

УДК 538.9+539.23

СВОЙСТВА НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ НИТРИДНЫХ ПОКРЫТИЙ TiAlCuN ДЛЯ МИКРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Константинов С.В.¹, Комаров Ф.Ф.¹, Чижов И.В.², Зайков В.А.²

¹НИУ «Институт прикладной физический проблем имени А.Н. Севченко» БГУ,

²Белорусский государственный университет,

Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Сформированы нитридные покрытия TiAlCuN на подложках из монокристаллического кремния (100) и титана марки VT1-0 магнетронным методом. Проведены исследования элементного состава, структуры и механических свойств полученных покрытий. Установлено, что уменьшение степени реактивности α от значения $\alpha = 0,60$ до величины $\alpha = 0,47$ приводит к увеличению скорости осаждения покрытия TiAlCuN на 23 %. Полученные покрытия являются однородными, плотными и не содержат видимых дефектов по всей площади поверхности. Твердость покрытий TiAlCuN варьируется в диапазоне $H = 23\text{--}36$ ГПа, модуль Юнга – $E = 170\text{--}270$ ГПа, что удовлетворяет требованиям для покрытий, пригодных для эксплуатации в микромеханических приборах авиационной и космической техники.

Ключевые слова: наноструктурированные покрытия TiAlCuN, механические свойства, наноиндентирование, твердость, модуль Юнга.

PROPERTIES OF NANOSTRUCTURED TiAlCuN NITRIDE COATINGS FOR MICROMECHANICAL DEVICES

Konstantinov S.¹, Komarov F.¹, Chizhov I.², Zaikov V.²

¹A.N. Sevchenko Scientific-Research Institute of Applied Physics Problems BSU

²Belarusian State University

Minsk, Republic of Belarus

Abstract. Nitride TiAlCuN coatings were formed on substrates made of single-crystal silicon (100) and titanium grade VT1-0 by magnetron method. Investigations of the elemental composition, structure and mechanical properties of the obtained coatings have been carried out. It has been found that a decrease in the degree of reactivity α from $\alpha = 0.60$ to $\alpha = 0.47$ leads to an increase in the deposition rate of the TiAlCuN coating by 23 %. The resulting coatings are homogeneous, dense and do not contain visible defects over the entire surface area. The hardness of TiAlCuN coatings varies in the range of $H = 23\text{--}36$ GPa, Young's modulus – $E = 170\text{--}270$ GPa, which meets the requirements for coatings suitable for use in micromechanical devices of aviation and space technologies.

Key words: nanostructured coatings TiAlCuN, mechanical properties, nanoindentation, hardness, Young's modulus.

Адрес для переписки: Константинов С.В., ул. Курчатова, 7, Минск 220045, Республика Беларусь

e-mail: svkonstantinow@gmail.com mymail3000@tut.by

Введение. Создание современных приборов с прецизионными механическими узлами, в том числе для авиационной и космической техники, таких как: гироскопы, осевые и маятниковые акселерометры, датчики давления актуализирует вопрос разработки твердых и износостойких покрытий [1]. В ряде работ было показано, что керамические нитридные и карбонитридные покрытия демонстрируют высокую прочность в синергии с пластичностью, и, таким образом, обладают хорошей износостойкостью и ударной вязкостью [2].

Для улучшения механических характеристик нитридных и карбонитридных покрытий перспективным является добавление меди или серебра, которые способны снижать коэффициент трения и повышать износостойкость композиционного покрытия. Добавление меди или кремния в состав, например покрытия TiAlN, способно блокировать рост кристаллитов и препятствовать миграции границ зерен [3].

Материалы и методы исследования. Формирование покрытий TiAlCuN осуществлялось

методом реактивного магнетронного распыления. В качестве подложек использовался титан марки VT1-0 и монокристаллический кремний (100). Осаждение проводилось в режиме со стехиометрической концентрацией ($\alpha = 0,60$) и дефицитом реактивного газа ($\alpha = 0,47$).

Для изучения элементного состава покрытий был применен метод энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии с использованием специализированной приставки к электронному микроскопу Hitachi SU 3400. С использованием указанного оборудования изучена структура покрытий методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Исследования механических свойств были проведены по методике Оливера и Фарра [2] на приборе CSM Instruments (Швейцария) Nano Hardness Tester (NHT2) с алмазным индентором Берковича.

Результаты и их обсуждение. На рис. 1 представлен энергодисперсионный рентгеновский спектр, полученный от покрытия TiAlCuN, сформированного в режиме со стехиометрической

концентрацией азота ($\alpha = 0,6$). Концентрация кислорода находится в пределах погрешности измерения, что свидетельствует о высоком качестве полученных структур. Обнаружено, что уменьшение степени реактивности α от значения $\alpha = 0,60$ до величины $\alpha = 0,47$ приводит к увеличению скорости осаждения покрытия TiAlCuN на 23 %.

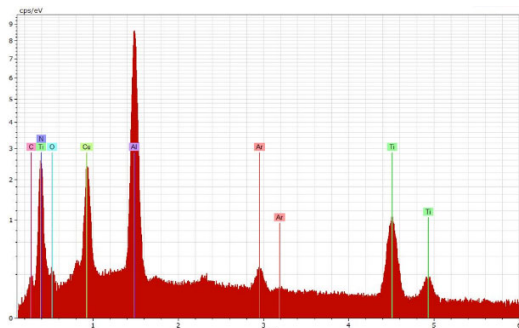
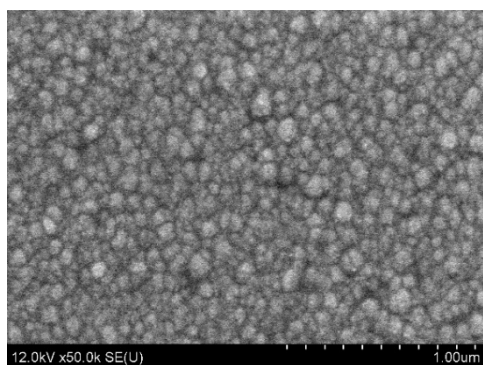
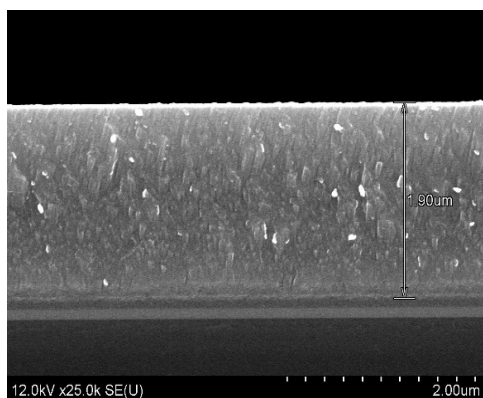


Рисунок 1 – Энергодисперсионный рентгеновский спектр от покрытия TiAlCuN

На рис. 2 представлены изображения поверхности (а) и поперечного сечения (б) покрытия TiAlCuN.



а



б

Рисунок 2 – СЭМ – микрофотографии поверхности (а) и поперечного сечения (б) покрытия TiAlCuN на кремнии

Поверхность всех образцов пленок TiAlCuN является гладкой и однородной. В структуре отсутствуют трещины и пустоты, способные оказывать негативное влияние на механические свойства покрытий.

На рис. 3 представлена кривая нагрузки-разгрузки индентора от покрытия TiAlCuN. Как следует из анализа результатов индентирования, где обнаружено отсутствие «ступеней» или разрывов на кривой нагрузки-разгрузки, сформированные покрытия однородны по толщине. Твердость их варьируется в диапазоне $H = 23\text{--}36$ ГПа, модуль Юнга – $E = 170\text{--}270$ ГПа, что удовлетворяет требованиям для покрытий, пригодных для эксплуатации в микромеханических приборах авиационной и космической техники.

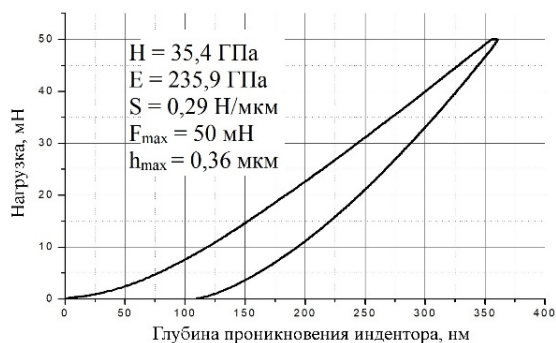


Рисунок 3 – Кривая нагрузки-разгрузки индентора от покрытия TiAlCuN

Заключение. Полученные покрытия TiAlCuN на подложках кремния Si (100) и титана VT1-0 являются однородными, плотными и не содержат видимых дефектов по всей площади поверхности. Установлено, что уменьшение степени реактивности α от значения $\alpha = 0,60$ до величины $\alpha = 0,47$ приводит к увеличению скорости осаждения покрытия TiAlCuN на 23 %. Твердость их варьируется в диапазоне $H = 23\text{--}36$ ГПа, модуль Юнга – $E = 170\text{--}270$ ГПа, что удовлетворяет требованиям для покрытий, пригодных для эксплуатации в космических условиях.

Литература

- Новиков, Л. С. Космическое материаловедение. Учебное пособие / Л. С. Новиков. – М.: Макс Пресс, 2014. – 448 с.
- Константинов, С. В. Радиационная стойкость наноструктурированных покрытий TiCrN / С. В. Константинов, Ф. Ф. Комаров, В. Е. Стрельницкий // Доклады Национальной академии наук Беларуси. – 2021. – Т. 65, № 4. – С. 412–421.
- Development and characterization of TiAlN (Ag, Cu) nanocomposite coatings deposited by DC magnetron sputtering for tribological applications / D. Perea [et al.] // Surface and Coatings Technology. – 2020. – Vol. 381. – P. 125095.