

Таблиця 2 – Хімічний склад зливка ЕПП Ø 110 мм (сплав 60Zr20Ti20Nb)

№ зразка	Масова частка, %				
	Zr	Ti	Nb	O	Інші
1	57,5	19,6	22,4	0,053	<0,6
2	58,7	18,3	22,4	-	
3	60,7	18,2	20,9	-	
4	58,9	19,7	20,8	-	
Середнє значення	58,9	18,9	21,6	0,053	<0,6

Література

1. Пат. 102455 Україна, МПК (2013.01) A61L 27/00, A61F 2/02 (2006.01), C22C 16/00, B82B 3/00. Біосумісний сплав із низьким модулем пружності на основі системи цирконій-титан (варіанти) / Івасишин О.М., Скиба І.О., Карасевська О.П., Марковський П.Є.; заявник і патентовласник Інститут металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України. – № а201115314, заявл. 26.12.2011; опубл. 10.07.2013, Бюл. №13. - 8 с.

Бірюкович Л. О., Соловйова Т. О.

(КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ)

**ВИКЛИКИ ДИСТАНЦІЙНОГО ВИКЛАДАННЯ ДИСЦИПЛІН З
КРИСТАЛОГРАФІЇ ТА ШЛЯХИ ЇХ ПОДОЛАННЯ**

E-mail: linabiruk@ukr.net

У статті розглянуто основні виклики, що виникли у процесі організації дистанційного викладання дисциплін з кристалографії, серед яких виділяються: потреба в ефективній візуалізації кристалічних многогранників та кристалічних структур; створення інтерактивних завдань та адаптації методичного супроводу до онлайн-формату. Проаналізовано досвід впровадження доступного програмного забезпечення *JCrystal* та *CrysX-3D Viewer* для візуалізації кристалічних многогранників та ґраток, а також застосування середовища *Google Class Room* та його інструментів для організації навчального процесу. Окрему увагу приділено розробці завдань, як інструменту системного вивчення симетрії та формування

просторового мислення у здобувачів. Наведено приклади завдань лабораторних робіт у *Google Forms*, які дозволяють забезпечити індивідуалізацію навчання та об'єктивність оцінювання. Підкреслено потенціал цифрових ресурсів для підтримки якості викладання кристалографії у дистанційному форматі.

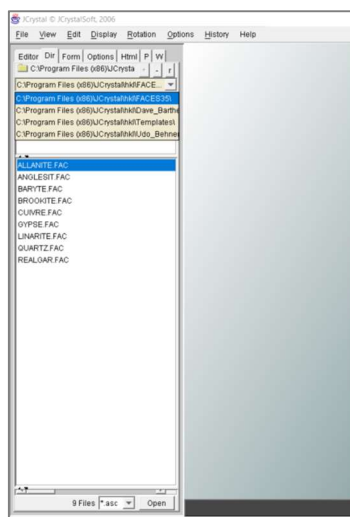
Розвиток людської цивілізації нерозривно пов'язаний із застосування та розробленням нових матеріалів. Першим важливим етапом у технічному розвитку став перехід від кам'яних знарядь праці до металевих, який докорінно змінив ефективність праці, дозволив виготовляти інструменти з більшим терміном служби та кращими властивостями. Цей етап можна вважати предтечею технічних революцій, бо заклав основу для складніших технологічних досягнень, змін у виробничих процесах, а також у розвитку торгівлі, соціальних структур та культури, у розвитку суспільства в цілому. Наразі людська цивілізація перебуває на порозі вже четвертої технічної революції, яка характеризується інтеграцією фізичних, цифрових та біологічних систем, що потребують для реалізації нових матеріалів з новими властивостями, новими характеристиками. Нові матеріали – невгамовна жага людської цивілізації. Безліч наук б'ються над розробкою теоретичних основ створення нових матеріалів. І невід'ємною частиною сучасного матеріалознавства є наука кристалографія – наука, що вивчає структуру кристалів, їх форму, симетрію та взаємодії на атомарному рівні [1], [2]. Знання кристалографії є важливим інструментом у розробці нових матеріалів, вони допомогли у створенні багатьох сучасних матеріалів, які стали основою для виробництва транзисторів, мікросхем, процесорів, лазерів, лінз, фільтрів, матеріалів для сонячних панелей, акумуляторів, паливних елементів тощо [1]. Тому освітніми програмами із підготовки здобувачів у галузі матеріалознавства як в Україні, так і за кордоном передбачено обов'язкове вивчення дисциплін з кристалографії.

Викладання дисциплін з кристалографії у дистанційному режимі, яке б забезпечило необхідний якісний рівень засвоєння матеріалу здобувачами, стикнулось із низкою викликів, без подолання яких цього досягти було б неможливо. Найбільшим викликом стала необхідність візуалізації кристалічних многогранників та кристалічних ґраток, так як програмне забезпечення, яке б могло

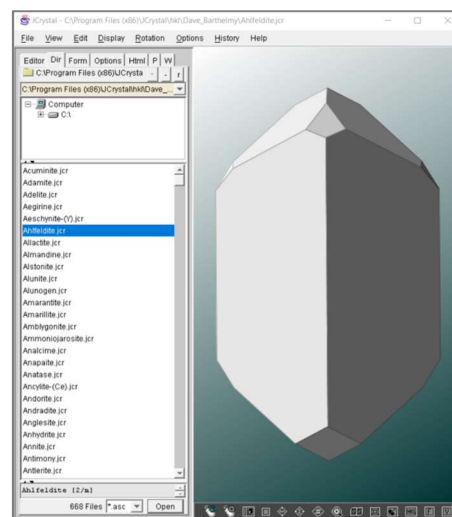
виконувати цю функцію, повинно бути, перш за все, доступним, безоплатним, по-друге, простим у використанні, як онлайн, так і застосоване на персональному комп'ютері. Пошук такого програмного забезпечення був тривалим, але необхідні програми знайшлися на теренах інтернету.

Для візуалізації кристалічних многогранників було застосовано програмне забезпечення *JCrystal* [3], яке дуже легко встановлюється на персональний комп'ютер, займаючи обмаль місця.

Ця програма має чотири каталоги (рис.1 а), які налічують сотні тривимірних моделей мінералів, що не тільки демонструє їх природне різноманіття, а й дозволяє здобувачам побачити як абстрактні поняття кристалографії – симетрія, елементи симетрії, кристалографічні системи координат, прості форми тощо – реалізуються на прикладі природних кристалічних многогранників. Використання моделей природних мінералів стає не просто «ілюстрацією», а важливим інструментом формування глибоких знань, практичних навичок і наукового мислення. Окрім того, наявність великої кількості моделей дозволило створювати завдання, корегуючи їх складність, і таким чином, врахувати індивідуальну підготовку здобувачів та унеможливити їх недоброчинну поведінку щодо виконання завдань.



a



6

Рис. 1. Зображення інтерфейсу програми *JCrystal*, які ілюструють каталоги моделей мінералів (а), перелік моделей мінералів та їх зовнішній вигляд (б)

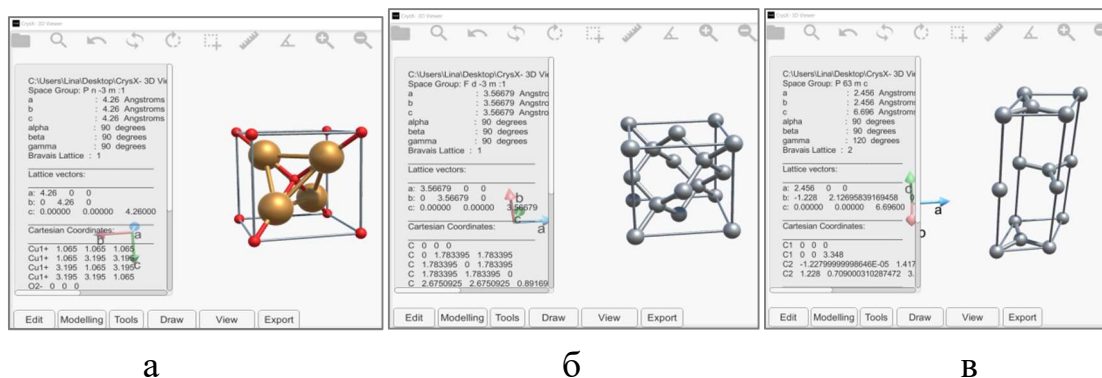
Ще одним корисним функціоналом цієї програми є можливість нумерувати грані кристалічних многогранників (рис. 1 б), що відіграло ключову роль у складанні завдань до лабораторної роботи щодо індексування граней. Однак, все одно, такі завдання потребували докладної інструкції, щодо їх виконання.

Для візуалізації кристалічних ґраток було використано програмне забезпечення CrysX–3D Viewer [4]. Ця програма також може стати у нагоді дослідникам, оскільки вона полегшує створення ілюстрацій та рисунків для дослідницьких робіт, дисертацій, рефератів. Розробники програми анонсують, що дослідники можуть без зусиль візуалізувати площини ґратки, зображувати вектори для представлення електричних або магнітних полів та моделювати різні структури, включаючи суперкомірки, моношари (тонкі плівки/квантові ями) та квантові точки. Крім того, програма надає можливість маніпулювати структурами, наприклад, створюючи вакансії або вводячи домішки [4]. У програмі CrysX–3D Viewer є тривимірні візуалізації кристалічних ґраток основних структурних типів металів, таких сполук, як NaCl, CaF₂, Cu₂O (рис. 2 а), алмазу (рис. 2 б), графіту (рис. 2 в) тощо, які були використані як для викладання розділу структурної кристалографії, так і для створення завдань до лабораторних робіт з цього розділу.

Наступним викликом стало створення самих завдань для лабораторних робіт [5], [6]. Початково завдання для аналітичного опису кристалічних многогранників виглядали як набір знімків екрану із зображенням моделей з того, чи іншого каталога програми *JCrystal*. Здобувачі виконували завдання від руки, робили фото роботи, які вставляли у документ *MS Word* і завантажували виконане завдання для перевірки до групи у месенджері, яка була створена викладачем на початку семестру. Перевірка таким чином виконаних завдань ускладнювалась і подовжувалась через нерозбірливість почерку здобувачів, використання різної якості гаджетів для створення фото та уміння здобувачів їх робити і, як наслідок, фото поганої якості.

А, отже, природним чином постало питання щодо створення завдань у іншому форматі, який зробив би можливим дистанційне навчання із мінімальним залученням викладачів до перевірки завдань і, у перспективі, створити курс для самостійного вивчення. Таку можливість надають сервіси *Google*, а саме *Google Class Room* на

корпоративному акаунті КПІ ім. Ігоря Сікорського, який спеціально призначений для навчального процесу, що передбачає низку переваг [6], [7].



а

б

в

Рис. 2. Зображення інтерфейсу програми CrysX–3D Viewer із кристалічними ґратками Cu_2O (а), алмазу (б) та графіту (в)

Google Class Room є зручним середовищем, де можна розмістити не тільки завдання для лабораторних робіт, а й методичні матеріали, презентації та відео лекцій, міні тести для контролю готовності здобувачів до лабораторних робіт, завдання для модульної контрольної роботи, для домашньої контрольної роботи, для залікової контрольної роботи.

Завдання для переважної більшості лабораторних робіт були створені із використанням *Google Forms*. На початку завдання зазначались особливості надання відповіді у *Google Forms* (рис. 3).

Рис. 3. Зображення *Google Forms* завдання до лабораторної роботи із умовою заповнення форми

Кожне завдання налічує 7 моделей, по одній моделі з кожної сингонії. Це дозволяє здобувачам зрозуміти, що саме визначає сингонію – симетрія, осі, кути. Виокремлюючи ключові ознаки кожної сингонії, здобувачі можуть бачити та порівнювати відмінності між ними, розуміти логіку переходу від низько симетричних до високо симетричних форм. Такий порівняльний аналіз є важливим інструментом навчання, який формує у здобувачів системне мислення [8], [9].

Для кожної лабораторної роботи було розроблено уніфіковану форму не залежну від симетрії кристалічного многогранника. Так, наприклад, у лабораторній роботі щодо визначення елементів симетрії, завдання для кожної моделі складалось із двох частин: у першій частині завдання пропонувалось визначити елементи симетрії та їх кількість; у другій частині – записати формулу елементів симетрії із урахуванням правил запису.

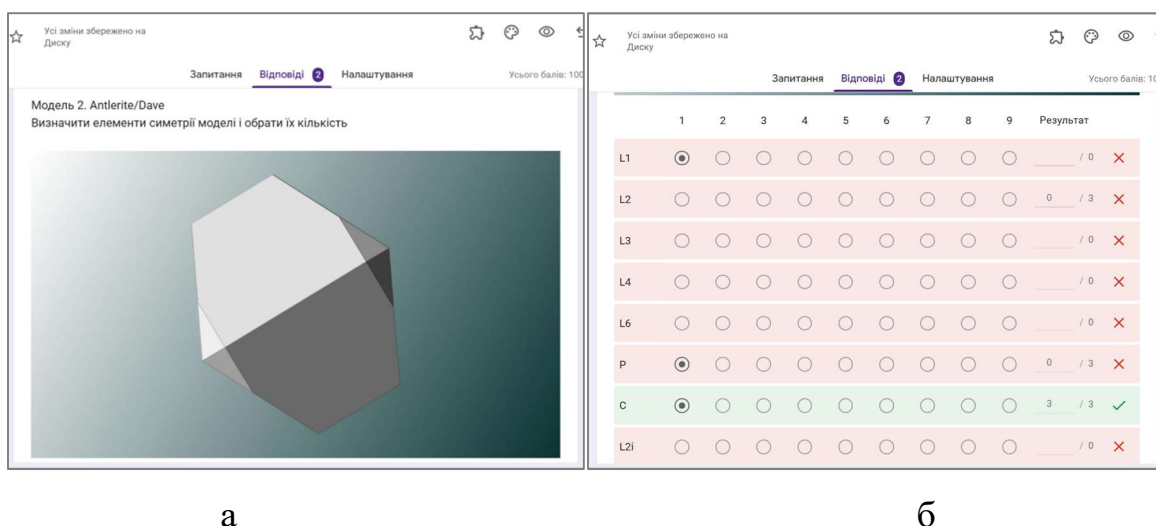


Рис. 4. Зображення у *Google Forms* моделі кристалічного многогранника (а) і таблиці із зазначенням елементів симетрії та їх кількості (б) у завданні до лабораторної роботи щодо визначення елементів симетрії кристалічних многогранників

Перша частина завдання складалась із зображення моделі кристала, її назви і назви каталога, де вона розміщена у програмі *JCrystal* (рис. 4 а), та таблиці, в якій у вертикальному рядку зазначені усі можливі елементи симетрії, а у горизонтальному – їх кількість від 1 до 9 (рис. 4 б).

У другій частині завдання здобувачу треба записати формулу визначених елементів симетрії дотримуючись правил її запису (рис. 5).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
L1	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
P	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Формула елементів симетрії модель 2

L2PC

Правильна відповідь

3L2 3P C

Рис. 5. Зображення другої частини завдання до лабораторної роботи щодо визначення елементів симетрії кристалічних многогранників

Для лабораторних робіт щодо кристалографічних проєкцій, стереографічних та гномостереографічних, у створенні завдання було використано інструмент *Google Class Room* «Малюнки», який дозволяє зробити копію розробленої стандартної форми (рис. 6 а) для кожного студента. Це дозволило не тільки кожному здобувачу автономно працювати над своїми завданнями (рис. 6 б), а й викладачам перевіряти виконання завдань безпосередньо онлайн.

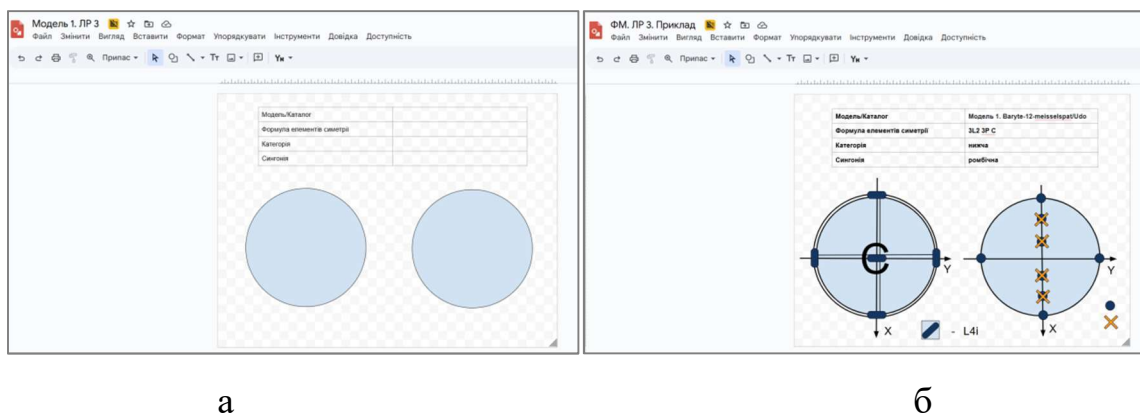
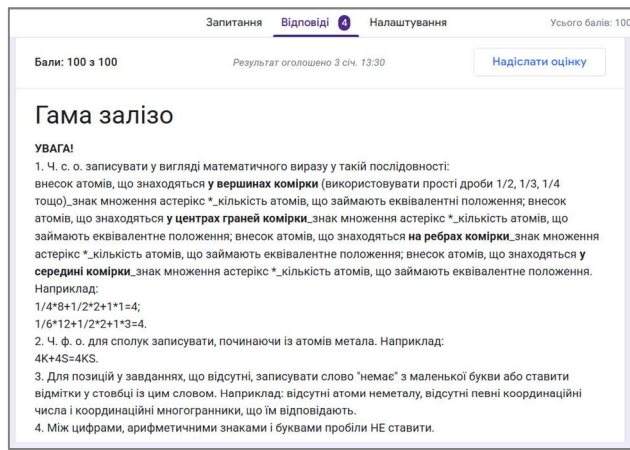


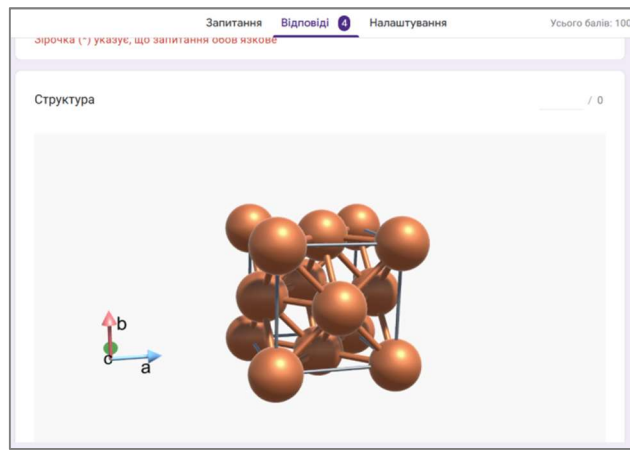
Рис. 6. Зображення стандартної форми (а) та приклад виконання завдання (б) побудови стереографічної та гномостереографічної проєкцій кристалічного многогранника

Завдання зі структурної кристалографії також розроблені у *Google Forms*, але для кожного структурного типу окремо, що дозволило призначати здобувачам завдання в залежності від складності будови кристалічної структури.

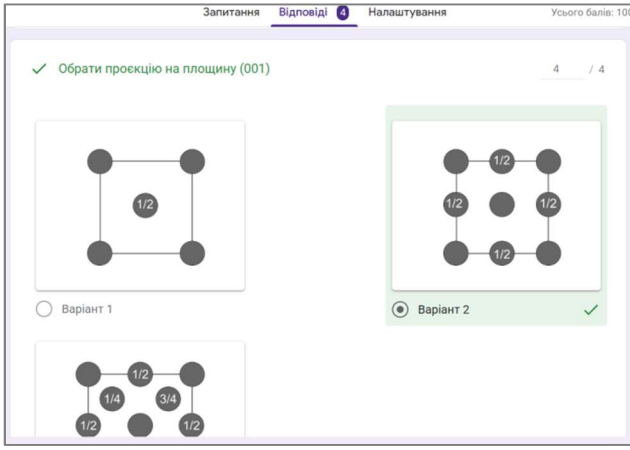
Приклад завдання для аналітичного опису кристалічної структури γ -Fe наведено на рис. 7.



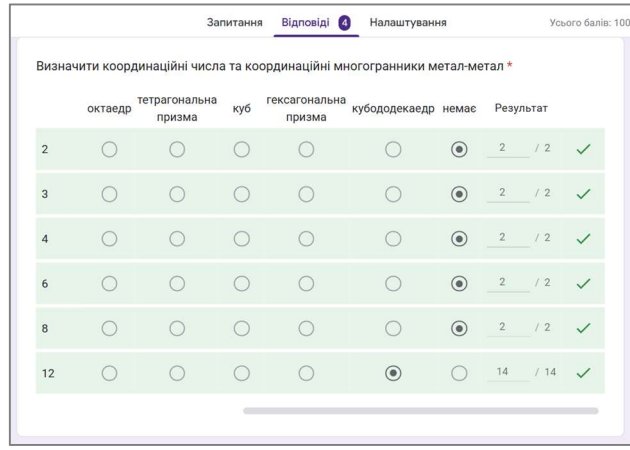
а



б



в



г

Рис. 7. Зображення умови заповнення форми (а), тривимірна модель елементарної комірки кристалічної структури (б), проєкції елементарної комірки на площину (001) (в) та таблиця для визначення координаційних чисел і координаційних многогранників (г) для γ -Fe

У 2024 році курс «Кристалографія, кристалохімія та мінералогія» у *Google Class Room* пройшов процедуру сертифікації у КПІ ім. Ігоря Сікорського і

був визнаний як дистанційний курс, що розміщений на платформі дистанційного навчання «Сікорський».

Аналіз викликів дистанційного викладання дисциплін з кристалографії засвідчив необхідність як технологічної, так і методичної трансформації навчального процесу.

Створені з використання спеціалізованого програмного забезпечення (*JCrystal*, *CrysX-3D Viewer*) сучасні інтерактивні навчальні завдання, що адаптовані до дистанційного формату, сприяють розвитку просторового та системного мислення, формуванню стійких знань про зовнішню та внутрішню будову кристалів. Разом із використанням інструментів та можливостей середовища *Google Class Room* викладання дисциплін з кристалографії у дистанційному режимі не поступається очному навчанню за ефективністю. Результати впровадження таких завдань підтверджують їхню дидактичну цінність та доцільність подальшого використання в освітньому процесі. Таким чином, навіть складні, візуально й теоретично насичені теми кристалографії можуть успішно опановуватись здобувачами за умов грамотно вибудованого цифрового навчального середовища.

Література

1. Гапоненко А. І. Кристалографія [Текст]: підручник / А. І. Гапоненко, В. С. Лещинський. – Київ: Вища школа, 2009. – 382 с.
2. Бірюкович Л. О. Кристалографія, кристалохімія та мінералогія [Електронний ресурс]: підручник для студ. спеціальності 132 Матеріалознавство / Л. О. Бірюкович; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 3.35 Кбайт) – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 234 с. – Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/94c2992a-a768-4ef6-a122-28441f2e85d5/content>. – Дата звертання: 08.07.2025.
3. JCrystal [Electronic Resource] / JCrystalSoft: Software for Crystallography and more. – 2023. – Mode of access: <http://jcrystal.com/>. – Data of access: 07.07.2025.

4. CrysX–3D Viewer [Electronic Resource] / Bragitoff.com: read-learn-brag. – 2025. – Mode of access: <https://www.bragitoff.com/crysx-3d-viewer>. – Data of access: 07.07.2025.

5. Семеріков С. О. Теоретичні і методичні основи цифрової трансформації природничо-математичної освіти [Текст]: монографія / С. О. Семеріков, Ю. В. Триус, М. П. Шишкіна; за ред. С. О. Семерікова. – Умань: Візаві, 2021. – 320 с.

6. Кухаренко В. М. Google Classroom як платформа змішаного навчання [Текст]: навч. посіб. / В. М. Кухаренко, А. І. Сухих, М. В. Ординець. – Харків : НТУ «ХП», 2020. – 110 с.

7. Морзе Н. В. Цифрові інструменти для викладання природничих дисциплін у вищій школі [Текст]: навч. посіб. / Н. В. Морзе, В. В. Вембер. – Київ: Університет менеджменту освіти, 2021. – 132 с.

8. Giannini C. Crystallography education in the digital age [Текст] / C. Giannini // Journal of Applied Crystallography. – 2015. – Vol. 48. – P. 1964–1975.

9. Blake R. L. Teaching crystallography in the 21st century [Текст] / R. L. Blake // Journal of Chemical Education. – 2005. – Vol. 82, № 1. – P. 10–15.

Бурмак А. П., Волошко С. М., Вислий О. А.

(КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ)

**МІКРОТВЕРДІСТЬ ФАЗОВИХ СКЛАДОВИХ СПЛАВУ Ti-6Al-4V,
ВИГОТОВЛЕНОГО СЕЛЕКТИВНИМ ЛАЗЕРНИМ ПЛАВЛЕННЯМ**

E-mail: abyrmak@gmail.com

Досліджено мікроструктуру та мікротвердість сплаву Ti-6Al-4V, одержаного селективним лазерним плавленням (Selective laser melting – SLM). Використовувався волоконний ітербієвий лазер з повітряним охолодженням і номінальною потужністю 200 Вт, діаметром лазерного променя ~45 мкм і довжиною хвилі 1070 ± 2 нм, швидкість сканування становила 500 мм/с, товщина шару – 25 мкм і відстань штрихування – 150 мкм. Синтезована мікроструктура з періодичних масштабно-градієнтних шарів є результатом циклічної термічної історії, яку зазнає SLM-сплав Ti-6Al-4V. Проаналізовано залежність його