

МАГНЕТРОННОЕ ОСАЖДЕНИЕ ТВЁРДЫХ И ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ

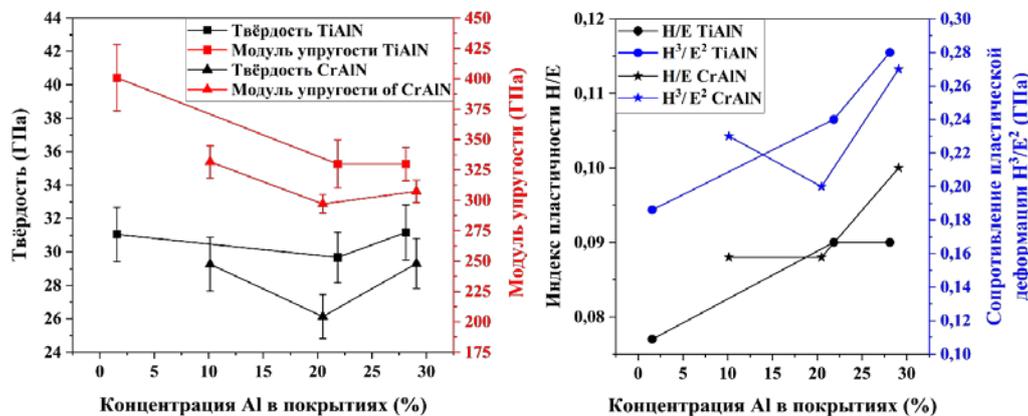
Е.О. КРАЙНОВА^{1,2}, А.С. ГРЕНАДЁРОВ¹, С.В. РАБОТКИН¹, В.А. СЕМЁНОВ¹, А.А. СОЛОВЬЁВ¹¹ Институт сильноточной электроники СО РАН² Национальный исследовательский Томский политехнический университетE-mail: e.kraynova@mail.ru

Твёрдые и износостойкие покрытия необходимы для защиты режущих инструментов и увеличения их срока службы. Диборид титана TiB_2 обладает высокой твёрдостью, которая находится в диапазоне от 23 до 30 ГПа и может достигать до 40 ГПа при осаждении методом сильноточного импульсного магнетронного распыления (HiPIMS) [1]. Такие покрытия обладают высокой термической и химической стабильностью [2]. Нитридные покрытия также обладают высокой твёрдостью порядка 30 ГПа, износостойкостью и термостойкостью [3]. Добавление алюминия в систему нитридов способствует увеличению устойчивости к окислению [4]. Похожий механизм окислительной стойкости и высокая износостойкость наблюдается у покрытий $CrAlN$ [5]. Что касается многослойных покрытий, эффект упрочнения возникает из-за препятствования движению дислокаций на границах слоёв [6]. Также затруднено образование сквозных трещин, за счёт чего увеличивается коррозионная стойкость покрытий [7]. Использование металлического подслоя способствует измельчению зерен и увеличивает трещиностойкость [8].

Катодно-дуговое испарение (САЕ) является широко используемым методом получения твёрдых и износостойких покрытий, основным преимуществом которого является высокая скорость осаждения плёнки при высокой ионизации потока распыляемого материала в плазме [9]. Основным недостатком САЕ является капельная фракция, ухудшающая эксплуатационные свойства покрытий. В качестве альтернативы САЕ рассматривается метод HiPIMS. Высокая ионизация распыляемого материала (сравнимая с САЕ) позволяет формировать более плотную структуру покрытий с меньшей шероховатостью [10].

Таким образом, цель работы заключалась в получении однослойных покрытий $TiAlN$ и $CrAlN$, многослойных покрытий $Ti/TiAlN$ и $Cr/CrAlN$ и покрытий диборида титана TiB_2 методом HiPIMS (длительность импульса 20 мкс для нитридных покрытий и от 7 до 50 мкс для TiB_2). При осаждении нитридных покрытий использовались металлические мишени Ti , Al и Cr , концентрация элементов варьировалась регулированием мощности MPC.

Первая группа состоит из однослойных нитридных покрытий $TiAlN$ и $CrAlN$, нанесённых на ВК-8. Результаты измерения твёрдости (рисунок 1) показывают, что для покрытий $CrAlN$ в исследуемом диапазоне концентраций она изменяется от 26 до 29 ГПа, при этом для $TiAlN$ она составляет 30 ± 1 ГПа. Индекс пластичности практически не меняется, а сопротивление пластической деформации увеличивается с ростом концентрации Al в покрытии.

Рисунок 1. Механические свойства однослойных покрытий $TiAlN$ и $CrAlN$

Вторая группа объединяет однослойные и многослойные покрытия с Ti и Cr с близкой концентрацией элементов в керамическом слое. Многослойные покрытия Ti/TiAlN и Cr/CrAlN были получены с различной толщиной слоёв, указанной в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры многослойных нитридных покрытий

Покрытие	Количество слоёв	Толщина нитридного слоя	Толщина Ti или Cr слоя
Ti/TiAlN	12	200±20 нм	100±15 нм
	16	100±15 нм	50±15 нм
Cr/CrAlN	20	200±20 нм	80±15 нм
	40	100±15 нм	30±15 нм

Увеличение твёрдости покрытий наблюдается при толщине металлического слоя 50 нм для TiAlN и 30 нм для CrAlN (рисунок 2). Отмечается, что устойчивость к пластической деформации и индекс пластичности многослойных покрытий с Ti увеличиваются, а с Cr не изменяется.

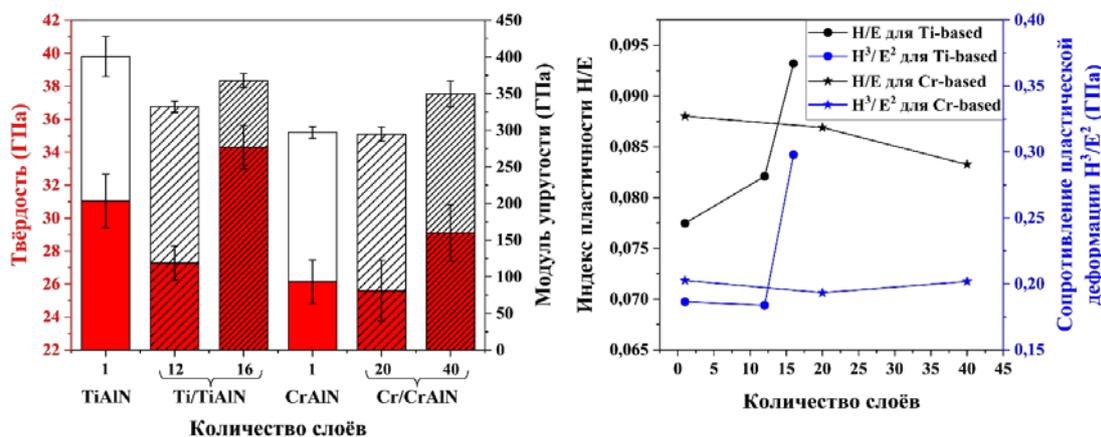


Рисунок 2. Механические свойства однослойных и многослойных нитридных покрытий

Третья группа покрытий TiB₂ была получена на подложке из стали AISI 316L. Наибольшая твёрдость покрытия наблюдалась при длительности импульса 25 мкс (рисунок 3). Сопротивление пластической деформации увеличивается при росте длительности импульса.

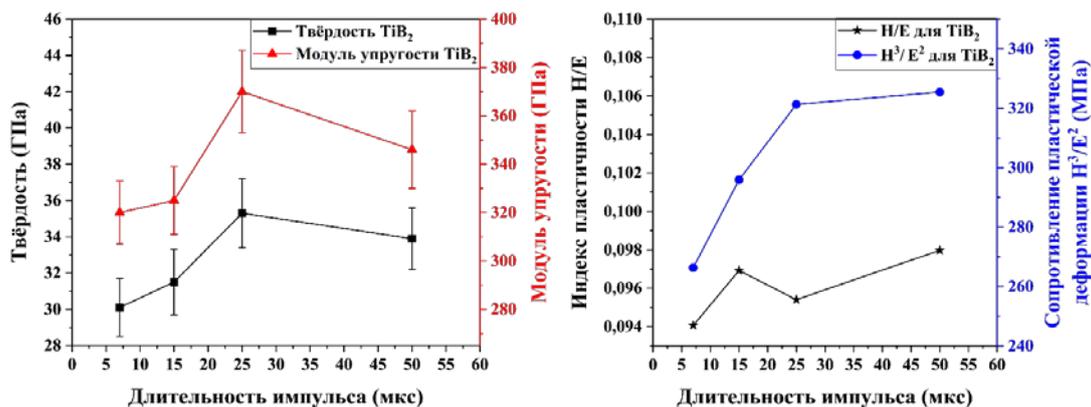


Рисунок 3. Механические свойства покрытий диборида титана

Трибологические испытания покрытий проводились в геометрии «шар-диск» с контртелом Al₂O₃ для нитридов и ШХ-15 для диборидов при нагрузке 5 и 3 Н, соответственно. Сравнение покрытий с наилучшими свойствами из каждой группы (рисунок 4) показало, что более твёрдые покрытия, в целом, показывают меньшую стойкость к износу. Износостойкость у покрытий диборида титана в целом хуже, чем у нитридов.

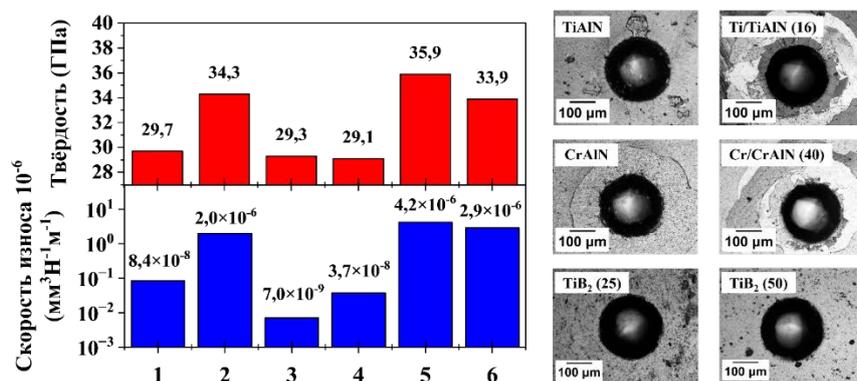


Рисунок 4 – Скорость износа и твёрдость покрытий (слева), и кратеры, образованные после вдавливания индентора Роквелла (справа)

Таким образом, покрытия с высокими механическими и трибологическими характеристиками получены методом HiPIMS. Наибольшую стойкость к износу показали нитридные покрытия с хромом, однако их адгезионные свойства неудовлетворительны. Возможно, улучшить адгезию многослойных покрытий, уменьшив толщину слоёв. Покрытия TiB_2 обладают большей твёрдостью, но уступают в износостойкости нитридам.

Работа была выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № 075-15-2021-1348).

Список литературы

1. Thornberg J., Palisaitis J., Hellgren N., Klimashin F.F., Ghafoor N., Zhirkov I., Azina C., Battaglia J., Kusiak A., Sortica M.A., Greene J.E., Hultman L., and Rosen J. Microstructure and materials properties of understoichiometric TiB_x thin films grown by HiPIMS // Surf. Coatings Tech. – 2020. – V. 404 – 126537. DOI:10.1016/j.surfcoat.2020.126537.
2. Dranenko A.S., Lavrenko V.A., and Talash V.N. Corrosion resistance of nanostructured TiB_2 films in 3% NaCl solution // Powder Metall. Met. Ceram. – 2010. – V. 49. – P. 174–178. DOI:10.1007/s11106-010-9218-4.
3. Grenadyorov A., Oskirko V., Zakharov A., Oskomov K., Rabotkin S., Semenov V., Solovyev A., and Shmakov. A. Properties of TiAlN Coatings Obtained by Dual-HiPIMS with Short Pulses // Materials. – 2023. – V. 16 – 1348. DOI:10.3390/ma16041348.
4. M. Ben Hassine, André H.-O., Anand H. S. Iyer, and A. Lotsari. Growth model for high-Al containing CVD TiAlN coatings on cemented carbides using intermediate layers of TiN // Surf. Coat. Tech. – 2021. – V. 421. – 127361. DOI:10.1016/j.surfcoat.2021.127361.
5. Kim G. and Lee S.Y.. Microstructure and mechanical properties of AlCrN films deposited by CFUBMS // Surf. Coat. Tech. – 2006. – V. 201, – 4361. DOI:10.1016/j.surfcoat.2006.08.076
6. Koehler J.S.. Attempt to Design a Strong Solid // Phys. Rev. – 1970. – V. 2. – 547. DOI:10.1103/PhysRevB.2.547.
7. Hultman L. Thermal stability of nitride thin films // Vacuum. – 2000. – V. 57 – 1. DOI:10.1016/S0042-207X(00)00143-3.
8. Zhao C., Zhu Y., Yuan Z., and Li J. Structure and tribocorrosion behavior of Ti/TiN multilayer coatings in simulated body fluid by arc ion plating // Surf. Coatings Tech. – 2020. – V. 403. DOI:10.1016/j.surfcoat.2020.126399.
9. Anders A. A. A review comparing cathodic arcs and HiPIMS // Surf. Coat. Technol. – 2014. – V. 257. – 308. DOI:10.1016/j.surfcoat.2014.08.043.
10. Liu L., Zhou L., Tang W., Ruan Q., Li X., Wu Z., Qasim A.M., Cui S., Li T., Tian X., Fu R.K.Y., Wu Z., and Chu P.K. Study of TiAlN coatings deposited by continuous high power magnetron sputtering (C-HPMS) // Surf. Coat. Technol. – 2020. – V. 402. – I. 126315. DOI:10.1016/j.surfcoat.2020.126315.