

# Облікова картка дисертації

## I. Загальні відомості

**Державний обліковий номер:** 0525U000098

**Особливі позначки:** відкрита

**Дата реєстрації:** 03-03-2025

**Статус:** Запланована

**Реквізити наказу МОН / наказу закладу:**



## II. Відомості про здобувача

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Поліщук Сергій Станіславович

2. Sergiy Polishchuk

**Кваліфікація:** к. ф.-м. н., старший науковий співробітник, 01.04.13

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-8403-5360

**Вид дисертації:** доктор наук

**Шифр наукової спеціальності:** 01.04.13

**Назва наукової спеціальності:** Фізика металів

**Галузь / галузі знань:** Не застосовується

**Освітньо-наукова програма зі спеціальності:** Не застосовується

**Дата захисту:** 18-03-2025

**Спеціальність за освітою:** фізика твердого тіла

**Місце роботи здобувача:** Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова Національної академії наук України

**Код за ЄДРПОУ:** 05417331

**Місцезнаходження:** бульвар Академіка Вернадського, буд. 36, Київ, 03142, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

**Сектор науки:** Академічний

### III. Відомості про дисертацію

**Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради):** Д 26. 168. 02

**Повне найменування юридичної особи:** Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова Національної академії наук України

**Код за ЄДРПОУ:** 05417331

**Місцезнаходження:** бульвар Академіка Вернадського, буд. 36, Київ, 03142, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

**Сектор науки:** Академічний

### IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію

**Повне найменування юридичної особи:** Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова Національної академії наук України

**Код за ЄДРПОУ:** 05417331

**Місцезнаходження:** бульвар Академіка Вернадського, буд. 36, Київ, 03142, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

**Сектор науки:** Академічний

### V. Відомості про дисертацію

**Мова дисертації:** Українська

**Коди тематичних рубрик:** 29.19, 59.31.39, 29.41

**Тема дисертації:**

1. СТРУКТУРА І ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ АЛЮМІНІЮ З КВАЗІКРИСТАЛІЧНИМИ ТА АПРОКСИМАНТНИМИ ФАЗАМИ
2. Structure and physico-mechanical properties of aluminum-based coatings with quasicrystalline and approximant phases

**Реферат:**

1. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.13 – фізика металів. Інститут металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України. Київ, 2025. Дисертаційна робота присвячена розробці наукових основ створення покриттів з квазікристалічними або апроксимантними фазами в алюмінієвих сплавах із заданим рівнем властивостей. Вперше показано, що в інтервалі температур осадження (температура підкладки) 0,5...0,7 від температури плавлення сплаву (Тпл), формування

квазікристалічної або кристалічної апроксимантної структури вакуумного конденсату відбувається безпосередньо при осадженні суміші парових фаз компонентів у відповідних співвідношеннях. Зниження температури осадження сплавів приводить до зменшення розміру зерен та збільшення фазонних спотворень структури. Визначено умови формування гетерофазних покриттів, що містять окрім фаз зі складною кристалічною будовою, інші кристалічні фази. Запропоновано методику вимірювання залишкових напружень у квазікристалічних покриттях за допомогою модифікованого методу  $\sin^2\psi$ . Встановлено, що основний внесок у залишкові напруження вносять термічні напруження через різницю між КТР підкладки і покриття. Показано, що основним механізмом релаксації напружень у покриттях Al-Cu-Fe є наскрізне розтріскування і визначено значення критичного коефіцієнту інтенсивності напружень  $K_{Ic}$  матеріалу покриття. Встановлено величину критичної товщини покриттів, при якій ймовірним стає їх наскрізне розтріскування. Виявлено, що мікротвердість квазікристалічної фази у вакуумних покриттях при зниженні розміру зерен змінюється немонотонно, що пов'язується із зміною механізмів пластичної деформації. Визначено, що зносостійкість гетерофазних покриттів із ікосаедричною квазікристалічною та  $\pi$ -кубічною фазами є вищою ніж у однофазного квазікристалічного покриття, завдяки впливу більш пластичної  $\pi$ -фази. Вперше встановлено, що зменшення розміру зерен у квазікристалічних і апроксимантних матеріалах до наномасштабних значень приводить до значного зростання їх демпфуючої здатності при підвищених температурах, що пов'язується із зміною механізму дисипації енергії з дислокаційного на переважно зернограничний. Визначено вплив періоду модуляції  $\pi$  у багатошарових фольгах Al/Cu на кінетику і послідовність фазових перетворень. Запропоновано модель утворення фаз  $Al_2Cu$ ,  $\pi_2-Al_4Cu_9$  та  $\pi_1-AlCu_3$  в багатошарових фольгах. Проаналізовано калориметричні характеристики екзотермічних реакцій формування інтерметалевих сполук у фольгах з різним періодом модуляції та визначено енергії активації реакцій з цих фаз.

2. Thesis for the scientific degree of Doctor of Physical and Mathematical Sciences in specialty 01.04.13 – Physics of Metals. G.V. Kurdyumov Institute for Metal Physics, National Academy of Sciences of Ukraine. Kyiv, 2025. The thesis is devoted to the development of scientific foundations for the formation of Al-based coatings based on quasicrystalline or approximant phases having specified properties. It is shown for the first time that the formation of a quasi-crystalline or crystalline approximant structure occurs directly during the deposition of a mixture of vapor phases on substrates heated to temperatures corresponding to 0.5...0.7 of the alloy melting point ( $T_m$ ). Reducing the deposition temperature of the alloys leads to a decrease in grain size and an increase in phason distortions of the structure. The conditions for the formation of heterophase coatings containing other crystalline phases besides phases with complex crystalline structures were determined. A method for measuring residual stresses in quasicrystalline coatings using a modified  $\sin^2\psi$  method was proposed. It was established that the main contribution to residual stresses comes from thermal stresses due to the difference between the CTE of the substrate and the coating. It was shown that the main mechanism of stress relaxation in Al-Cu-Fe coatings is through-cracking, and the value of the critical stress intensity factor  $K_{Ic}$  for the coating material was determined. The critical thickness of the coatings, at which through-cracking becomes likely, was determined. It was found that the microhardness of the quasicrystalline phase in vacuum coatings changes non-monotonically with a decrease in grain size, which is associated with a change in the mechanisms of plastic deformation. It was determined that the wear resistance of heterophase coatings with icosahedral quasicrystalline and  $\pi$ -cubic phases is higher than that of single-phase quasicrystalline coatings due to the influence of the more plastic  $\pi$ -phase. For the first time, it was established that reducing the grain size in quasicrystalline and approximant materials to nanoscale values leads to a significant increase in their damping capacity at elevated temperatures, which is associated with a change in the energy dissipation mechanism from dislocation to predominantly grain boundary. The influence of the modulation period  $\pi$  in Al/Cu multilayer foils on the kinetics and sequence of phase transformations was determined. A model for the formation of  $Al_2Cu$ ,  $\pi_2-Al_4Cu_9$ , and  $\pi_1-AlCu_3$  phases in multilayer foils was proposed. The calorimetric characteristics of the exothermic reactions of intermetallic compound formation in foils with different modulation periods were analyzed, and the activation energies of the reactions from these phases were determined.

**Державний реєстраційний номер ДіР:**

**Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки:** Нові речовини і матеріали

**Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності:** Освоєння нових технологій виробництва матеріалів, їх оброблення і з'єднання, створення індустрії наноматеріалів та нанотехнологій

**Підсумки дослідження:** Нове вирішення актуального наукового завдання

**Публікації:**

1. Mikhalenkov V.S., Tsapko E.A., Polishchuk S.S., Ustinov A.I. Positron annihilation study of vacancy-type defects in stoichiometric and non-stoichiometric Al-Cu-Fe quasicrystalline alloys // Journal of Alloys and Compounds. – 2005. – Vol. 386. – pp. 192-196
2. Milman Yu.V., Lotsko D.V., Dub S.N., Ustinov A.I., Polishchuk S.S., Ulshin S.V. Effect of grain size on the mechanical behavior of quasicrystalline materials based on the Al-Cu-Fe system // Reports of the NAS of Ukraine. Mathematics. Natural Sciences. Technical Sciences. – 2005. – No. 6. – pp. 93-98.
3. Ustinov A.I., Polishchuk S.S. Peculiarities of structure and properties of quasicrystalline Al-Cu-Fe coatings produced by the EBPVD process // Philosophical Magazine. – 2005. – Vol. 86. – No. 6-8. – pp. 971-977.
4. Korotash I.V., Polishchuk S.S., Ustinov A.I., Rudenko E.M., Rzheshhevskaya O.I. Microwave studies of Al-Cu-Fe coatings containing quasicrystalline phase // Metallofizika i Noveishie Tekhnologii. – 2007. – Vol. 29. – pp. 21-30.
5. Sales M., Merstallinger A., Ustinov A.I., Polishchuk S.S., Melnichenko T.V. Effect of the addition of crystalline  $\sigma$ -phase in Al-Cu-Fe quasicrystalline coatings on their tribological properties // Surface and Coatings Technology. – 2007. – Vol. 201. – pp. 6206-6211.
6. Milman Yu.V., Lotsko D.V., Dub S.N., Ustinov A.I., Polishchuk S.S., Ulshin S.V. Mechanical properties of quasicrystalline Al-Cu-Fe coatings with submicron-sized grains // Surface and Coatings Technology. – 2007. – Vol. 201. – pp. 5937-5943.
7. Ustinov A.I., Polishchuk S.S., Skorodzievskii V.S., Bliznuk V.V. Effect of grain size on the damping capacity of quasicrystalline Al-Cu-Fe materials // Surface and Coatings Technology. – 2008. – Vol. 202. – pp. 5812-5816.
8. Ustinov A.I., Polishchuk S.S., Skorodzievskii V.S., Bliznuk V.V. Damping capacity of nanoquasicrystalline Al-Cu-Fe materials // Journal of Physics: Conference Series. – 2008. – Vol. 98. – pp. 072002.
9. Ustinov A., Polishchuk S., Skorodzievskii V., Telychko V. Structure and properties of quasicrystalline and approximant EBPVD coatings of Al-based systems // Zeitschrift für Kristallographie. – 2009. – Vol. 224. – pp. 9-12. DOI: 10.1524/zkri.2009.1109.
10. Polishchuk S., Telychko V., Ustinov A. Formation of complex crystalline phases in alloys of Al-Co system at their deposition from vapor phase // Sovremennaya electrometallurgiya. – 2009. – Vol. 1. – pp. 34-38.
11. Ustinov A.I., Polishchuk S.S., Telychko V.A., Mel'nichenko T.V. Influence of boron additions on the dissipative properties of quasicrystalline Al-Cu-Fe coatings // Metallofizika i Noveishie Tekhnologii. – 2009. – Vol. 31. – No. 6. – pp. 847-854.
12. Ustinov A.I., Polishchuk S.S., Telychko V.A., Mel'nichenko T.V. Influence of boron additions on the dissipative properties of quasicrystalline Al-Cu-Fe coatings // Metallofizika i Noveishie Tekhnologii. – 2009. – Vol. 31. – No. 6. – pp. 847-854.
13. Ustinov A.I., Matvienko Ya.I., Polishchuk S.S., Shishkin A.E. Investigation of phase transformations and plastic deformation at continuous heating of Al/Cu multilayer foil // The Paton Welding Journal. – 2009. – Vol. 10. – pp. 23-27.
14. Ustinov A., Demchenkov S., Telychko V., Polishchuk S. Thermal stability of nanostructured vacuum Al<sub>63</sub>Cu<sub>26</sub>Fe<sub>11</sub> condensates // Sovremennaya electrometallurgiya. – 2010. – Vol. 4. – pp. 11-15.
15. Polishchuk S., Boulet P., Mézin A., de Weerd M.-C., Weber S., Ledieu J., Dubois J.-M., Fournée V. Residual stress in as-deposited Al-Cu-Fe-B quasicrystalline thin films // Journal of Materials Research. – 2012. – Vol.

27. – pp. 837.

- 15. Ustinov A.I., Demchenkov S.A., Telychko V.A., Polishchuk S.S. Phase transformations during heating of nanostructured vacuum condensates Al<sub>100</sub>Cu<sub>100</sub>Fe<sub>100</sub> // Nanosistemi, nanomateriali, nanotehnologii. – 2012. – Vol. 10. – No. 2. – pp. 369-378.
- 16. Polishchuk S.S., Ustinov A.I., Telychko V.A., Mozdzen G., Merstallinger A., Mel'nichenko T.V. Conditions for obtaining defect-free quasicrystalline Al-Cu-Fe coatings by electron-beam vacuum deposition // Sovremennaya electrometallurgiya. – 2014. – No. 1 (114). – pp. 19-27.
- 17. Polishchuk S.S., Berezina A.L., Davydenko A.A., Spuskanyuk V.Z., Fixsen V.N., Yashchenko A.V., Burkhavetskiy V.V. Structure and properties of Al<sub>356</sub>-AlCuFe composite, produced using electromagnetic stirring // Metallofizika i noveishie tekhnologii. – 2014. – Vol. 36. – pp. 1189-1205.
- 18. Polishchuk S.S., Ustinov A., Telychko V., Merstallinger A., Mozdzen G., Melnichenko T. Fabrication of thick, crack-free quasicrystalline Al-Cu-Fe coatings by electron-beam deposition // Surface & Coatings Technology. – 2016. – Vol. 291. – pp. 406-412.
- 19. Skorodzievskii V.S., Ustinov A.I., Polishchuk S.S., Demchenkov S.A., Telychko V.O. Dissipative properties of Al-(Fe, Cr) vacuum coatings with different composite structures // Surface and Coatings Technology. – 2019. – Vol. 367. – pp. 179-186.
- 20. Matvienko Ya.I., Polishchuk S.S., Rud O.D., Mika T.M., Ustinov A.I., Demchenkov S.O. Influence of non-equilibrium conditions of reaction interaction of Cu and Al in the solid phase on the process of formation of Al<sub>4</sub>Cu<sub>9</sub> phase in the Cu-Al system // Metallofiz. Noveishie Tekhnologii. – 2020. – Vol. 42. – pp. 143-157.
- 21. Polishchuk S., Ustinov A., Matvienko Y., Demchenkov S., Skoryk M., Zahorulko I., Molebny O., Kotko A. Correlation between the modulation period and phase formation in multilayered eutectic Al/Cu foils // Metallofiz. Noveishie Tekhnologii. – 2024. – Vol. 46. – No. 10. – pp. 1007-1030.

**Наукова (науково-технічна) продукція:** технології; матеріали; методи, теорії, гіпотези

**Соціально-економічна спрямованість:** створення принципово нової продукції (матеріалів, технологій тощо) для забезпечення експортного потенціалу та заміщенню імпорту; зменшення зносу обладнання

**Охоронні документи на ОПІВ:**

Наукові відкриття

Методика вимірювання макронапружень у квазікристалічних матеріалах рентгенівським методом  
Визначення дисипативних властивостей квазікристалів

**Впровадження результатів дисертації:** Планується до впровадження

**Зв'язок з науковими темами:** №055/06, 2006-2010 pp, № 055/11, 2011-2015, №055/16, 2016-2020

## **VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Рудь Олександр Дмитрович
2. Oleksandr D. Rud

**Кваліфікація:** д. ф.-м. н., професор, 01.04.07

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова Національної академії наук України

**Код за ЄДРПОУ:** 05417331

**Місцезнаходження:** бульвар Академіка Вернадського, буд. 36, Київ, 03142, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

**Сектор науки:** Академічний

## **VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів**

### **Офіційні опоненти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Онопрієнко Олексій Олексійович
2. Oleksiy Onoprienko

**Кваліфікація:** д. ф.-м. н., с.н.с., 01.04.07

**Ідентифікатор ORCHID ID:** Не застосовується

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича  
Національної академії наук України

**Код за ЄДРПОУ:** 05416930

**Місцезнаходження:** вул. Омеляна Пріцака, буд. 3, Київ, 03142, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

**Сектор науки:** Академічний

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Карпець Мирослав Васильович
2. Myroslav Karpets

**Кваліфікація:** д.ф.-м.н., професор, 01.04.07

**Ідентифікатор ORCHID ID:** Не застосовується

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

**Код за ЄДРПОУ:** 02070921

**Місцезнаходження:** проспект Берестейський, буд. 37, Київ, 03056, Україна

**Форма власності:**

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

**Сектор науки:** Університетський

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Боровий Микола Олександрович

2. Mykola O. Borovyi

**Кваліфікація:** д. ф.-м. н., професор, 01.04.07

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Київський національний університет імені Тараса Шевченка

**Код за ЄДРПОУ:** 02070944

**Місцезнаходження:** вул. Володимирська, буд. 60, Київ, 01033, Україна

**Форма власності:**

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

**Сектор науки:** Університетський

**Рецензенти**

## VIII. Заключні відомості

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові  
голови ради**

Татаренко Валентин Андрійович

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові  
головуючого на засіданні**

Татаренко Валентин Андрійович

**Відповідальний за підготовку  
облікових документів**

Коляда О. В.

**Реєстратор**

УкрІНТЕІ

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



Юрченко Тетяна Анатоліївна