням цифрових технологій при обробці фотографій має місце збільшення зображення з програм, аналогічних Adobe Photoshop (зокрема

Enlarge images, Photo Zoom та інші). Наступним етапом є обробки кольорів цифрових зображень (Image), тобто це програми, які обробляють рисунок та форми (Vector). Найкращий спосіб візуалізувати нанооб'єкти — отримати мікрозображення на надпотужному мікроскопі. Ці фотографії є чорно-білі. Додавання цікавої кольорової гами викликає інтерес і приваблює своєю незвичністю, геометричною досконалістю та естетичним забарвленням.



а



б

Рис. 5. Приклад процесу створення зображення НаноАрт за допомогою різних графічних редакторів: а — використання графічного редактора Paint 3D при обробці зображення шлакових включень в забракованих заготовках з конструкційної сталі марки 30ХГСНА (при збільшенні 400); б — використання графічного редактора у Adobe Photoshop CS при обробці структури фериту з первинною сегрегацією елементів

Результати дослідження. Отримані під час роботи з графічним редактором Paint 3D зображення НаноАрт представлені на рис. 6—10. При «розфарбуванні» отриманого зображення головним залишається творчий підхід автора НаноАрт. Якщо окрім зміни кольору та відтінків зображення відбуваються і інші види маніпуляції (наприклад, домальовуються або видаляються об'єкти, то вони повинні бути вказані в описі до зображення НаноАрт). При створенні об'єкта НаноАрт можна використовувати будь-які мікро- та макроструктури чорних та кольорових металів і сплавів. В роботі використовуються мікро- та макроструктури робіт [15], [16]. З однієї вихідної структури автор може побачити різні зображення НаноАрт.



Рис. 6. НаноАрт «Ведмідь», створений на прикладі заливини, що утворилася на великому листовому зливку в результаті затікання металу під прибуткову надставку

Кожне зображення НаноАрт має свій внесок в мистецтво та щось символізує. В межах даної роботи розглядалася можливість створення зображень НаноАрт, які можна ототожнити з життям українського народу після російського вторгнення на терени України у 2022 році. Зображення НаноАрт закликають до допомоги та підтримки українського народу, популяризуючи сучасне українське мистецтво як поєднання інноваційного дизайну та нанотехнологій.

Наприклад, НаноАрт «Ведмідь» (рис. 6) символізує відвагу українського народу, хоробрість та стійкість Збройних сил України (ЗСУ). НаноАрт показує на розкритті внутрішніх резервів Збройних сил України в боротьбі за свободу та цілісність рідного краю. Представники ЗСУ порівнюються з ведмедем як символом

сили, хитрощів та лютості у захисті вітчизни.

НаноАрт «Війна бактерій» (рис. 7) зображає поле бою під час російського вторгнення на терени України. Збройні сили російської федерації порівнюються з бактеріями, зокрема ототожнюються з вірусом, від якого страждає та намагається позбутися український народ.

На створення НаноАрт «Морське дно» (рис. 8) авторів надихнули спогади про Азовське море, зокрема тимчасове окуповане узбережжя м. Бердянськ. Українському народу не вистачає морської тиші, білих чайок як символу свободи та надії на цілісність та незалежність України.

НаноАрт «Тропіки» (рис. 9) асоціюються з тропічним раєм, відпочинком, сонячним теплом і буйною рослинністю. Саме про це мріє український народ. До цього треба прагнути, сподіватися на мир та спокій в рідній країні.

Взята за основу доєвтектична структура, отримана шляхом переплавлення та науглецювання в рідкому стані (перліт і трансформований ледебурит) (рис. 10а) надихнула авторів на створення двох зображень НаноАрт — «Маки» (рис. 10б) та «Соняшники» (рис. 10в). Зокрема, квіти червоного маку — це український символ пам'яті жертв, загиблих від дії агресії росії. При цьому жовті квіти соняшники — це віра в перемогу, в найкраще майбутнє, відновлення України, народження нового покоління.

Представлені вище зображення НаноАрт створювалися з метою привернути увагу світової наукової спільноти до подій в Україні. Хочеться сподіватися, що через мистецтво світ побачить нескореність українського народу, зрозуміє його культуру та звичаї, перейметься його проблемами та підтримає.

Дану роботу виконано в Запорізькому національному університеті в межах лабораторної роботи за темою «НаноАрт і металургія» з дисципліни «Металургія чорних металів» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю G10 «Металургія». Виконання цієї роботи згідно з освітньо-професійними програмами «Металургія чорних металів» [17], «Металургія кольорових металів» [18] та «Обробка металів тиском» [19] за спеціальністю G10 «Металургія» сприяє розкриттю загальних компетентностей (зокрема, навички використання інформаційних і комунікаційних технологій; здатність зберігати та примножувати моральні, культурні, наукові цінності і досягнення суспільства



Рис. 7. НаноАрт «Війна бактерій», створений на прикладі фериту з первинною сегрегацією елементів ледебуриту

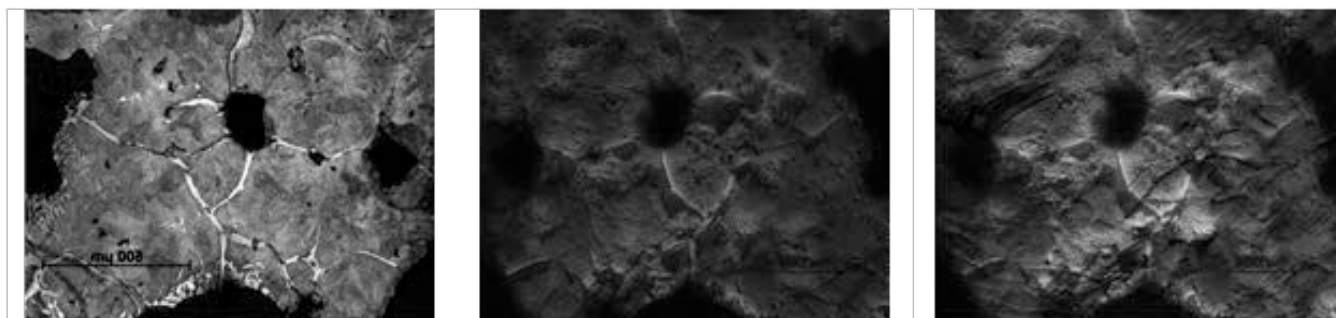


Рис. 8. НаноАрт «Морське дно», створений на прикладі типової структури зразка: перліт, ферит і різні плями сплавлення



Рис. 9. НаноАрт «Тропіки», створений на прикладі переходу між перлітно-феритною структурою та більш обвуглецьованою перлітною зоною

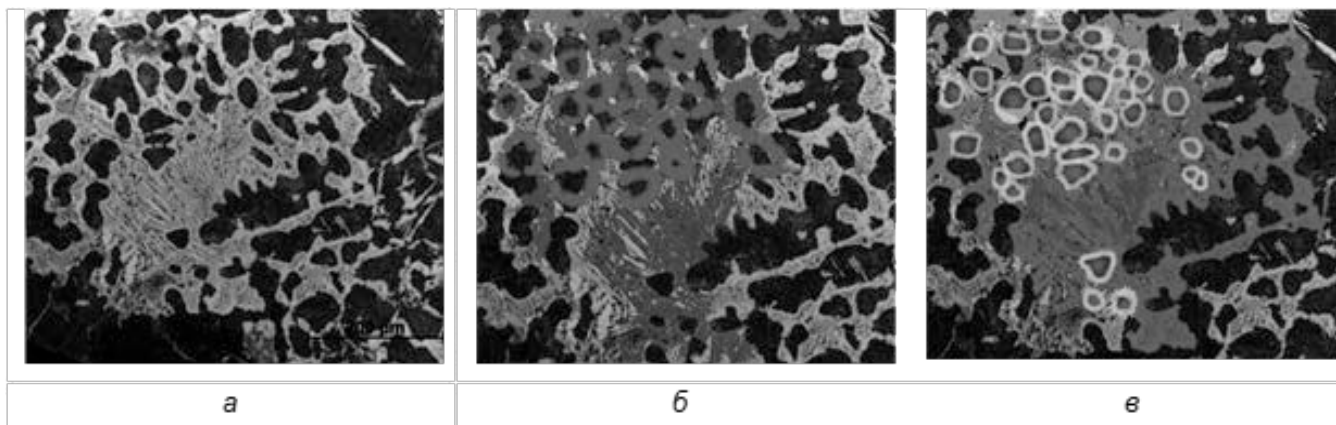


Рис. 10. НаноАрт, створений на прикладі доевтектичної структури, отриманої шляхом переплавлення та науглецювання в рідкому стані: перліт і трансформований ледебурит: а — первісна структура [14]; б — НаноАрт «Маки»; в — НаноАрт «Соняшники»

на основі розуміння історії та закономірностей розвитку предметної області, її місця у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій, використовувати різні види та форми рухової активності для активного відпочинку та ведення здорового способу життя; здатність генерувати нові ідеї (креативність)) та спеціальних компетентностей здобувачів вищої освіти (зокрема, здатність застосовувати системний підхід до вирішення проблем металургії; здатність демонструвати творчий та інноваційний потенціал в синтезі рішень і в розробці проєктів в металургії).

Висновки

1. Встановлено, що розвиток НаноАрт в Україні дозволить:

— підтримувати українське мистецтво під час

війни;

— привернути увагу світової наукової спільноти до подій в Україні;

— зберегти колекції українського мистецтва;

— об'єднати українську інтелігенцію та еліту (митців, науковців, освітян) для відновлення та розвитку України;

— сприяти українському науковому мистецтву та охороні спадщини.

2. Показано можливості симбіозу мистецтва та нанотехнологій — НаноАрт та металургії. Взаємодія мистецтва та нанотехнологій дозволяє:

— популяризувати сучасне українське мистецтво як поєднання інноваційного дизайну (за допомогою графічного дизайну) та нанотехнологій;

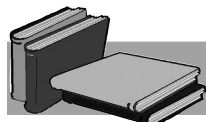
— привернути увагу закладів вищої освіти, наукових спільнот, підприємств та інших установ до сучасного креативного мистецтва та новітніх технологій;

— показати симбіоз науки та мистецтва, які є на-самперед складовими творчого процесу та доповнюють і удосконалюють один одного, а в своїй єдності відкривають нові горизонти пізнання всесвіту.

3. Методологія створення зображень НаноАрт на прикладі використання як об'єкта досліджень мікро- та макроструктур чорних та кольорових металів і сплавів вже використовується в освітньому процесі Запорізького національного університету в рамках

проведення лабораторних занять за темою «НаноАрт і металургія» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю G10 «Металургія».

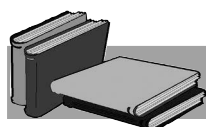
4. Роботами, виконаними у стилі НаноАрт, треба привертати увагу світу до подій, що відбуваються в Україні у зв'язку з російським вторгненням на терени країни у 2022 році, закликати до допомоги та підтримки, ними надихатися та надихати інших.



ЛІТЕРАТУРА

1. Сичікова Я. NanoArt — наука як мистецтво. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28014.31043>
2. Сайнс-арт: мистецтво в науці або наука у мистецтві. URL: <https://kyiv.gallery/statii/sains-art-mystetstvo-v-nautsi-abo-nauka-u-mystetstvi> (дата звернення: 05.08.2025).
3. Nano Art Competition. URL: https://www.nanoisrael.org/article_id-17131 (дата звернення: 05.08.2025).
4. Як створити НаноАрт? URL: <https://bdpu.org.ua/nanoart/yak-stvoryty-nanoart/> (дата звернення: 05.03.2024).
5. Suchikova Ya., Kovachov S. Rethinking the Goals and Values of Nanoart During the War: an Artists' Statement. *NanoEthics*. 2023. Vol. 17. No. 12. <https://doi.org/10.1007/s11569-023-00447-0>
6. Russell A. Nanoart and the Moving Image: Shifts in Perception from Optical Microscopy to Nanoscopy. *Leonardo*. 2022. Vol. 55. Iss. 3. P. 225—229. https://doi.org/10.1162/leon_a_02072
7. NanoArt — Atomic / Molecular Sculptures and Landscapes. URL: <https://www.interaliamag.org/articles/cris-orfescu-nanoart-atomic-molecular-sculptures-and-landscapes/> (дата звернення: 05.08.2025).
8. Наноарт. URL: <https://habr.com/ru/articles/24342/> (дата звернення: 05.08.2025).
9. Галерея Наноарт. URL: <https://old.bdpu.org.ua/nanoart/halereia-nanoart/> (дата звернення: 05.08.2025).
10. Процес створення НаноАрту «Бавовна» / Наукове мистецтво. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=KT4t2wXw68E> (дата звернення: 05.03.2024).
11. Sychikova Ya. NanoArt — is a symbiosis of science and art. URL: <https://www.goethe.de/resources/files/pdf288/nanoart.pdf> (дата звернення: 05.08.2025).
12. «Бердянські медузи», «Вулкан», «Україна». Сергій Ковачов і Яна Сичікова в світовому топі Наноарта (фото). URL: <https://www.brd24.com/news/berdyanski-meduzi-vulkan-ukraina-sergiy-kovachov-i-yana-sychikova-v-svitovomu-topi-nanoarta-foto.html> (дата звернення: 05.08.2025).
13. Воденнікова О.С., Воденніков С.А., Кучеренко М.А., Піщенко К.А. НаноАрт та металургія: симбіоз мистецтва та нанотехнологій під час війни. *Нові матеріали і технології в машинобудуванні-2024: XVI Міжнародна науково-технічна конференція* (Київ, 25—26 квітня 2024 р.). Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. С. 97—102.
14. Піщенко К.А., Іванніков С.В., Борсук С.А., Воденнікова О.С. НаноАрт та металургія: застосування інформаційних технологій при обробці макроструктур металів та сплавів. *Наука і сталий розвиток транспорту 2024: збірник тез доповіді всеукраїнської науково-технічної конференції студентів і молодих учених* (Дніпро, 27 листопада 2024 р.). Дніпро: УДУНТ, 2024. Т. II. С. 94—95.
15. Основные дефекты крупных стальных слитков. URL: <https://uas.su/books/2011/kslitok/61/razdel61.php> (дата звернення: 05.08.2025).
16. Wrona A. The Production of High Carbon Steel Directly in Bloomery Process: Theoretical Bases and Metallographic Analyses of the Experiments Results. *EXARC Journal*. 2013. Iss. 2. 45 p. URL: <https://exarc.net/issue-2013-2/ea/production-high-carbon-steel-directly-bloomery-process-theoretical-bases-and-metallographic-analyses> (дата звернення: 12.09.2025).
17. Освітня програма «Металургія чорних металів». URL: <https://www.znu.edu.ua/ukr/pk/4362/4743/12487> (дата звернення: 05.08.2025).
18. Освітня програма «Металургія кольорових металів». URL: <https://www.znu.edu.ua/ukr/pk/4362/4743/13124> (дата звернення: 05.08.2025).
19. Освітня програма «Обробка металів тиском». URL: <https://www.znu.edu.ua/ukr/pk/4362/4743/12666> (дата звернення: 05.08.2025).

Надійшла 29.09.2025



REFERENCES

1. Suchikova, Ya. (October 2016). NanoArt – nauka yak mystetstvo [NanoArt – science as art]. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28014.31043> [in Ukrainian].
2. Science-art: art in science or science in art. <https://kyiv.gallery/en/articles/science-art-art-in-science-or-science-in-art> [in Ukrainian].
3. Nano Art Competition. https://www.nanoisrael.org/article_id-17131
4. How to create NanoArt? <https://bdpu.org.ua/nanoart/yak-stvoryty-nanoart/> [in Ukrainian].
5. Suchikova, Ya., & Kovachov, S. (2023). Rethinking the Goals and Values of Nanoart During the War: an Artists' Statement. *NanoEthics*, 17(12). <https://doi.org/10.1007/s11569-023-00447-0>
6. Russell, A. (2022). Nanoart and the Moving Image: Shifts in Perception from Optical Microscopy to Nanoscopy. *Leonardo*, 55(3), 225-229. https://doi.org/10.1162/leon_a_02072
7. NanoArt – Atomic / Molecular Sculptures and Landscapes. <https://www.interaliomag.org/articles/cris-orfescu-nanoart-atomic-molecular-sculptures-and-landscapes/>
8. Nanoart. <https://habr.com/ru/articles/24342/> [in Russian].
9. Halereia Nanoart [Nanoart Gallery]. <https://old.bdpu.org.ua/nanoart/halereia-nanoart/> [in Ukrainian].
10. Protses stvorennia NanoArtu «Bavovna» / Naukove mystetstvo [The process of creating NanoArt «Cotton» / Scientific Art]. <https://www.youtube.com/watch?v=KT4t2wXw68E> [in Ukrainian].
11. Suchikova, Ya. NanoArt – is a symbiosis of science and art. <https://www.goethe.de/resources/files/pdf288/nanoart.pdf>
12. «Berdianski meduzy», «Vulkan», «Ukraina». Serhii Kovachov i Yana Sychikova v svitovomu topi Nanoarta (foto). [«Berdiansk Jellyfish», «Volcano», «Ukraine». Sergii Kovachov and Yana Suchikova in the world top of Nanoart (photo)]. <https://www.brd24.com/news/berdianski-meduzy-vulkan-ukraina-sergiy-kovachov-i-yana-sychikova-v-svitovomu-topi-nanoarta-foto.html> [in Ukrainian].
13. Vodennikova, O.S., Vodennikov, S.A., Kucherenko, M. A., & Pishchenko, K.A. (2024). NanoArt ta metalurhiia: symbioz mystetstva ta nanotekhnolohii pid chas viiny [NanoArt and Metallurgy: Symbiosis of Art and Nanotechnology During War]. *New materials and technologies in mechanical engineering-2024: XVI International Scientific and Technical Conference (Kyiv, April 25–26, 2024)*. Kyiv: National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», pp. 97-102 [in Ukrainian].
14. Pishchenko, K. A., Ivannikov, S. V., Borsuk, S. A., & Vodennikova, O. S. (2024). NanoArt ta metalurhiia: zastosuvannia informatsiinykh tekhnolohii pry obrobtsi makrostruktur metaliv ta splaviv [NanoArt and Metallurgy: application of information technologies in the processing of macrostructures of metals and alloys]. *Science and Sustainable Development of Transport 2024: Collection of Abstracts of the All-Ukrainian Scientific and Technical Conference of Students and Young Scientists (Dnipro, November 27, 2024)*. Dnipro: Ukrainian State University of Science and Technologies, vol. II, pp. 94-95 [in Ukrainian].
15. Osnovnyie defektyi krupnykh stalnykh slitkov [Main defects of large steel ingots]. <https://uas.su/books/2011/kslitok/61/razdel61.php> [in Russian].
16. Wrona, A. (2013). The Production of High Carbon Steel Directly in Bloomery Process: Theoretical Bases and Metallographic Analyses of the Experiments Results. *EXARC Journal*, (2), 45 p. <https://exarc.net/issue-2013-2/ea/production-high-carbon-steel-directly-bloomery-process-theoretical-bases-and-metallographic-analyses>
17. Osvitnia prohrama «Metalurhiia chornykh metaliv» [Educational program «Metallurgy of ferrous metals»]. <https://www.znu.edu.ua/ukr/pk/4362/4743/12487> [in Ukrainian].
18. Osvitnia prohrama «Metalurhiia kolorovykh metaliv» [Educational program «Metallurgy of non-ferrous metals»]. <https://www.znu.edu.ua/ukr/pk/4362/4743/13124> [in Ukrainian].
19. Osvitnia prohrama «Obrobka metaliv tyskom» [Educational program «Metal processing by pressure»]. <https://www.znu.edu.ua/ukr/pk/4362/4743/12666> [in Ukrainian].

Received 29.09.2025

Summary

O.S. Vodennikova¹, PhD (Engin.), Associate Professor, Associate Professor, e-mail: oksana_vodennikova@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-0496-5435>

S.A. Vodennikov², Dr. Sci. (Engin.), Professor, Professor, e-mail: s_vodennikov@i.ua, <https://orcid.org/0000-0002-5563-5244>

K.A. Pishchenko¹, student, e-mail: kirillpishenko@gmail.com

¹Zaporizhzhia National University (Zaporizhzhia, Ukraine)

²National University "Zaporizhzhia Polytechnic" (Zaporizhzhia, Ukraine)

NanoArt and Metallurgy: Symbiosis of Art and Nanotechnology During Wartime

The relevance of the work lies in the symbiosis of art and nanotechnology, which makes it possible to see the micro- and macrostructures of ferrous and non-ferrous metals and alloys from a new perspective. It is shown that when creating an image in the NanoArt style, three stages are considered: synthesis of a nanostructure (nanomaterial), study of the macro- and microstructure of ferrous and non-ferrous metals and alloys with obtaining a high-quality image, and directly rendering the resulting NanoArt image using graphic editors (the so-called "coloring" of the research object). It is proposed to use the following graphic editors as graphic editors: pixel graphics – Adobe Photoshop CS, Microsoft Paint; vector graphics – Adobe Illustrator CS, Microsoft Map, CorelDraw and others. When "coloring" the object of research, the main thing remains the creative component: it is possible to change the color scheme and "finish" the details of the image. In this case, each NanoArt image must have the so-called "decoding", that is, a description of the structure of the metal or alloy to be studied, and the expected result of "coloring".

The possibility of applying a scientific and creative approach to studying the micro- and macrostructures of ferrous and non-ferrous metals and alloys during distance learning for higher education students is demonstrated. In particular, it is proposed to consider the possibility of performing online laboratory work "NanoArt and Metallurgy" for applicants for the specialty G10 "Metallurgy". It is shown that the combination of science and art through the study of micro- and macrostructures of ferrous and non-ferrous metals contributes to the development of creative abilities and the popularization of Ukrainian art. Paintings created in the NanoArt style carry a symbolic message, call for support for Ukraine and preserve the memory of the struggle of the Ukrainian people. The combination of art and metallurgy in the form of NanoArt paintings draws the world's attention to the events taking place in Ukraine in connection with the Russian invasion of the country in 2022, calling for help and support.

Keywords

NanoArt, nanotechnology, nanoparticles, metals and alloys, microstructure, macrostructure.