

Облікова картка ДіР



I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0226U003137

Державний реєстраційний номер: 0123U101834

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 18-03-2026

II. Етап виконання ДіР

Номер етапу: 1

Назва етапу: Керування структуроутворенням в SLM-друкованих біомедичних сплавах при кристалізації, термічній та термодеоформаційній обробках для підвищення їх фізико-хімічних властивостей

Початок етапу: 01.2023

Закінчення етапу: 12.2025

Вид звітнього документа: Остаточний звіт

III. Відомості про виконавця ДіР

Повне найменування юридичної особи (або ПІБ фізичної особи): Державний вищий навчальний заклад "Приазовський державний технічний університет"

Код за ЄДРПОУ: 02070812

Місцезнаходження: вул. Університетська, буд. 7, м. Маріуполь, Донецька обл., 87555, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

Розмір організації:

Телефон: 380629333416, 380629529924

IV. Відомості про співвиконавців ДіР

V. Відомості про замовника ДіР

Повне найменування юридичної особи (або ПІБ фізичної особи): Міністерство освіти і науки України

Код за ЄДРПОУ: 38621185

Місцезнаходження: проспект Перемоги, буд. 10, м. Київ, 01135, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Кабінет Міністрів України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

Розмір організації:

Телефон: 380444813221, +380444813221

VI. Джерела, напрями та обсяги фінансування ДіР

Підстава для проведення ДіР: 34 - договір (замовлення) з центральним органом виконавчої влади, академією наук (головними розпорядниками бюджетних коштів на проведення НДДКР)

Напрямок фінансування: 2.1 - фундаментальні дослідження

Джерела фінансування

7713 - кошти держбюджету

Код програмної класифікації видатків і кредитування (КПКВК): 2201 040

Фактичний обсяг фінансування (тис. грн.): 3083.848

VII. Відомості про ДіР

Назва роботи українською:

Керування структуроутворенням в SLM-друкованих біомедичних сплавах при кристалізації, термічній та термодеоформаційній обробках для підвищення їх фізико-хімічних властивостей

Назва роботи англійською:

Management of structure formation in SLM-printed biomedical alloys during crystallization, thermal and thermal deformation treatments to improve their physicochemical properties

Реферат українською:

Об'єкт дослідження – процеси формування мікроструктури та властивостей в SLM-друкованих біомедичних сталях та сплавах на основі титану та кобальту. Мета роботи – встановлення закономірностей формування структури та властивостей у SLM виготовлених біомедичних сплавах (316L, Co-28Cr-6Mo, Ti-6Al-4V) під дією термічних, деформаційних та комбінованих впливів, а також розробка концепції керування їх фізико-хімічними характеристиками шляхом підвищення структурної та хімічної однорідності. Методи досліджень: оптична та електронна мікроскопія, енергодисперсійна спектроскопія, вимірювання мікротвердості, рентгеноструктурні дослідження, трибологічні випробування, випробування на розтягнення та ударний згин за кімнатних та мінусових температур. Методом SLM виготовлено та досліджено зразки сплавів 316L, Co-28Cr-6Mo та Ti-6Al-4V. Встановлено, що за комплексом властивостей вони не поступаються традиційним аналогам. Вивчено вплив термічної, деформаційної та комбінованої пост-обробки на їхню мікроструктуру. З'ясовано, що рекристалізаційний відпал стабілізує структуру, проте може знижувати корозійну стійкість через виділення оксидів. Доведено ефективність імпульсно-плазмової, лазерної та ультразвукової обробок для ущільнення поверхні та створення структурного градієнта. Зокрема, поєднання цементації з лазерним оплавленням суттєво покращує трибологічні властивості сплаву Ti-6Al-4V. Досліджено водневе окрихчення сталі 316L за механізмом HELP. Встановлено, що комбінація ультразвукової модифікації та відпалу мінімізує поглинання водню завдяки зменшенню дефектності структури.

Реферат англійською:

The object of the study is the processes of microstructure and property formation in SLM-printed biomedical steels and titanium- and cobalt-based alloys. The aim of the work is to establish the patterns of structure and property formation in SLM-manufactured biomedical alloys (316L, Co-28Cr-6Mo, Ti-6Al-4V) under thermal, deformation, and combined treatments, as well as to develop a concept for controlling their physicochemical characteristics by improving structural and chemical homogeneity. Research methods included optical and electron microscopy, energy-dispersive spectroscopy, microhardness measurements, X-ray diffraction analysis, tribological testing, and tensile and impact toughness tests at room and sub-zero temperatures. Samples of 316L, Co-28Cr-6Mo, and Ti-6Al-4V alloys were fabricated via SLM and investigated. It was established that their set of properties is comparable to traditional counterparts. The effects of thermal, deformation, and combined post-processing on their microstructure were studied. It was found that recrystallization annealing stabilizes the structure but may reduce corrosion resistance due to oxide precipitation. The effectiveness of pulsed-plasma, laser, and ultrasonic treatments for surface densification and structural gradient formation was proven. In particular, combining carburization with laser melting significantly improves the tribological properties of the Ti-6Al-4V alloy. Hydrogen embrittlement of 316L steel via the HELP mechanism was investigated. It was determined that a combination of ultrasonic modification and annealing minimizes hydrogen absorption by reducing structural defects.

Індекс УДК: 621.771:62-412.004.12;620.18:621.771, 669.14.018.29:669.11;669.14.018.9:669.11, 669.14.018.29:669.11;669.14.018.9:669.11, 669.017:543, 669.1

Коди тематичних рубрик:53.43.03.19, 53.49.13.05

Керівники роботи

Власне Прізвище Ім'я По-батькові: Єфременко Василь Георгійович

Науковий ступінь: д. т. н.

Вчене звання: професор

Ідентифікатор ORCID ID:

Додаткова інформація:

VIII. Наукова (науково-технічна) продукція (НТП)

Назва НТП українською: Концепція керування структурною та хімічною однорідністю адитивно виготовлених металовиробів із сплавів біомедичного призначення; комплексна технологія термічної, деформаційної та комбінованої постобробки SLM-виготовлених виробів з біомедичних сталей (316L) та сплавів на основі титану (Ti-6Al-4V) і кобальту (Co-28Cr-6Mo).

Назва НТП англійською: _ A concept for controlling the structural and chemical homogeneity of additively manufactured metal products made of biomedical alloys; a comprehensive technology for thermal, deformation, and combined post-processing of SLM-fabricated components made of steels (316L) as well as titanium-based (Ti-6Al-4V) and cobalt-based (Co-28Cr-6Mo) alloys.

НТП, яку передбачалося створити: Створено

Причини, через які НТП не було створено:

Отримані результати: Матеріали, Аналітичні матеріали

Галузь застосування: 25.7 Виробництво інших готових металевих виробів

Реєстраційний номер картки технології:

Опис НТП: Досліджено фазово структурний стан SLM виготовлених біомедичних сплавів (316L, Ti-6Al-4V, Co-28Cr-6Mo) в стані 3D-друку та після об'ємної термічної обробки, імпульсно-плазмової, лазерної та ультразвукової наноструктурної модифікації поверхні, та доведено, що за рівнем фізико-механічних та корозійних властивостей вони не поступаються традиційно виготовленим аналогам. Розроблено комплексну термодереформаційну технологію пост-обробки SLM біомедичних сплавів, що дозволяє покращити їх механічні й трибологічні властивості, а також підвищити стійкість до водневого окрихнення.

Соціально-економічна спрямованість НТП: Створення принципово нової продукції (матеріалів, технологій тощо) для забезпечення експортного потенціалу та заміщенню імпорту, Економія матеріалів, Поліпшення якості життя та здоров'я населення, ефективності діагностики та лікування хворих

Вплив НТП на довкілля:

Впровадження НТП: Впроваджено

Практична реалізація НТП

Початок етапу: 01.2026

Закінчення етапу: 12.2028

Споживачі продукції: Медична галузь. Підприємства машинобудівної промисловості України.

Перспективні ринки: Україна, Польща, Словаччина

Характер співробітництва з інвестором

Потрібний обсяг інвестицій, тис. грн.:

Права, що надаються інвестору після завершення роботи:

Наявність бізнес-плану: Ні

Техніко-економічне обґрунтування:

Потенціальний обсяг продажу, тис. грн.:

Очікуваний термін окупності (років): 4

Додаткова інформація:

IX. Бібліографічний опис

1. Bohdan Efremenko, Vadym Zurnadzhy, Yuliia Chabak, Angeliki G. Lekatou, Peter Hornak, Marek Vojtko, Vasily Efremenko, Microstructure-properties characterization of selective laser melted biomedical Co-28Cr-6Mo alloy. *Materials Science Forum*. 2023. Vol. 1081, P. 143-148. Q4 <https://doi.org/10.4028/p-t4p992>
2. Efremenko V.G., Lekatou A.G., Chabak Yu.G., Efremenko B.V., Petryshynets I., Zurnadzhy V.I., Emmanouilidou S., Vojtko M., Micromechanical, corrosion and wet sliding wear behaviours of Co-28Cr-6Mo alloy: Wrought vs. LPBF, *Materials Today Communications*. 2023. Vol. 35, Article no. 105936 Q2, <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2023.105936>
3. Greshtha V., Shalomeev V., Bovkun S., Petryshynets I., Efremenko V., Brykov M. Influence of noble metals on the microstructure and properties of biodegradable Mg-Nd-Zr alloy. *Applied Sciences*. 2023. Vol.13. Article no. 12736. Q2 <https://doi.org/10.3390/app132312736>.
4. Efremenko B.V., Chabak Yu.G., Tsvetkova E.V., Dzherenova A.V., Efremenko V.G., Kromka F., Zurnadzhy V.I., Olejnik I.M. Surface laser melting of a carburized LPBF-manufactured Ti-based biomedical grade alloy. *Journal of Nano- and Electronic Physics*. 2023. Vol. 15(4). Article no. 04035. Q3 [https://doi.org/10.21272/jnep.13\(2\).02030](https://doi.org/10.21272/jnep.13(2).02030)
5. Efremenko B.V., Petryshynets I., Chabak Y.G., Zurnadzhy V.I., Wu K., Efremenko V.G., Fedun V.I., Kromka F., Kulyk V.V., Tsvetkova E.V. Structure and wet-sliding characterization of a laser powder bed fusion Ti-6Al-4V biomedical alloy: Effect of laser surface modification. *Romanian Journal of Physics*. 2024. vol. 69. Article no. 613. Q3 <https://doi.org/10.59277/RomJPhys.2024.69.613>.
6. Efremenko B.V., Chabak Yu.G., Efremenko V.G., Kromka F., Olejnik I.M., Shalomeev V.A., Tsvetkova E.V., Dzherenova A.V. Laser Surface Modification of the Wrought and LPBF-Printed Biomedical Co-28Cr-6Mo Alloys: Effects on nanoindentation and Tribological Behaviors. *Journal of Nano- and Electronic Physics*. 2024. Vol. 16(4), Article no. 04022(8pp) Q3 [https://doi.org/10.21272/jnep.16\(4\).04022](https://doi.org/10.21272/jnep.16(4).04022)
7. Kulyk V.V., Duriagina Z.A., Vasylyv B.D., Lyutyy P.Ya., Klimczyk P., Vavrukh V.I., Efremenko V.G., Kostryzhev A., Trostianchyn A.M., Kovbasiuk T.M. The effect of sintering modes on the crystal lattice parameters and the morphology of the ZrO₂-nY₂O₃ (n = 3–8 mol%) ceramic microstructure components, *Archives of Materials Science and Engineering*. 2024. Vol.128/1. P. 5-22. Q3 <https://doi.org/10.5604/01.3001.0054.8015>
8. Efremenko V.G., Lekatou A.G., Efremenko B.V., Chabak Yu.G., Petryshynets I., Margariti D., Emmanouilidou S., Puchy V. Laser beam surface modification of additively manufactured Ni-based superalloy: Correlations of microstructure and tribological/corrosion properties, *Journal of Materials Research and Technology*. 2025. Vol. 35. P. 4390–4411. Q1 <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2025.02.063>.
9. Efremenko B., Chabak Y., Petryshynets I., Efremenko V., Wu K., Arshad S., Kromka F. Microstructure Evolution, Tensile/Nanoindentation Response, and Work-Hardening Behaviour of Prestrained and Subsequently Annealed LPBF 316L Stainless Steel. *Materials*. 2025. Vol. 18. Article no. 1102. Q1 <https://doi.org/10.3390/ma18051102>.
10. Efremenko B., Chabak Y., Petryshynets I., Zhao T., Efremenko V., Wu K., Xia T., Džupon M., Arshad S. Evaluation of the Suitability of High-Temperature Post-Processing Annealing for Property Enhancement in LPBF 316L Steel: A Comprehensive Mechanical and Corrosion Assessment. *Metals*. 2025. Vol. 15. 684. Q1 <https://doi.org/10.3390/met15060684>.
11. Lekatou A.G., Efremenko B.V., Haoui V., Efremenko V.G., Emmanouilidou S., Zurnadzhy V.I., Petryshynets I., Chabak Yu.G., Sili I.I., Microstructure, electrochemical, wear and corrosive wear performance of laser-based powder bed fusion and wrought biomedical Ti-6Al-4V alloys. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. Vol. 35(8). P. 2612-2631. Q1 [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(25\)66836-1](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(25)66836-1).
12. Lekatou, A.G.; Sarika, V.; Efremenko, B.; Chabak, Y.; Efremenko, V.; Petrišinec, I.; Emmanouilidou, S.; Tsirka, K. Effect of Laser Surface Melting on the Microstructure and Corrosion Resistance of Laser Powder Bed Fusion and

Wrought Ti6Al4V Alloys. Coatings. 2025. Vol.15, Article no. 1285. Q2 <https://doi.org/10.3390/coatings15111285>.

13. Efremenko B.V., Chabak Yu.G., Amanov A., Efremenko V.G., Milković O., Tsvetkova E.V., Olejnik I.M., Dzherenova A.V. Effect of Ultrasonic Nanocrystal Surface Modification on Microhardness and Tensile Properties of Laser Powder Bed Fusion 316L Steel. Journal of Nano- Electronic Physics. 2025. Vol. 17(5). Article no. 05019. Q3 [https://doi.org/10.21272/jnep.17\(5\).05019](https://doi.org/10.21272/jnep.17(5).05019).

14. Efremenko B.V., Chabak Yu.G., Tsvetkova E.V., Oleinyk I.M., Efremenko V.G.1,2, Dzherenova A.V. Influence of annealing temperature on the Charpy fracture characteristics of selective laser melted 316L steel at ambient and cryogenic temperatures. Physics and Chemistry of Solid State. 2025. Vol. 26(4) P. 844-851. Q3 <https://doi.org/10.15330/pcss.26.4.844-851>.

15. Bohdan Efremenko, Yuliia Chabak, Ladislav Falat, Vasily Efremenko, Andriy Syrotyuk, Ivan Petrišinec, František Kromka, Volodymyr Kulyk. Hydrogen-Induced Effects on Tensile Properties and Impact Toughness in Additively Manufactured vs. Wrought Austenitic Stainless Steels. Corrosion and Materials Degradation. 2026. Vol. 7(1). 14. Q3 <https://doi.org/10.3390/cmd7010014>.

16. Єфременко Б. В., Чабак Ю. Г., Фалат Л., Єфременко В. Г., Аманов А., Сиротюк А. М., Цветкова О. В. Вплив відпалу та UNSM оброблення на стійкість до водневого окрихчування LPBF-друкованої сталі 316L. Фізико-хімічна механіка матеріалів. 2026. 62. т.1. С. 17-30. <https://pcmm.org.ua/effect-of-annealing-and-unsm-treatment-on-the-hydrogen-embrittlement-resistance-of-lpbf-printed-316l-steel/>. (фахове видання категорії «А»).

17. Greshta V.L. Characteristic features of corrosion dissolution of a model biodegradable im-plant made of NZ30K alloy + 0.1 wt.% Ag clad with a silver layer in Ringer-Locke solution. Science and Innovation. 2025. vol. 21 (4), P. 98-106. Q3 <https://doi.org/10.15407/scine21.04.098>

18. Грешта В.Л., Бриков М.М., Шаломеев В. А., Павленко Д. В., Ткач Д. В., Єфременко В. Г., Петришинець І. Особливості мікродугового оксидування магнієвих сплавів і корозійного руйнування отриманих покриттів. Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. 2023. № 3. С. 6-13. <https://doi.org/10.15588/1607-6885-2023-3-1> (фахове видання категорії «Б»)

Монографії та розділи монографій 1. Єфременко Б.В., Чабак Ю.Г., Цветкова О.В., Джеренова А.В., Єфременко В.Г., Олійник І.М. Структура та властивості біомедичних сплавів, виготовлених за адитивною технологією LPBF-друку: Монографія. – Дніпро : Приазовський державний технічний університет, 2025. – 135 с. (9,22 авт. аркуша), ISBN 978-966-940-759-7.

2. Efremenko B.V., Chabak Yu.G., Petryshynets I. & Efremenko V.G. Post-Processing Heat Treatment of LPBF 316L Steel: Influence on Microstructure-Properties Evolution. (Book Chapter) In: Chemical and Materials Sciences: Research Findings, Ed. A. S. Gaballa. (2025). Vol. 5, p. 9-97. BP International (Kolkata, India). <https://doi.org/10.9734/bpi/cmsrf/v5/6099>. ISBN 978-93-88417-06-8 (Print), ISBN 978-93-88417-34-1 (eBook)

Патенти: 1. Патент на винахід 128358. Аксіальний електрод електротермічного плазмового аксіального прискорювача. Н05Н 1/34, Н05Н 1/54, С23С 16/513, С23С 16/32. Автори: Чабак Ю.Г., Єфременко В.Г., Зурнаджи В.І., Федун В.І., Єфременко Б.В., Пастухова Т.В. заяв. а 2021 06133 від 01.11.2021; опубл. 19.06.2024, бюл. № 25 <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1805575/>

2. Патент на винахід 128832 Спосіб зміцнювальної термічної обробки сталі. 21D 9/36 (2006.01), С21D 1/78 (2006.01), С21D 1/18 (2006.01), С21D 1/22 (2006.01). Автори: Зурнаджи В.І., Єфременко В.Г., Чабак Ю.Г., Єфременко Б.В., Зайчук Н.П., заявл. у 2022 02943 від 15.08.2022, опубл. 30.10.2024, бюл. № 44 <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1825057/>

3. Патент на корисну модель UA 162029 U. Спосіб термічної обробки біомедичної сталі 316L, виготовленої за технологією селективного лазерного плавлення В22F 10/28 (2021.01), В22F 10/00, В22F 3/105 (2006.01) С21D 6/00 Автори: Єфременко Б.В., Чабак Ю.Г., Цветкова О.В., Єфременко В.Г., Олійник І.М., Джеренова А.В. Опубл.

u 2025 03828. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1898172/>

4. Заявка на патент u2025 03965 от 08.08.2025. Спосіб термічної обробки біомедичної сталі 316L, виготовленої за технологією селективного лазерного плавлення. Автори: Єфременко Б.В., Чабак Ю.Г., Цветкова О.В., Єфременко В.Г., Олійник І.М., Джеренова А.В. https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/simple/?form-TOTAL_FORMS=1&form-INITIAL_FORMS=1&form-MAX_NUM_FORMS=&form-0-param_type=1&form-0-value=u2025+03828+

5. Заявка на корисну модель a2026 00144 від 09.01.2026. Спосіб комбінованої обробки біомедичної сталі, виготовленої за адитивною технологією селективного лазерного плавлення. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1895027/>

6. Заявка на патент u2026 00146 від 09.01.2026. Спосіб комбінованої обробки біомедичної сталі, виготовленої за адитивною технологією селективного лазерного плавлення. Автори: Єфременко Б.В., Чабак Ю.Г., Цветкова О.В., Єфременко В.Г., Олійник І.М., Джеренова А.В. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1895044/>

Х. Заключні відомості

Керівник юридичної особи

Ленцов Ігор Альбертович

к. т. н.

Перелік осіб-виконавців

Єфременко Богдан Васильович
(к. т. н., доц.)

Акімова Орина М.

Бриков Михайло Миколайович
(д. т. н., професор, 05.02.01)

Волинець Марія І.

Грешта Віктор Леонідович
(к. т. н., професор, 05.16.01)

Кулик Володимир Володимирович
(д. т. н., проф.)

Ленцов Денис Ігоревич

Олійник Інна Михайлівна
(к. т. н., доц., 05.16.01)

Петришинець Іван О.
(к.т.н.)

Усенко Олександр Іванович

Цветкова Олена Валентинівна
(к. ф.-м. н., доц.)

Чабак Юлія Геннадіївна
(д. т. н., професор)

**Відповідальний за підготовку
облікових документів**

Єфременко В.Г.

Телефон

+380981182984

Реєстратор

Юрченко Тетяна Анатоліївна

**Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є
відповідальним за реєстрацію наукової
діяльності**



Юрченко Тетяна Анатоліївна