Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0824U003143

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 24-09-2024

Статус: Захищена

Реквізити наказу МОН / наказу закладу:

II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Бортницька Маргарита Олександрівна
2. Margarita O. Bortnytska

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0001-7573-3944

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 104

Назва наукової спеціальності: Фізика та астрономія

Галузь / галузі знань: природничі науки

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Фізика та астрономія

Дата захисту: 14-11-2024

Спеціальність за освітою: прикладна фізика

Місце роботи здобувача: Національний науковий центр "Харківський фізико-технічний інститут" Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 14312223

Місцезнаходження: вул. Академічна, буд. 1, Харків, Харківський р-н., 61108, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

III. Відомості про організацію, де відбувся захист

Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради): ДФ 2024.104.01

Повне найменування юридичної особи: Національний науковий центр "Харківський фізико-технічний інститут" Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 14312223

Місцезнаходження: вул. Академічна, буд. 1, Харків, Харківський р-н., 61108, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

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

Повне найменування юридичної особи: Національний науковий центр "Харківський фізико-технічний інститут" Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 14312223

Місцезнаходження: вул. Академічна, буд. 1, Харків, Харківський р-н., 61108, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

V. Відомості про дисертацію

Мова дисертації: Українська

Коди тематичних рубрик: 29.19, 29.27, 53.49

Тема дисертації:

1. Закономірності формування та властивості іонно-плазмових покриттів на основі MAX фаз
2. Formation regularities and properties of ion-plasma coatings based on MAX phases

Реферат:

1. Бортницька М.О. Закономірності формування та властивості іонно-плазмових покриттів на основі MAX фаз. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 – Фізика та астрономія (Галузь знань 10 – Природничі науки). – Національний науковий центр “Харківський фізико-технічний інститут” Національної Академії Наук України, Харків, 2024. Технології модифікації поверхні отримали широке застосування, як ефективний спосіб підвищення комплексних характеристик матеріалів. Перспективним матеріалом для багатофункціональних покриттів стійких до високотемпературного окислення, корозії, зношування, опромінення тощо є MAX фази, які поєднують властивості кераміки та металів, що обумовлено їх особливою наношаруватою структурою і комбінованим типом зв'язку. Проте високі температури синтезу MAX фаз є важливою перешкодою для їх широкого застосування. Використання іонно-плазмових методів фізичного осадження може дозволити значно знизити

температуру синтезу за рахунок високої енергії частинок, які утворюють покриття. Тому актуальним є розроблення простих і економічних процесів синтезу покриттів з використанням багатокомпонентного катоду, що забезпечує стехіометрію MAX фази. Представлена дисертаційна робота спрямована на вивчення закономірностей формування структури іонно-плазмових покриттів, які осаджені з катодів на основі MAX фаз системи Ti-Al-C та встановлення зв'язків між параметрами їх синтезу, хімічним складом, структурою і фізико-механічними властивостями. Вперше проведені комплексні порівняльні дослідження складу, структури та властивостей покриттів, осаджених різними іонно-плазмовими методами з катодів на основі MAX фаз системи Ti-Al-C, що були виготовлені гарячим пресуванням порошкових сумішей. Відпрацьовано процеси осадження якісних покриттів товщиною до 10 мкм на технологічно-значущих підкладках методами: іонного розпилення за допомогою дугового джерела газової плазми, вакуумно-дугового осадження та магнетронного розпилення. Для досліджень складу і структури катодів та осаджених покриттів використовували рентгенофлуоресцентний аналіз, скануючу електронну мікроскопію з системою рентгеноспектрального енергодисперсійного мікроаналізу, Оже-спектроскопію, рентгеноструктурний аналіз. Визначали наступні властивості матеріалів: нанотвердість та модуль Юнга, опір зношуванню і кавітаційну стійкість, опір фретинг-втомі, стійкість до окислення та електропровідність. Показано, що MAX фаза Ti2AlC належить до важкорозпилюваних матеріалів. Коефіцієнт розпилення мішені на основі Ti2AlC іонами Ar+ у 1,5 рази нижчий, ніж мішені з титану, та знижується від 0,7 до 0,2 атом/іон при зменшенні енергії іонів від 1200 до 400 еВ. Внаслідок бомбардування іонами Ar+ на поверхні мішені відбуваються фазові перетворення, пов'язані з розпадом MAX фази та селективним розпиленням легких елементів. Встановлено, що при застосуванні катоду (мішені) на основі MAX фази Ti2AlC магнетронні покриття мають хімічний склад, близький до складу катоду і стовбчасту наноструктуру незалежно від потужності розряду в діапазоні 600-2800 Вт. Елементний склад іонних і вакуумно-дугових покриттів при потенціалі підкладки 50 В також практично відповідає складу катоду, однак з ростом потенціалу до 100-200 В відносний вміст алюмінію в покриттях різко падає внаслідок селективного розпилення. Основною фазою в таких покриттях є твердий розчин алюмінію у кристалічній гратці TiC, яка має кубічну структуру типу NaCl, що зумовлено низькою температурою підкладки (≤ 450□), невідповідністю стехіометрії і низькою енергією частинок, що формують покриття. З'ясовано, що формуванню MAX фаз Ti2AlC та Ti3AlC2 у вакуумно-дугових покриттях сприяють застосування катоду з підвищеним вмістом алюмінію та збільшення потужності іонного бомбардування поверхні росту важкими іонами, чого досягають введенням у вакуумну камеру аргону та/або легуванням матеріалу катода ніобієм (що замінює 10 – 20 ат.% Ti). За легування матеріалу катода оловом (що замінює до 50 ат.% Al) зростання вмісту MAX фази не спостерігали. У разі легування обома елементами, олово пригнічує вплив ніобію на підвищення вмісту MAX фази і стабілізує структуру карбіду TiC. Виявлено, що вакуумно-дугове покриття Ti0,65Al0,07C0,28 з двофазною структурою твердих розчинів на основі TiC+(□-Ti) має опір зношуванню і кавітаційну стійкість у 1,5-2 рази вищі, ніж широко застосовуване покриття TiN. При коефіцієнті тертя 0,5-0,6 питома швидкість зношування покриття Ti0,65Al0,07C0,28 становить 1,26 × 10-4 мм3/Нм за кімнатної температури і зменшується до 7,18 × 10-5 мм3/Нм при 500°C. Легування матеріалу катода ніобієм має негативний вплив на трибологічні характеристики покриттів з двофазною структурою твердих розчинів на основі TiC+Ti3AlC2. Проте, за легування оловом питома швидкість зношування покриттів зменшується на порядок при температурі 20°C і у 6 разів при температурі 500°C.

2. Bortnytska M.O. Formation regularities and properties of ion-plasma coatings based on MAX phases - Qualification scientific work on the rights of manuscript. Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in specialty 104 - Physics and Astronomy (Field of Knowledge 10 - Natural Sciences) - National Research Center "Kharkiv Institute of Physics and Technology" of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkiv, 2024. Surface modification technologies are widely used as an effective way to improve the complex characteristics of materials. MAX phases, which combine the properties of ceramics and metals due to their special nanolayered structure and combined type of bonding, are a promising material for multifunctional coatings resistant to high-temperature oxidation, corrosion, wear, irradiation, etc. However, the high synthesis temperatures of MAX phases are an important obstacle to their widespread use. Application of ion-plasma methods of physical deposition can

significantly reduce the synthesis temperature due to the high energy of the particles that form the coating. Therefore, it is important to develop simple and economical processes for the synthesis of coatings using a multicomponent cathode that provides MAX phase stoichiometry. The presented thesis is aimed at studying the regularities of the structure formation of ion-plasma coatings deposited from cathodes based on MAX phases of the Ti-Al-C system and establishing the relationship between the parameters of their synthesis, chemical composition, structure and physical and mechanical properties. For the first time, comprehensive comparative studies of the composition, structure and properties of coatings deposited by different ion-plasma methods from cathodes based on MAX phases of the Ti-Al-C system, which were made by hot pressing powder mixtures, were carried out. The processes of deposition of high-quality coatings up to 10 μm thick on technologically significant substrates by the following methods were worked out: ion sputtering using an arc gas plasma source, vacuum arc deposition, and magnetron sputtering. X-ray fluorescence analysis, scanning electron microscopy with an X-ray energy dispersive microanalysis system, Auger spectroscopy, and X-ray diffraction analysis were used to study the composition and structure of cathodes and deposited coatings. The following material properties were determined: nanohardness and Young's modulus, wear resistance and cavitation resistance, fretting fatigue resistance, oxidation resistance and electrical conductivity. It has been shown that the MAX phase of Ti2AlC belongs to the hard-to-spray materials. The sputtering coefficient of a target based on Ti2AlC with Ar+ ions is 1.5 times lower than that of titanium targets and decreases from 0.7 to 0.2 atoms/ion when the ion energy decreases from 1200 to 400 eV. As a result of bombardment with Ar+ ions, phase transformations occur on the target surface associated with the decay of the MAX phase and selective sputtering of light elements. It has been established that when using a cathode (target) based on the MAX phase of Ti2AlC, magnetron coatings have a chemical composition close to that of the cathode and a columnar nanostructure regardless of the discharge power in the range of 600-2800 W. The elemental composition of ionic and vacuum-arc coatings at a substrate potential of 50 V also practically corresponds to the cathode composition, but with an increase in potential to 100-200 V, the relative aluminium content in the coatings drops sharply due to selective sputtering. The main phase in such coatings is a solid solution of aluminium in the TiC crystal lattice, which has a cubic structure such as NaCl, due to the low temperature of the substrate (≤ 450□), the mismatch of stoichiometry and the low energy of the particles forming the coating. It has been found that the formation of the MAX phases Ti2AlC and Ti3AlC2 in vacuum-arc coatings is facilitated by the use of a cathode with a high aluminium content and an increase in the power of ion bombardment of the growth surface with heavy ions, which is achieved by introducing argon into the vacuum chamber and/or doping the cathode material with niobium (replacing 10-20 at.% Ti). No increase in the MAX phase content was observed when the cathode material was alloyed with tin (replacing up to 50 at% Al). In the case of alloying with both elements, tin suppresses the effect of niobium on increasing the content of the MAX phase and stabilises the structure of TiC carbide. It has been found that the vacuum-arc coating Ti0.65Al0.07C0.28 with a two-phase structure of solid solutions based on TiC+(□-Ti) has a wear resistance and cavitation resistance 1.5-2 times higher than the widely used TiN coating. With a friction coefficient of 0.5-0.6, the specific wear rate of the Ti0.65Al0.07C0.28 coating is 1.26 × 10-4 mm3/Nm at room temperature and decreases to 7.18 × 10-5 mm3/Nm at 500°C.

Державний реєстраційний номер ДіР:

Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки: Фундаментальні наукові дослідження з найбільш важливих проблем розвитку науково-технічного, соціально-економічного, суспільно-політичного, людського потенціалу для забезпечення конкурентоспроможності України у світі та сталого розвитку суспільства і держави

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. Kuprin A.S., Prikhna T.A., Reshetnyak E.N., Bortnitskaya M.A., Kolodiy I.V., Belous V.A., Dub S.N., Ilchenko,A.V., Sverdun V.B. Coatings deposition by ion-plasma sputtering of MAX phase Ti2AlC target. Journal of Nano- and Electronic Physics. 2020. Vol.12. Iss. 5. Art. 05031. https://doi.org/10.21272/jnep.12(5).05011
- 2. Bortnitskaya M.A., Reshetnyak E.N., Kuprin A.S., Prikhna T.A., Sverdun V.B., Kolodiy I.V., Belous V.A., Marinin V.G., Serbenyuk T.B. Structure and Mechanical Characteristics of Ti2AlC MAX Phase Cathodes and Deposited Ion-Plasma Coatings. Journal of Nano- and Electronic Physics. 2021. Vol.13. Iss. 5. Art. 05031. https://doi.org/10.21272/jnep.13(5).05031
- 3. Reshetnyak E.N., Kuprin A.S., Prikhna T.A., Bortnitskaya M.A., Belous V.A. Synthesis, structure and protective properties of PVD MAX phase coatings. A review. Part I. MAX phase coatings deposition. Problems of Atomic Science and Technology. 2023. Vol. 147. Iss.5. P. 111-125. https://doi.org/10.46813/2023-147-111
- 4. Reshetnyak E.N., Kuprin A.S., Prikhna T.A., Bortnitskaya M.A., Belous V.A. Synthesis, structure and protective properties of PVD MAX phase coatings. A review. Part □. Structure, properties, application prospects. Problems of Atomic Science and Technology. 2024. Vol. 150. Iss.2. P. 76-96. https://doi.org/10.46813/2024-150-076
- 5. Prikhna T.A., Ostash O.P., Kuprin A.S., Podhurska V.Ya., Serbenyuk T.B., Gevorkyan E.S., Rucki M., Zurowski W., Kucharczyk W., Sverdun V.B., Karpets M.V., Ponomaryov S.S., Vasyliv B.D., Moshchil V.E., Bortnitskaya M.A. A new MAX phases-based electroconductive coating for high-temperature oxidizing environment. Composite Structures. 2021. Vol. 227. Art. 114649. https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.114649
- 6. Podhurska V., Prikhna T., Ostash O., Vasyliv B., Holovatyuk Y., Sverdun V., Serbeniuk T., Kuprin O., Bortnitskaya M. Investigation of Long-Term Oxidation Resistance of Titanium Alloys with a Coating Based on Ti-Al-C System Nanocomposites. Springer Proceedings in Physics. 2023. Vol. 279. P.59-66. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-18096-5_6
- 7. Podhurska V.Ya., Kuprin O.S., Chepil R.V., Ostash O.P., Prikhna T.O., Sverdun V.B., Bortnytska M.O. Physicomechanical Properties of Coatings Based on Max Ti2AlC and (Ti, Nb)2AlC Phases at 20°C and 500°C. Materials Science. 2023. P.1-8. https://link.springer.com/article/10.1007/s11003-023-00737-8
- 8. Podhurska V., Kuprin O., Bortnitskaya M., Ostash O., Prikhna T., Chepil R., Sverdun V., Kolodiy I., Belous V. Structural and Tribology Properties of Ti-Al-C Coatings Deposited by Vacuum Arc Method. Solid State Phenomena. Vol. 355. P.107-115. https://doi.org/10.4028/p-w89OBM

Наукова (науково-технічна) продукція: технології; матеріали

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

Охоронні документи на ОПІВ:

Впровадження результатів дисертації: Впроваджено

Зв'язок з науковими темами: 0116U005058; № 0115U001516; № 0121U108688

VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Купрін Олександр Сергійович

2. Olexandr S. Kuprin

Кваліфікація: к. т. н., с.д., 01.04.07

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Національний науковий центр "Харківський фізико-технічний інститут" Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 14312223

Місцезнаходження: вул. Академічна, буд. 1, Харків, Харківський р-н., 61108, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

Офіційні опоненти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Хрипунов Геннадій Семенович
2. Gennadiy S. Khripunov

Кваліфікація: д.т.н., професор, 01.04.07

Ідентифікатор ORCID ID: 0009-0004-6519-2362

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

Код за ЄДРПОУ: 02071180

Місцезнаходження: вул. Кирпичова, буд. 2, Харків, Харківський р-н., 61002, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Зиков Олександр Володимирович
2. Oleksandr V. Zykov

Кваліфікація: д. ф.-м. н., професор, 01.04.08

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-5409-2655

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Код за ЄДРПОУ: 02071205

Місцезнаходження: майдан Свободи, буд. 4, Харків, Харківський р-н., 61022, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Рецензенти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Толстолуцька Галина Дмитрівна
2. Galina D. Tolstolutskaya

Кваліфікація: д.ф.-м.н., професор, с.н.с., член-кор. НАН України, 01.04.07

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0003-3091-4033

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Національний науковий центр "Харківський фізико-технічний інститут" Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 14312223

Місцезнаходження: вул. Академічна, буд. 1, Харків, Харківський р-н., 61108, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Саєнко Сергій Юрійович
2. Sergiy Y. Saenko

Кваліфікація: д.т.н., с.н.с., 21.06.01

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-2598-3598

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Національний науковий центр "Харківський фізико-технічний інститут" Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 14312223

Місцезнаходження: вул. Академічна, буд. 1, Харків, Харківський р-н., 61108, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

VIII. Заключні відомості

Власне Прізвище Ім'я По-батькові голови ради Пилипенко Микола Миколайович

Власне Прізвище Ім'я По-батькові головуючого на засіданні	Пилипенко Микола Миколайович
Відповідальний за підготовку облікових документів	ННЦ ХФТІ ОКД
Реєстратор	УкрІНТЕІ
Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є відповідальним за реєстрацію наукової діяльності	Юрченко Тетяна Анатоліївна