

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації
Тіткова Євгенія Петровича
за темою «**Структура та фазовий склад зносостійких покриттів, отриманих методом багатоканального детонаційного напылення**»,
поданої на здобуття наукового ступеню **доктора філософії**
за спеціальністю **132 – «Матеріалознавство»**

Дисертаційна робота Тіткова Євгенія Петровича присвячена встановленню впливу режимів багатоканального детонаційного напылення (співвідношення окиснювача до пального газу, витрати порошку, довжина ствола пушки тощо) на структурно-фазові зміни у поверхнях зносостійких металокерамічних покриттів (Al_2O_3 -(3...5%)Al або (3...5%)Ti; $\text{Zr}(\text{SiO}_4)$; Cr_3C_2 -NiCr; Ni-Cr-Fe-B-Si та WC-Co-Cr) з метою вивчення особливостей формування структури, фазового складу та їх впливу на властивості міцності та тріщиностійкості зносостійких металокерамічних покриттів, що отримані методом багатоканального детонаційного напылення.

Актуальність роботи

При напыленні захисних покриттів, зокрема зносостійких покриттів з тугоплавких матеріалів використовують різні методи газотермічного напылення такі, як плазово-дугове, газополуменеве, детонаційне напылення тощо. Сучасна промисловість потребує впровадження продуктивних методів напылення покриттів. Одним із таких перспективних методів нанесення зносостійких покриттів є новий метод багатоканального детонаційного напылення, який характеризується більшою продуктивністю у порівнянні з класичною технологією детонаційного напылення. Однак існує необхідність у розширенні уявлень про особливості структурно-фазового складу покриттів, що формується при застосуванні нового методу багатоканального детонаційного напылення. А саме – про об'ємну частку фазових складових, мікротвердість, мікроструктуру, субструктуру, характер дислокаційної структури та вивченню їх впливу на властивості міцності та тріщиностійкості зносостійких металокерамічних покриттів, отриманих методом багатоканального детонаційного напылення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційна робота виконана у відділі фізико-хімічних методів досліджень матеріалів Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України Національної академії наук України за цільовою науковою програмою ВФТПМ НАНУ (1.6.1.1.6.22.34) «Дослідження і

створення нових біметалевих матеріалів з використанням високоенергетичної плазмово-дугової та термодинамічної дії на локальній поверхні» та темою відомчого замовлення 1.6.1.1.22.7 (22/7) «Вивчення особливостей фізико-хімічних процесів взаємодії фаз і структуроутворення в нерівноважних термодинамічних умовах при формуванні зливків, зварних з'єднань та покриттів на поверхні виробів зі сталей та металевих сплавів».

Наукова новизна отриманих результатів

Положення наукової новизни дисертації полягають у наступному:

- Вперше розвинуті уявлення щодо впливу технологічних режимів багатокамерного детонаційного напилення на структурно-фазові зміни у поверхнях зносостійких металокерамічних покриттів ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Al/Ti}$; $\text{Zr(SiO}_4\text{)}$; $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$; WC-Co-Cr ; NiCr). З'ясовано, що при відповідній зміні режимів багатокамерного детонаційного напилення (співвідношення окиснювача до пального газу, витрат та фракції порошку, довжина ствола пушки) змінюються: об'ємна частка пор, фазовий склад, мікротвердість, розподіл дисперсних фаз, параметри зеренної, субзеренної та дислокаційної структур;
- Вперше встановлено взаємозв'язок структури покриттів та її параметрів з рівнем міцності та локальних внутрішніх напружень, що формуються у внутрішніх об'ємах матеріалу покриттів. Зокрема, доведено, що високий рівень зміцнення і тріщиностійкість покриттів забезпечуються за рахунок дрібнозернистої структури при рівномірному розподілі зміцнюючих фаз та дислокаційної щільності;
- Вперше виявлено, що характерною особливістю структури, що формується у покриттях при багатокамерному детонаційному напиленні є наявність субструктури розміром $0,1 \dots 0,6$ мкм та наночастинок зміцнюючих фаз розміром $10 \dots 120$ нм, рівномірно розподілених по об'єму структури. Утворення наноструктурного стану у таких покриттях сприяє підвищенню їх міцності;
- Вперше на основі експериментальних показників щільності дислокацій у матеріалі покриттів, встановлено, що забезпеченню тріщиностійкості покриттів сприяє відсутність протяжних структурних зон дислокаційних скупчень - концентраторів локальних внутрішніх напружень при рівномірному розподілі щільності дислокацій $\rho = (2 \dots 3) \times 10^9 \dots (3 \dots 5) \times 10^{10} \text{ см}^{-2}$.
- Вперше визначено вплив режимів багатокамерного детонаційного напилення на рівень знеуглецювання покриттів, отриманих з порошків які містять карбідну фазу. Виявлено, що режими які призводять до більшого перегріву напилюваного матеріалу (збільшення

довжини ствола пушки, підвищений вміст пального газу) призводять до зменшення вмісту фази вихідного вищого карбїду зі збільшенням вмісту фаз нижчих карбїдів та оксидів.

Практичне значення роботи

На основі отриманих результатів У роботі було визначено вплив технологічних параметрів на формування структури захисних металокерамічних покриттів, отриманих методом багатокамерного детонаційного напилення. Отримані результати можуть бути використані для оптимізації режимів багатокамерного детонаційного напилення. Сформовані рекомендації щодо технологічних параметрів нанесення зносостійких металокерамічних покриттів методами детонаційного напилення можуть бути використані в промисловості для підвищення якості покриттів.

Повнота викладу результатів роботи в наукових фахових виданнях

Основні результати досліджень викладено в дисертації і опубліковано у 16 роботах, які включають 3 статті, що входять до міжнародної наукометричної бази даних SCOPUS, 2 статі в наукових журналах, що входять до переліку МОН України, 1 статтю в зарубіжному науковому фаховому виданні, 10 наукових праць в збірниках матеріалів міжнародних та всеукраїнських конференцій.

Перелік робіт, в яких опубліковано основні результати дисертації

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Маркашова Л.И., Тюрін Ю.Н., Колисниченко О.В., Берднікова Е.Н., Кушнарева О.С., Половецкий Е.В., **Тітков Е.П.** Влияние структуры на свойства покрытий из механических смесей порошков Al_2O_3 и Al (или Ti), полученных методом многокамерного детонационного напыления. Автоматическая сварка. 2017. №9. С. 33-39. <https://doi.org/10.15407/as2017.09.05>

2. О. М. Берднікова, Ю. М. Тюрін, О. В. Колісниченко, О. С. Кушнарьова, Є. В. Половецкий, **Є. П. Тітков**, Л. Т. Єремеева. Нанорозмірні структури детонаційних металокерамічних покриттів системи Ni–Cr–Fe–B–Si. Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології. 2022. т. 20, № 1. С. 97–109. <https://doi.org/10.15407/nnn>

Статті у науково періодичних виданнях інших держав:

3. Markashova L., Grigorenko G., Tyurin Yu., Kolisnichenko O., Berdnikova O., Kushnarova O., **Titkov E.** New composite coatings, their structure and properties. Nano Studies, 14, 2016, Nekerі, Georgia, 2016. P. 231-238

4. Markashova L., Tyurin Y., Berdnikova O., Kolisnichenko O., Polovetskyi I., **Titkov Ye.** Effect of Nano-Structured Factors on the Properties of the Coatings Produced by Detonation

Spraying Method. In book: Pogrebnjak, A., Novosad, V. (eds) Advances in Thin Films, Nanostructured Materials, and Coatings. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Singapore. 2019. pp. 109-117. https://doi.org/10.1007/978-981-13-6133-3_11 (Scopus)

5. Sydorets V., Berdnikova O., Polovetskyi Ye., **Titkov Ye.**, Bernatskyi A. Modern Techniques for Automated Acquiring and Processing Data of Diffraction Electron Microscopy for Nano-Materials and Single-Crystals. Materials Science Forum. 2020. vol. 992. P. 907-915. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.992.907> (Scopus)

6. **Titkov Y.**, Berdnikova O., Tyurin Y., Kolisnichenko O., Polovetskiy Y., Kushnaryova O. Effect of Structure on the Properties of Composite $\text{Cr}_3\text{C}_2 + \text{NiCr}$ Coatings. In book: Pogrebnjak, A., Bondar, O. (eds) Microstructure and Properties of Micro- and Nanoscale Materials, Films, and Coatings (NAP 2019). Springer, Singapore. 2020. Springer Proceedings in Physics, vol 240. P. 151-159. https://doi.org/10.1007/978-981-15-1742-6_14 (Scopus)

Матеріали, що засвідчують апробацію дисертації

7. Маркашова Л. И., Тюрин Ю. Н., Колисниченко О. В., Валеви́ч М. Л., Богачев Д. Г., Дуда И. М., **Титков Е. П.** Структурно–фазовое состояние износостойких композиционных покрытий системы $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{–NiCr}$, нанесенных с использованием многокамерной детонационной установки. Сборник трудов Седьмой Международной конференции 15–19 сентября 2014 г., Одесса, Украина. С. 37-42

8. Markashova L., Grigorenko G., Tyurin Yu., O. Kolisnichenko, Berdnikova O., Kushnarova O., **Titkov E.** New composite coatings, their structure and properties. 4th International Conference “Nanotechnologies”, October 24 – 27, 2016, Tbilisi, Georgia. P. 143

9. Маркашова Л. И., Тюрин Ю. Н., Колисниченко О. В., Бердникова Е. Н., Кушнарева О. С., **Титков Е. П.** Структура и свойства металлокерамических покрытий, полученных детонационным напылением. Сборник трудов Восьмой Международной конференции 19–23 сентября 2016 г., Одесса, Украина. С. 64-69

10. Markashova L., Berdnikova O., Kushnarova O., Polovetskiy, Y., **Titkov Y.** Structure and properties of Al_2O_3 coatings sprayed on aluminum and titanium substrates. 9th international conference of young scientists on welding and related technologies, Abstracts, 23-26 May 2017, Kyiv, Ukraine. P. 54

11. Маркашова Л.И., Тюрин Ю.Н., Бердникова Е.Н., Колисниченко О.В., Половецкий Е. В., **Титков Е.П.**, Кушнарева О.С. Особенности структуры металлокерамических покрытий, полученных детонационным напылением. IX International

Scientific Symposium "Combustion and plasmachemistry – September 13 – 15, 2017, Chapter 9, Казахстан, Алматы. P. 127-129

12. Markashova L.I., Grigorenko G.M., Tyurin Yu.N., Berdnikova O.M., Kolisnichenko O.V., **Titkov E.P.**, Polovetskyi E.V., Kushnarova O.S. Functional metal-ceramic coatings: structure and operating properties. 14th International Conference "Self-Propagating High Temperature Synthesis". September 25 – 28, 2017. Tbilisi, Georgia. 2017. P. 55-58

13. Маркашова Л. И., Григоренко Г.М., Бердникова Е. Н., Тюрин Ю. Н., Колисниченко О. В., Половецкий Е.В., **Титков Е. П.** 6-та Міжнародна Самсонівська конференція "Матеріалознавство тугоплавких сполук та композитів". 22-24 травня, 2018. Київ, Україна. С. 124

14. Markashova L., Tyurin Y., Berdnikova O., Kolisnichenko O., Polovetskyi I., **Titkov Ye.** Effect of Nano-Structured Factors on the Properties of the Coatings Produced by Detonation Spraying Method. Proceedings of the 2018 IEEE 8th International Conference on Nanomaterials: Applications & Properties (NAP-2018) September 9-14, 2018, Zatoka, Ukraine. Sumy: Sumy state University, 2018. 03TFNMC50. ISBN 978-1-5386-5333-3

15. **Titkov. Y.**, Berdnikova, O., Tyurin, Y., Kolisnichenko, O., Polovetskiy, Y., Kushnaryova, O. Effect of Structure on the Properties of Composite $Cr_3C_2 + NiCr$ Coatings. Proceedings of the 2019 IEEE 9th International Conference on Nanomaterials: Applications & Properties (NAP-2019) September 15–20, 2019, Odesa Ukraine. – Sumy: Sumy state University, 2019. 01TFC08. ISBN: 978-1-7281-2830-6

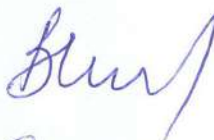
16. Бердникова О.М., Тюрин Ю.М., Колисниченко О.В., Кушнарѡва О.С., Половецкий Є.В., **Тітков Є.П.**, Єремєєва Л.Т. Нанорозмірні структури детонаційних металокерамічних покриттів. Тези доповідей конференції «Сучасні проблеми фізики металів і металічних систем», травень 25-27. Інститут металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України, Київ, 2021. С. 57

Виходячи з аналізу вищенаведених робіт, можна зробити висновок про успішне виконання встановлених вимог щодо необхідної кількості наукових публікацій перед представленням дисертаційної роботи Тіткова Є.П. до захисту, а також про достатню повноту висвітлення наукових та практичних результатів в опублікованих матеріалах.

Розглянута дисертація **Тіткова Євгенія Петровича** за темою «**Структура та фазовий склад зносостійких покриттів, отриманих методом багатокамерного детонаційного наплення**», представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 132 «Матеріалознавство», є завершеним науковим дослідженням і відповідає вимогам,

викладеним у постанові КМУ від 12 січня 2022 р. № 44 «Порядок присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії». Робота містить нові науково обґрунтовані результати проведених здобувачем досліджень, які мають певне науково-практичне значення в галузі матеріалознавства, вона базується на достатній кількості наукових публікацій, не містить текстових запозичень без посилання на джерело (плагіату), і може бути прийнята до захисту на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 132 «Матеріалознавство».

Голова семінару
чл.-кор. НАН України
д.т.н.



Віктор ШАПОВАЛОВ

Секретар семінару
к.т.н.



Алла ТУНІК