



**ЗГАЛАТ-ЛОЗИНСЬКИЙ
Остап Броніславович** –
доктор технічних наук,
в.о. заступника директора з
наукової роботи Інституту
проблем матеріалознавства
ім. І.М. Францевича НАН
України

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ 3D-ДРУКУ, МІКРОХВИЛЬОВОЇ ОБРОБКИ ТА ІСКРО-ПЛАЗМОВОГО СПІКАННЯ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ ІЗ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ ТУГОПЛАВКИХ СПОЛУК За матеріалами доповіді на засіданні Президії НАН України 6 березня 2024 року

У доповіді наведено найважливіші результати фундаментальних та прикладних досліджень, проведених в Інституті проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України з розроблення сучасних технологій синтезу та консолідації композиційних матеріалів на основі тугоплавких сполук для виготовлення виробів, що експлуатуються в умовах екстремальних температур, навантажень та агресивних середовищ, а також створення новітніх матеріалів для 3D-друку за технологіями робокастингу та FDM. Представлено новітні розробки в галузі переробної промисловості, які передбачають впровадження екологічно чистих та енергоощадних технологій обробки руди, що має особливе значення для підвищення конкурентоспроможності експортно орієнтованих галузей економіки України у післявоєнний час.

Ключові слова: наноматеріали, 3D-друк, робокастинг, тугоплавкі сполуки, мікрохвильове спікання, ільменіт, іскро-плазмове спікання, ауксетики, зносостійкість.

Виклики, які постали сьогодні перед матеріалознавцями в Україні, – це насамперед розроблення нових матеріалів і технологій військового призначення, впровадження адитивних технологій для формування композиційних і біосумісних матеріалів для відновлювальної медицини, а також проведення робіт з розвитку перспективних напрямів у металургії в період післявоєнного відновлення нашої країни.

Найбільш інтенсивно останніми роками розвиваються адитивні технології, а також новітні методи обробки та консолідації матеріалів із застосуванням енергоефективних та екологічно дружніх технологій.

Так, з орієнтацією на перехід промисловості до «зелених» технологій зросла зацікавленість у використанні мікрохвильових технологій для термообробки ільменітових руд. Результати досліджень засвідчують, що застосування мікрохвильової обробки ільменітових руд замість традиційної високотемпературної обробки дозволяє підвищити екстракцію оксидів титану та заліза, зменшивши при цьому енергозатрати на виробництво та знизивши навантаження на довкілля (екологічність технології).

Вчені Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України розробили технологію мікрохвильової термохімічної обробки ільменітових руд з Іршанського родовища, яка дає змогу істотно збільшити екстракцію оксидів заліза і титану. Встановлено, що термічною обробкою ільменітового концентрату в мікрохвильовій печі потужністю 1,2 кВт можна досягти повного розкладу вихідного матеріалу на рутил та псевдобрукіт за максимальної температури 850 °С та часу нагрівання 120 хв [1, 2]. Для порівняння: нагрівання в печі опору за подібних умов не приводить до повного окиснення ільменіту, навіть за температури 1100 °С в камері.

Мікрохвильові технології можна також використовувати для передпроцесової обробки порошків з метою зниження вмісту небажаних домішок. В Інституті розроблено метод попередньої термохімічної обробки нанопорошків тугоплавких сполук на основі нітридних фаз, отриманих різними методами, для їх уніфікації [3]. Цей метод дозволяє проводити низькотемпературну (250–300 °С) термообробку порошкових матеріалів у НВЧ-устаткуванні в потоці газів і є ефективним способом зменшення вмісту кисню й деагломерації для нанопорошків нітридів титану і кремнію. Встановлено, що термічна обробка в мікрохвильовій печі впродовж 3 хв за помірних (до 300 °С) температур сприяє перебігу відновлювальних реакцій та азотуванню нанопорошків і сумішей на основі нітриду кремнію, завдяки чому досягається зменшення вмісту кисню на 30–60 % порівняно з його вмістом у первинних нанопорошках. Традиційно таку термообробку проводили в

Рис. 1. Керамічні кульки на основі $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-ZrN}$ у сепараторі, надрукованому на 3D-принтері



печі опору впродовж 6–8 год за температури 600 °С [4].

Використання нанокераміки на основі тугоплавких сполук у вузлах тертя, що працюють в екстремальних умовах, дозволяє швидше приробити різні матеріали, знизивши опір просування одного тіла по поверхні іншого внаслідок утворення прошарку керамічних наночастинок у зоні трибоконтакту [5, 6]. Проведені розрахунки залежності об'ємного зносу від розміру зерен матеріалу, а також отримані експериментальні дані вказують на істотні переваги використання композиційних наноматеріалів (у нашому випадку тугоплавких нітридів титану, цирконію та кремнію) порівняно з аналогічною керамікою з субмікронною та мікронною структурою [7].

Співробітники відділу термомеханічної обробки тугоплавких матеріалів Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України розробили технологію виготовлення керамічних кульок на основі нітриду кремнію для гібридних підшипників, які експлуатуються в умовах високих температур та навантажень, а також проявляють ефект самозаліковування дефектів (рис. 1) [8].

Для отримання композиційних нанопорошків $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-ZrN}$ застосовано оригінальну технологію синтезу в єдиному технологічному циклі – твердофазний синтез прекурсору у вакуумі з наступним його азотуванням [8–11]. Для одержання заготовок у формі кульок було використано нелінійні режими консолідації композиційних нанопорошків методами спікання з контрольованою швидкістю ущіль-

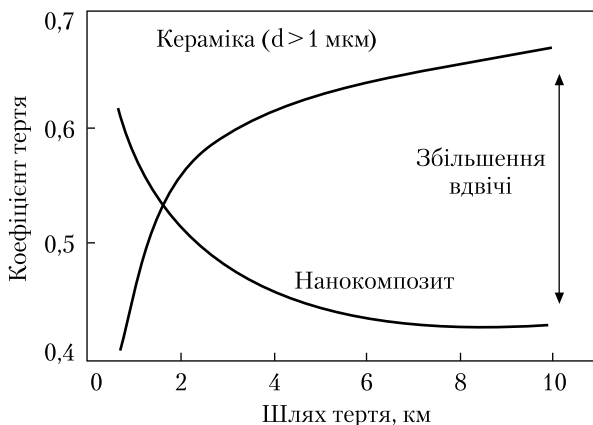


Рис. 2. Зміна коефіцієнта тертя залежно від шляху тертя для кераміки на основі нітриду кремнію

нення (СКШУ) та іскро-плазмового спікання (ІПС), які дозволяють гарантовано отримувати щільну зносостійку нанокераміку на основі нітриду кремнію, а також знизити на 10–20 % енерговитрати на виготовлення керамічних виробів [12–15]. Впровадження розроблених зносостійких наноккомпозитів на основі тугоплавких сполук з ефектом самозаліковування дефектів дає змогу збільшити ресурс роботи вузлів тертя приблизно вдвічі (рис. 2) [16, 17].

Виявлено, що використання в парах тертя нанокерамічних композитів на основі нітриду кремнію дозволяє швидше приробити пари тертя кераміка-кераміка та кераміка—твердий сплав або карбідосталь, мінімізуючи опір просуванню одного тіла поверхнею іншого за рахунок формування трибошару з наночастинок на ділянках трибоконтакту матеріалів, що підтверджено розрахунками залежності твердості та об'ємного зносу від розміру зерен матеріалу, а також експериментальними даними [5, 8, 18, 19].

Впровадження технологічних режимів консолідації наноккомпозитів на основі тугоплавких нітридів для виробництва зносостійких наноккомпозитів дозволить отримати високоякісні наноструктурні вироби, що можуть конкурувати за ціною з азійськими аналогами. Розрахунок орієнтовної вартості одиниці виробу з наноккомпозиту засвідчує, що ця технологія є конкурентоспроможною як в якісному,

так і в ціновому аспектах порівняно з продукцією, пропонованою на ринку України та країн близького зарубіжжя.

Український ринок заповнений переважно імпоротною продукцією, а власне виробництво високорентабельних наукомістких виробів з керамічних матеріалів (наприклад, гібридних і керамічних підшипників) згорнуто. Впровадження на вітчизняному ринку сучасних технологій консолідації, якими є іскро-плазмове і мікрохвильове спікання, а також модернізація наявного устаткування під режими СКШУ разом із використанням вітчизняних наноматеріалів дозволять отримувати порівняно недорогий високоякісний продукт, який за своїми характеристиками здатний конкурувати з більшістю зносостійких виробів в Україні і за кордоном [8, 20, 21].

На сьогодні адитивні технології залучаються в усі галузі промислового виробництва та наукових досліджень, що пов'язано з їхніми можливостями швидкого прототипування шляхом пошарового формування виробів із різних матеріалів. Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України має багаторічний досвід з розроблення і впровадження адитивних технологій. Так, ще в 1990-х роках група вчених під керівництвом академіка НАН України В.В. Скорохода і тоді ще кандидата технічних наук, а тепер академіка НАН України А.В. Рагулі проводила дослідження зі створення технології селективного лазерного спікання керамічних порошків на основі тугоплавких сполук. Співробітники Інституту отримали багатшарові композити складної форми на основі тугоплавких сполук ZrO_2 , TiO_2 , TiB_2 , B_4C [22].

Зараз технології 3D-друку вже вийшли за межі дослідницьких лабораторій і перебувають на стадії впровадження в промисловості та побуті, триває активний пошук нових матеріалів для швидкого прототипування виробів. У нашій роботі ми використовуємо технології робокастингу та моделювання методом пошарового наплавлення (технологія FDM) для отримання виробів з кераміки та біоккомпозитів [23].

Робокастинг (інша назва «прямий друк чорнилами») — адитивна технологія, в якій здійснюється пошаровий 3D-друк об'єкта екструзією пасты/чорнила через формувальний отвір головки 3D-принтера. В Інституті цю технологію використовують для отримання виробів складної форми з біокераміки та композиційних матеріалів. Здійснюються роботи з виготовлення високопористих виробів з біокompatивів (біоскло, гідроксиапатит, нітрид кремнію) 3D-друком за технологією робокастингу. На першому етапі дослідження були спрямовані на отримання паст для 3D-друку біокompatивів, надалі — на відпрацювання процесу робокастингу для одержання заготовок складної форми, які в подальшому потребують термообробки для надання їм необхідних фізико-механічних властивостей [24].

До досліджень з виготовлення виробів складної форми методом робокастингу активно долучається наукова молодь. Так, магістр Київського академічного університету В. Науменко, який виконує свою науково-дослідну роботу в Інституті, розробив технологію 3D-друку мікронагрівачів з дисіциду молібдену із застосуванням методу робокастингу (рис. 3). У подальшому планується використання цієї технології для формування нового жаростійкого матеріалу на основі силіцидної кераміки $\text{Mo}(\text{Cr},\text{Nb})\text{Si}_2$ для виробництва нагрівачів з подовженим ресурсом роботи.

Ще одним напрямом, який активно розвивається в Інституті проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, є отримання філаментів з полімер-керамічних композитів та 3D-друк виробів з них методом моделювання з пошаровим наплавленням. Є запит української промисловості на розроблення нових композитів на основі полімерних матеріалів, зміцнених керамічними частинками або волокнами (вуглецевими, базальтовими та ін.) для потреб авіабудівної, хімічної та машинобудівної галузі. Такі композити є більш зносостійкими, міцними і мають довший термін експлуатації порівняно з їхніми полімерними аналогами [26, 27].

Рис. 3. 3D-друк методом робокастингу пастою на основі MoSi_2



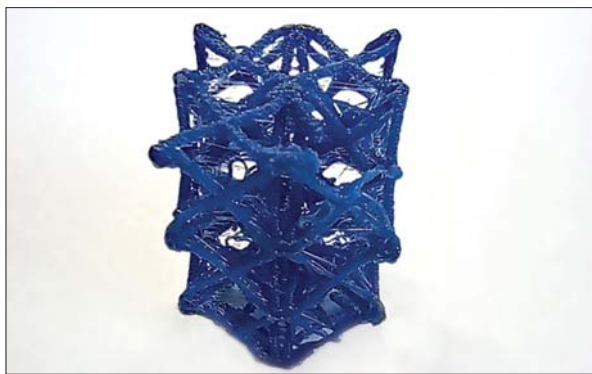
Рис. 4. Шестерня, надрукована методом пошарового наплавлення з композиту ПП-TiN [26]

Для успішного 3D-друку філаментами, зміцненими частинками або волокнами, коли композиційний матеріал значною мірою змінює свої фізико-механічні властивості, достатньо використовувати ступінь наповнення 10 об. % та вищий, але дуже важливо виготовляти філаменти з рівномірними розмірами за діаметром по всій довжині. Для деяких композитів на полімерній основі досягається граничний ступінь наповнення, за якого можна отримати філамент з більш як 50 об. % твердої фази. За таких умов методом моделювання з пошаровим наплавленням можна надрукувати деталь складної форми з полімер-керамічного матеріалу, а потім, застосовуючи сучасні методи консолідації, такі як мікрохвильове або іскро-плазмове спікання, отримати щільний виріб (рис. 4).

Одна з переваг 3D-друку — це можливість формування мікроструктури матеріалів, а також моделювання нових макроstruktur. Підтвердженням цього є постійно зростаюча кіль-



а



б

Рис. 5. Масив ауксетиків з філаменту: *а* – TPU; *б* – PLA

кість досліджень з 3D-друку ґратчастих структур. Друк таких конструкцій можна здійснювати як методом моделювання з пошаровим наплавленням, так і за допомогою інших адитивних технологій. Завдяки утворенню сендвіч-структур, що складаються з компактного та пористого (ґратчастого) шарів, досягається поліпшення таких параметрів, як міцність, демпфувальна здатність та ін. (рис. 5).

Для багатшарових конструкцій є можливість варіювання складу і властивостей мате-

ріалів в окремих шарах при формуванні ґратчастих структур [28]. Таким чином можна поєднувати матеріали з більшою жорсткістю та еластичні матеріали.

Зрозуміло, що питання вдосконалення періодичних структур не обмежується їхньою механічною поведінкою. Перспективним є пошук комбінованих структур, у яких реалізуються особливі магнітні, електричні або механічні властивості під час дії на ґратку сил, що спричиняють її стиснення або розтяг.

Можливий друк високопористих структур, об'єм яких заповнений речовиною, що змінює свої фізичні характеристики при стисненні, наприклад при переході з гелеподібного стану в твердий стан при контакті з одним із матеріалів.

Цікавим напрямом є 3D-друк структур з ниток на полімерній основі, наповнених керамічними, металевими або композиційними частинками, з подальшою термічною обробкою для видалення полімерів і отримання спечених ґратчастих матеріалів. При цьому роль пружного матеріалу може виконувати метал або сплав.

Отже, на сьогодні розвиток адитивних технологій в Україні та сучасних методів консолідації матеріалів, таких як іскро-плазмове спікання та мікрохвильова обробка, дозволяє забезпечити конкурентоспроможність наукових розробок українських вчених. Тому подальші дослідження в галузі біосумісних матеріалів і адитивних технологій, їх застосування для відновлювальної медицини, пошук нових матеріалів і розроблення технологій військового призначення, а також технологій, які будуть затребуваними в період післявоєнного відновлення України, є актуальним напрямом, особливо з огляду на тенденції розвитку сучасної науки. Все це потребує активізації робіт щодо подальшого впровадження розробок установ НАН України на вітчизняних підприємствах.

REFERENCES

1. Myslyvchenko O., Litvyn R., Krushynska L., Zgalat-Lozynskyy O. Phase transformations of ilmenite ore during microwave treatment at a frequency of 2.45 GHz under the influence of sucrose. *Materialia*. 2022. **22**: 101417. <https://doi.org/10.1016/j.mtla.2022.101417>
2. Myslyvchenko O.M., Litvin R.V., Zgalat-Lozynskyy O.B. Oxidation of the Irshansk Ilmenite Ore in Microwave Heating. *Powder Metall. Met. Ceram.* 2022. **61**: 414–423. <https://doi.org/10.1007/s11106-023-00328-x>
3. Zgalat-Lozinskii O.B., Kolesnichenko V.G., Zamula M.V., Solyanik L.V., Garbuz V.V., Klochkov L.A., Dubovitskaya N.V., Ragulya A.V. Thermochemical microwave treatment of refractory nanopowders. *Powder Metall. Met. Ceram.* 2013. **52**: 137–143. <https://doi.org/10.1007/s11106-013-9506-x>
4. Ragulya A.V., Zgalat-Lozinskii O.B. Sintering of Refractory Compound Nanocrystalline Powders. Part 1. Storage and Preliminary Heat Treatment of Titanium Nitride Nanocrystalline Powders. *Powder Metall. Met. Ceram.* 2001. **40**: 471–477. <https://doi.org/10.1023/A:1014335506115>
5. Zgalat-Lozynskyy O.B., Tischenko N.I., Varchenko V.T., Ragulya A.V., Polotai A. Tribological Behaviour of Si_3N_4 -Based Nanocomposites. *Tribology International*. 2015. **91**: 85–93. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2015.06.027>
6. Zgalat-Lozynskyy O.B., Apurbba K.S., Yehorov I.I., Varchenko V.T., Suresh K.S. Wear-Resistant TiN–20 wt.% Si_3N_4 and TiN–20 wt.% TiB_2 Composites Produced by Microwave Sintering. *Powder Metall. Met. Ceram.* 2021. **59**: 611–620. <https://doi.org/10.1007/s11106-021-00196-3>
7. Zgalat-Lozynskyy O., Andrzejczuk M., Varchenko V., Herrmann M., Ragulya A., Polotai A. Superplastic deformation of Si_3N_4 based nanocomposites reinforced by nanowhiskers. *Materials Science & Engineering*. 2014. **606**: 144–149. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2014.03.109>
8. Zgalat-Lozynskyy O., Kud I., Ieremenko L., Krushynska L., Zyatkevych D., Grinkevych K., Myslyvchenko O., Danylenko V., Sokhan S., Ragulya A. Synthesis and spark plasma sintering of Si_3N_4 -ZrN self-healing composites. *Journal of the European Ceramic Society*. 2022. **42**(7): 3192–3203. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2022.02.033>
9. Lytvyn R., Kud I., Myslyvchenko O., Medyukh R., Krushynska L., Zgalat-Lozynskyy O. Synthesis of highly disperse NbSi_2 - Si_3N_4 and Si_3N_4 -NbN composite powders. *International Journal of Applied Ceramic Technologies*. 2024. Special issue. <https://doi.org/10.1111/ijac.14683>
10. Kud I., Ieremenko L.I., Krushynska L.A., Zyatkevych D.P., Zgalat-Lozynskyy O.B., Shyrokov O.V. Synthesis and Consolidation of Powders Based on Si_3N_4 -Zr. In: Fesenko O., Yatsenko L. (eds). *Nanooptics and Photonics, Nanochemistry and Nanobiotechnology, and Their Applications*. Springer, Cham, 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-52268-1_2
11. Kud I.V., Ieremenko L.I., Krushynska L.A., Zyatkevych D.P., Zgalat-Lozynskyy O.B., Shyrokov O.V., Protsenko L.S. Synthesis of Si_3N_4 -ZrN composite powder without subsequent milling. *Dopov. Nac. Akad. Nauk Ukr.* 2020. (1): 54–60. <http://dx.doi.org/10.15407/dopovidi2020.01.054>
12. Zgalat-Lozynskyy O.B., Ragulya A.V., Herrmann M., Andrzejczuk M., Polotai A. Structure and mechanical properties of spark plasma sintered TiN-based nanocomposites. *Archives of Metallurgy and Materials*. 2012. **57**(3): 853–858. <http://dx.doi.org/10.2478/v10172-012-0093-5>
13. Zgalat-Lozynskyy O.B., Ragulya A.V., Herrmann M. Spark plasma sintering of TiCN nanopowders in non-linear heating and loading regimes. *Journal of the European Ceramic Society*. 2011. **31**: 809–813. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2010.11.030>
14. Kovalchenko M.S., Lytvyn R.V., Kud I.V., Zgalat-Lozynskyy O.B. Densification Kinetics of the TiB_2 -20 wt.% MoSi_2 Composite During Nonisothermal Spark Plasma Sintering. *Powder Metall. Met. Ceram.* 2023. **62**: 32–40. <https://doi.org/10.1007/s11106-023-00367-4>
15. Ragulya A.V., Zgalat-Lozinskii O.B., Skorokhod V.V. Sintering of Refractory Compounds Nanocrystalline Powders. Part 2. Non-Isothermal Sintering of Titanium Nitride Powder. *Powder Metall. Met. Ceram.* 2001. **40**: 573–581. <https://doi.org/10.1023/A:1015279919863>
16. Zgalat-Lozinskii O.B. Nanocomposites Based on Refractory Compounds, Consolidated by Rate-Controlled and Spark-Plasma Sintering (Review). *Powder Metall. Met. Ceram.* 2014. **53**: 19–30. <https://doi.org/10.1007/s11106-014-9583-5>
17. Zgalat-Lozynskyy O., Ieremenko L., Tkachenko I., Grinkevich K., Ivanchenko S., Zelinskiy A., Shpakova G., Ragulya A. Tribological Properties of ZrN- Si_3N_4 -TiN Composites Consolidated by Spark Plasma Sintering. *Powder Metall. Met. Ceram.* 2022. **60**: 597–607. <https://doi.org/10.1007/s11106-022-00272-2>
18. Zamula M.V., Derevyanko A.V., Kolesnichenko V.G., Samelyuk A.V., Zgalat-Lozinskii O.B., Ragulya A.V. Electric-discharge sintering of TiN-AlN nanocomposites. *Powder Metall. Met. Ceram.* 2007. **46**: 325–331. <https://doi.org/10.1007/s11106-007-0052-2>

19. Kolesnichenko V.G., Popov V.P., Zgalat-Lozinskii O.B., Klochkov L.A., Lobunets T.F., Raichenko A.I., Ragulya A.V. Field assisted sintering of nanocrystalline titanium nitride powder. *Powder Metall. Met. Ceram.* 2011. **50**: 157. <https://doi.org/10.1007/s11106-011-9313-1>
20. Zamula M.V., Derevyanko A.V., Kolesnichenko V.G., Zgalat-Lozinskii O.B., Ragulya A.V. Production of Products of Various Shapes From Si_3N_4 -Based Refractory Compounds by Spark Plasma Sintering. *Powder Metall. Met. Ceram.* 2015. **54**: 8–15. <https://doi.org/10.1007/s11106-015-9673-z>
21. Kolesnichenko V.G., Zgalat-Lozinskii O.B., Varchenko V.T., Herrmann M., Ragulya A.V. Friction and Wear of $\text{TiN-Si}_3\text{N}_4$ Nanocomposites Against ShKh15 Steel. *Powder Metall. Met. Ceram.* 2015. **53**: 680–687. <https://doi.org/10.1007/s11106-015-9663-1>
22. Zgalat-Lozynskyy O.B., Ragulya A.V. Laser Sintering of Multilayer Gradient Materials. In: *Functional Gradient Materials and Surface Layers Prepared by Fine Particles Technology*. NATO Science. Series II. Vol. 16. Springer, Dordrecht, 2000. P. 151–159. http://dx.doi.org/10.1007/978-94-010-0702-3_16
23. Zgalat-Lozynskyy O.B. Materials and Techniques for 3D Printing in Ukraine (Overview). *Powder Metall. Met. Ceram.* 2022. **61**: 398–413. <https://doi.org/10.1007/s11106-023-00327-y>
24. Derevyanko O., Derevyanko O., Zakiev V., Zgalat-Lozynskyy O. 3D Printing of Porous Glass Products Using the Robocasting Technique. *Powder Metall. Met. Ceram.* 2022. **60**: 546–555. <https://doi.org/10.1007/s11106-022-00267-z>
25. Zgalat-Lozynskyy O.B., Matviichuk O.O., Tolochyn O.I., Ievdokymova O.V., Zgalat-Lozynska N.O., Zakiev V.I. Polymer Materials Reinforced with Silicon Nitride Particles for 3D Printing. *Powder Metall. Met. Ceram.* 2021. **59**: 515–527. <https://doi.org/10.1007/s11106-021-00189-2>
26. Zgalat-Lozynskyy O.B., Matviichuk O.O., Litvyn R.V., Myslyvchenko O.M., Zgalat-Lozynska N.O. Microwave Sintering of 3D Printed Composites from Polymers Reinforced with Titanium Nitride Particles. *Powder Metall. Met. Ceram.* 2023. **62**: 164–173. <https://doi.org/10.1007/s11106-023-00380-7>
27. Zgalat-Lozynskyy O., Ragulya A. Microwave Sintering of Chessboard-Structured $\text{TiN-Si}_3\text{N}_4$ Composites Reinforced by Nanofibers. *Powder Metall. Met. Ceram.* 2022. **61**: 32–39. <https://doi.org/10.1007/s11106-022-00292-y>
28. Tolochyna O., Zgalat-Lozynska N., Podrezov Yu., Verbylo D., Tolochyn O., Zgalat-Lozynskyy O. The role of flexible polymer composite materials properties in energy absorption of three-dimensional auxetic lattice structures. *Materials Today Communications*. 2023. **37**: 107370. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2023.107370>

Ostap B. Zgalat-Lozynskyy

Frantsevich Institute for Problems of Materials Science of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7013-5010>

MODERN TECHNOLOGIES OF 3D PRINTING, MICROWAVE PROCESSING AND SPARK-PLASMA SINTERING FOR THE MANUFACTURE OF PRODUCTS FROM COMPOSITE MATERIALS BASED ON REFRACTORY COMPOUNDS

According to the materials of scientific report at the meeting of the Presidium of NAS of Ukraine, March 6, 2024

The report presents the most important results of fundamental and applied research conducted at the Frantsevich Institute for Problems of Materials Science, National Academy of Sciences of Ukraine, on the development of modern technologies for the synthesis and consolidation of composite materials based on high-melting-point compounds for the manufacture of products that are operated in conditions of extreme temperatures, loads and aggressive environments, as well as the latest materials for 3D printing using Robocasting and FDM technologies. Novel developments in the processing industry are presented, which involve the introduction of environmentally friendly and energy-efficient processing technologies, which is of particular importance for the development of the competitiveness of export-oriented sectors of the Ukrainian economy in the post-war period.

Keywords: nanomaterials, 3D printing, Robocasting, high-melting-point compounds, microwave sintering, ilmenite, spark-plasma sintering, auxetics, wear resistance.

Cite this article: Zgalat-Lozynskyy O.B. Modern technologies of 3D printing, microwave processing and spark-plasma sintering for the manufacture of products from composite materials based on refractory compounds. *Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr.* 2024. (5): 92–98. <https://doi.org/10.15407/visn2024.05.092>