

Система предметов имеет функционал их добавления, редактирования, а также удаления для администрации и деканата. Так же на странице общей информации о группе можно просмотреть список студентов группы, быстро узнать их контакты и просмотреть таблицу посещаемости конкретного студента, так и всей группы в целом. В случаях, когда список студентов в группе изменяется, имеется возможность его так же обновить и в электронном журнале на этой же странице.

Во втором семестре 2020–2021 учебного года работникам деканатов и старостам учебных групп БНТУ был предоставлен доступ к пользованию программной разработкой «Электронный журнал». Отметим его актуальность и преимущества: быстрый доступ, удобный интерфейс, возможность быстрого редактирования, практичность.

Также была выполнена разработка удобного и быстрого программного средства «Расписание занятий студентов БНТУ» под мобильную систему Android [2], предлагающее пользователю следующий функционал: просматривать расписание своей группы; переключаться между неделями учебы; изменять группу и факультет университета (БНТУ). В программном обеспечении еще предусмотрено то, что каждый раз при открытии расписания происходит его обновление, без участия пользователя. Расписание для каждой группы может редактироваться пользователями, которые имеют определенные права на специальном вебсайте.

Для достижения поставленных целей и получения необходимого программного продукта были проделаны следующие этапы работы: анализ приложений-конкурентов; разработка каркасного мобильного приложения; разработка сервера; проектирование базы данных; разработка специального вебсайта; установление связи между мобильным приложением и сервером; тестирование и отладка ПО. Разработан специальный вебсайт и создан функционал редактирования расписания для его сохранения либо удаления. В мобильном приложении на систему Android можно переключаться по календарю, видеть на какую неделю и на какое число показано расписание. Есть возможность изменить факультет и группу пользователя. Сайт так же предоставляет возможность изменить язык интерфейса, для будущего подключения групп с иностранными студентами. В специализированном сайте присутствует обязательная авторизация для пользователя. Реализована возможность редактирования расписания для групп.

Специальный вебсайт с возможностью редактирования расписания: <http://176.96.238.141:8080>.

Приложение «Расписание для студентов БНТУ» для установки на мобильное устройство с системой Android: <https://vk.cc/bVIR3q>.

#### Литература

1. Фримен, Э. Изучаем HTML, XHTML и CSS / Э. Фримен. – СПб : Питер, 2014. – 720 с.
2. Android. Программирование для профессионалов / Б. Харди [и др.] – СПб : Питер, 2016. – 640 с.

УДК 621.7, 620.186

### МОРФОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ Al-Cr-N С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ Al

Кузнецова Т.А.<sup>1,2</sup>, Лапицкая В.А.<sup>1,2</sup>, Хабарова А.В.<sup>1</sup>, Чижик С.А.<sup>1,2</sup>, Вархолински Б.<sup>3</sup>, Гилевич А.<sup>3</sup>, Трухан Р.Э.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ГНУ «Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси»

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

<sup>3</sup>Кошалинский технологический университет

Кошалин, Польша

**Аннотация.** Методами атомно-силовой микроскопии и наноиндентирования проведены исследования морфологии поверхности и механических свойств покрытий AlCrN с различным содержанием Al. На поверхности покрытий наблюдается большое количество микрочастиц. Морфология покрытия изменяется с увеличением концентрации Al и увеличивается количество микрочастиц на поверхности. Модуль упругости E и микротвердость H<sub>y</sub> покрытия с равным содержанием Al и Cr снижается до значений 184 и 13,8 ГПа соответственно по сравнению с покрытием CrN. С увеличением содержания Al в покрытии до 70 % E и H<sub>y</sub> возрастают до значений 234 и 19,8 ГПа соответственно. Дальнейшее увеличение содержания Al до 80 % приводит к снижению механических свойств.

**Ключевые слова:** катодно-дуговое испарение, покрытие AlCrN, структура, микротвердость, модуль упругости.

## SURFACE MORPHOLOGY AND MECHANICAL PROPERTIES OF Al-Cr-N COATINGS WITH DIFFERENT Al CONTENT

Kuznetsova T.<sup>1,2</sup>, Lapitskaya V.<sup>1,2</sup>, Khabarava A.<sup>1</sup>, Chizik S.<sup>1,2</sup>, Warcholinski B.<sup>3</sup>, Gilewicz A.<sup>3</sup>, Trukhan R.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>A.V. Luikov Heat and Mass Transfer Institute of the NAS of Belarus

<sup>2</sup>Belarusian national technical university

Minsk, Belarus

<sup>3</sup>Koszalin Technological University

Koszalin, Poland

**Abstract.** Surface morphology and mechanical properties of AlCrN coatings with different Al content have been studied by atomic force microscopy and nanoindentation. There is a large number of microparticles on the surface coating. The morphology of the coating changes with increasing Al concentration and the number of microparticles on the surface increases. The elastic modulus  $E$  and microhardness  $H$  of the coating with equal Al and Cr content are reduced to values of 184 and 13,8 GPa, respectively, compared with the CrN coating.  $E$  and  $H$  increase to values of 234 and 19,8 GPa with an increase in the Al content in the coating to 70 %. A further increase in the Al content to 80 % leads to a decrease in mechanical properties.

**Key words:** cathode-arc evaporation, AlCrN coating, structure, microhardness, elastic modulus.

Адрес для переписки: Кузнецова Т.А., ул. П. Бровки, 15, г. Минск 220072, Республика Беларусь  
e-mail: kuzn06@mail.ru

**Введение.** Использование нитридов переходных металлов в виде многокомпонентных систем позволяет одновременно получить высокие механические свойства, коррозионную и термическую стойкость, стойкость к износу и окислению. Добавление дополнительных компонентов к нитридной системе из двух элементов приводит к измельчению зерна, одновременному образованию аморфных и кристаллических фаз, формированию в кристаллических фазах различных решеток и появлению метастабильных фаз [1–3]. Изменяя фазовый состав покрытия за счет варьирования технологическими режимами и введения дополнительных элементов можно добиться эффективного влияния на поверхностные свойства покрытий [3].

Одним из наиболее широко применяемых в промышленности покрытий является нитрид хрома, обеспечивающий высокую стойкость к окислению и коррозии, хорошую адгезию к стальным подложкам [4]. Однако из-за относительно низких твердости [5] и абразивной износостойкости покрытия CrN следует усовершенствовать для более широкого применения. Изменение и улучшение свойств CrN достигают легированием металлами (Al, V) и неметаллами (C, Si) с образованием тройных систем [4–6].

Целью данной работы являлось исследование морфологии поверхности и механических свойств покрытий AlCrN методами атомно-силовой микроскопии и наноиндентирования.

**Материалы и методы исследования.** Покрытия AlCrN толщиной 2–4 мкм наносились катодно-дуговым испарением на стальные подложки HS6-5-2 с использованием установки TINA 900 M. Для улучшения адгезии покрытия к подложке, на подложку наносили тонкий слой хрома толщиной около 100 нм. При нанесении всех покрытий использовалась реакционная атмосфера чистого азота с давлением 3 Па. Иссле-

дуемый набор покрытий был нанесен с использованием следующих катодов: Cr, Al<sub>50</sub>Cr<sub>50</sub>, Al<sub>70</sub>Cr<sub>30</sub> и Al<sub>80</sub>Cr<sub>20</sub>.

Исследования топографии поверхности покрытий AlCrN проводили атомно-силовой микроскопией (АСМ) на приборе Dimension FastScan (Bruker, США) в режиме PeakForce QNM (количественное наномеханическое картирование) с использованием стандартных кремниевых кантилеверов типа NSC-11 (производство Micromash, Эстония) с радиусами закругления острия 30 и 24 нм, с жесткостью консоли 4,9 и 6,9 Н/м.

Измерение механических свойств покрытий AlCrN проводили на наноинденторе Hysitron 750 Ubi (Bruker, США) с алмазным индетором типа Беркович с радиусом 60 нм. Нагрузка на индетор составляла 5 мН.

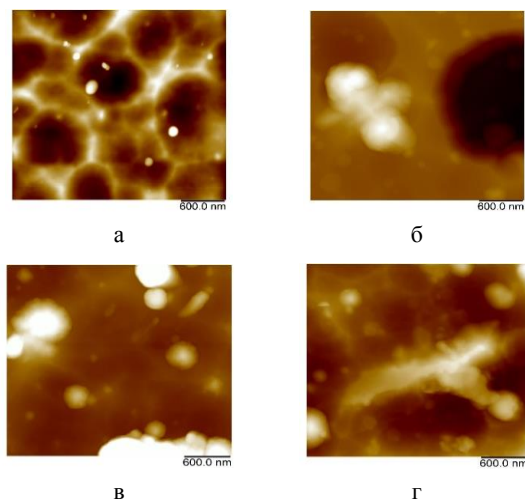
**Результаты исследования.** Структура поверхности на полях 3 мкм<sup>2</sup> покрытия без Al состоит из ячеек размером от 0,3 до 1,5 мкм (рис. 1). На поверхности покрытия с увеличением содержания Al растет и количество частиц размером 0,2–2,0 мкм. Появление частиц на поверхности покрытий приводит к значительному росту шероховатости поверхности по сравнению с покрытием CrN (табл. 1). Шероховатость  $R_a$  покрытия CrN составила 15,0 нм, а покрытия Al<sub>80</sub>Cr<sub>20</sub>N – 84,5 нм.

Таблица 1. Шероховатость поверхности покрытий

Покрытие Al <sub>x</sub> Cr <sub>1-x</sub> N	$R_a$ , нм	$Rq$ , нм	$Rz$ , нм
x = 0	15,0	18,0	54,5
x = 0,5	186,0	220,0	991,0
x = 0,7	69,1	101,0	860,0
x = 0,8	84,5	110,0	423,0

Модуль упругости  $E$  и микротвердость  $H$  покрытия без Al (CrN) равны соответственно 206 и 25,9 ГПа (рис. 2). У покрытия с равным содержанием Al и Cr (Al<sub>50</sub>Cr<sub>50</sub>N) снижается до

значений 184 и 13,8 ГПа соответственно по сравнению с покрытием CrN (рис. 2). С увеличением содержания Al в покрытии до 70% ( $Al_{70}Cr_{30}N$ )  $E$  и  $H$  возрастают до значений 234 и 19,8 ГПа соответственно. Дальнейшее увеличение содержания Al ( $Al_{80}Cr_{20}N$ ) приводит к снижению механических свойств.



$a - x = 0$ ;  $б - x = 0,5$ ;  $в - x = 0,7$ ;  $г - x = 0,8$

Рисунок 1 – АСМ-изображения ( $3 \text{ мкм}^2$ ) поверхности покрытий  $Al_xCr_{1-x}N$

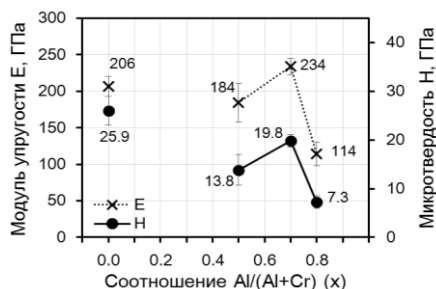


Рисунок 2 – Механические свойства покрытий AlCrN

**Заключение.** Проведены исследования морфологии поверхности и механических свойств покрытий AlCrN с различным содержанием Al. Установлено, что добавление Al в состав покрытия приводит к появлению на поверхности микрочастиц, которые способствуют увеличению шероховатости поверхности. По результатам определения механических свойств установлено, что наибольшие значения  $E$  и  $H$  у покрытия с содержанием Al 70% ( $Al_{70}Cr_{30}N$ ).

**Благодарности.** Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского фонда фундаментальных исследований № T21MC-029.

### Литература

1. Microstructural evolution and thermal stability of AlCr(Si)N hard coatings revealed by in-situ high-temperature high-energy grazing incidence transmission X-ray diffraction / N. Jager [et al.] // Acta Materialia. – 2020. – Vol. 186. – P. 545–554.
2. Microstructure and mechanical properties of nanocrystalline Al–Cr–B–N thin films / C. Trittemmel [et al.] // Surface & Coatings Technology. – 2012. – Vol. 213. – P. 1–7.
3. Franz, R. Vanadium containing self-adaptive low-friction hard coatings for high-temperature applications: A review / R. Franz, Ch. Mitterer // Surface and Coatings Technology. – 2013. – Vol. 228. – P. 1–13.
4. Investigation of the properties of  $Al_{1-x}Cr_xN$  coatings prepared by cathodic arc evaporation / A. E. Reiter [et al.] // Surf. Coat. Technol. – 2005. – Vol. 200. – P. 2114–2122.
5. Influence of deposition parameters on hard Cr–Al–N coatings deposited by multi-arc ion plating / L. Wang [et al.] // Appl. Surf. Sci. – 2012. – Vol. 258. – P. 3629–3636.
6. Механические и триботехнические свойства нитридных и оксинитридных покрытий на основе хрома и циркония, полученных электродуговым испарением / Вархолински Б. [и др.] // Трение и износ. – 2019. – Т. 40. – № 2. – С. 209–217.

УДК 519.2:006

## РАЗРАБОТКА ФИЗИЧЕСКИХ И МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЕМКОСТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ВЛАЖНОСТИ ЗЕРНА

Кулуев Р.Р., Матякубова П.М.

<sup>1</sup>Ташкентский государственный технический университет им. И.А. Каримова  
Ташкент, Республика Узбекистан

**Аннотация.** На основе полученных данных и результатов обоснованы две физические модели емкостных преобразователей, как наиболее эффективные для контроля влажности зерна и зернопродуктов в результате которого разработано и изготовлена конструкция емкостных преобразователей и микропроцессорное устройство контроля влажности зерна, основанного на емкостном измерении. Проведен структурный синтез измерительного преобразователя влажности зерна, в результате которого построена ее оптимальная структура, отличающаяся компактностью размещения схемы.

**Ключевые слова:** емкостные преобразователи, физические модели, устройство, влажность.