

СВОЙСТВА ВАКУУМНО-ДУГОВЫХ ПОКРЫТИЙ СОСТАВОВ (Zr ИЛИ Cr + TiBSiNi)N, ПОЛУЧЕННЫХ В ПУЧКОВО- ПЛАЗМЕННОМ ОБРАЗОВАНИИ

А.А. Леонов¹⁾, В.М. Савостиков¹⁾, В.В. Денисов¹⁾,
Ю.А. Денисова¹⁾, А.Б. Скосырский^{1), 2)}, М.В. Савчук¹⁾

¹⁾Институт сильноточной электроники СО РАН, пр. Академический 2/3, Томск 634055,
Россия, laa-91@yandex.ru, svm.53@mail.ru, volodyadenisov@yandex.ru,

yudenisova81@yandex.ru, mixail96@bk.ru

²⁾Национальный исследовательский Томский государственный университет,
пр. Ленина 36, Томск 634050, Россия, qwert1902@rambler.ru

В работе представлены результаты сравнительного исследования физико-механических свойств многокомпонентных нитридных покрытий на основе Zr или Cr + (Ti, B, Si, Ni) полученных в газо-металлическом пучково-плазменном образовании, формируемом в полой катодной несамостоятельной тлеющей разрядной вакуумно-дуговой плазменно-ассистированным методом. Используемым для испарения многокомпонентный катод Ti-B-Si-Ni был изготовлен методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза с одно-временным прессованием. Микротвердость покрытий исследовались в исходном состоянии и после высокотемпературного отжига на воздухе. Показано, что в исходном состоянии полученные многокомпонентные покрытия (Ti-B-Si-Ni)N, (Zr+Ti-B-Si-Ni)N и (Cr+Ti-B-Si-Ni)N обладали высокой микротвердостью, ≈ 40 ГПа, в зависимости от состава покрытия. После отжига покрытие (Zr+Ti-B-Si-Ni)N отслоилось, а покрытия (Ti-B-Si-Ni)N и (Cr+Ti-B-Si-Ni)N сохранили свою целостность и имели несколько сниженную микротвердость, по сравнению с исходным состоянием.

Ключевые слова: СВС-катоды; вакуумно-дуговое осаждение; нитридные покрытия; твердость; адгезия; рентгеноструктурный анализ.

PROPERTIES OF VACUUM-ARC COATINGS OF (Zr OR Cr + TiBSiNi)N COMPOSITIONS PRODUCED IN BEAM-PLASMA FORMATION

Andrey Leonov¹⁾, Viktor Savostikov¹⁾, Vladimir Denisov¹⁾, Yuliya Denisova¹⁾,
Anatoly Skosyrsky^{1), 2)}, Mikhail Savchuk¹⁾

¹⁾Institute of High Current Electronics SB RAS, 2/3 Akademicheskoy ave., 634055 Tomsk, Russia,
laa-91@yandex.ru, svm.53@mail.ru, volodyadenisov@yandex.ru, yudenisova81@yandex.ru,
mixail96@bk.ru

²⁾National Research Tomsk State University, 36 Lenin Ave., 634050 Tomsk, Russia,
qwert1902@rambler.ru

The paper presents the results of a comparative study of the physico-mechanical properties of multicomponent nitride coatings based on Zr or Cr + (Ti, B, Si, Ni) obtained in a gas-metal beam-plasma formation formed in a hollow cathode of a non-self-sustained glow discharge by a vacuum-arc plasma-assisted method. The coatings were deposited on the VK-8 hard alloy. The microhardness of the coatings was studied in the initial state and after high-temperature annealing in air at 700°C. It is shown that in the initial state the obtained multicomponent coatings (Ti-B-Si-Ni)N, (Zr+Ti-B-Si-Ni)N and (Cr+Ti-B-Si-Ni)N had a high microhardness of 44.3 GPa, 47.8 GPa and 39.0 GPa, respectively. After high-temperature annealing, the (Zr+Ti-B-Si-Ni)N coating peeled off, while the (Ti-B-Si-Ni)N and (Cr+Ti-B-Si-Ni)N coatings retained their integrity and had a slightly reduced microhardness (22.9 GPa and 28.8 GPa, respectively), compared with the initial state. The coatings will be additionally investigated for heat resistance in real time by X-ray phase analysis using synchrotron radiation.

Keywords: SHS-cathodes; vacuum arc deposition; nitride coatings; hardness; adhesion; XRD.

Введение

В настоящее время эффективным вари-

антом создания защитно-упрочняющих покрытий, является ионно-плазменное

формирование в их составе набора соединений, обладающих различными, функционально целенаправленными, свойствами. Известно, например, что существенное изменение структуры и свойств нитридных покрытий можно обеспечить путем легирования такими элементами, как Si, B, Al, Ni и др. [1-3]. Такой технологический вариант реализуется или ионно-плазменным испарением набора катодов различного компонентного состава, или испарении катодов, изначально содержащих в своем составе набор заданных элементов и соединений. В отличие, например, от использования мозаичных катодов, более управляемым и перспективным для изготовления композиционных катодов является метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), позволяющим изначально получать самые разнообразные сочетания элементов и соединений в катодных материалах и, соответственно, в осаждаемых покрытиях. Кроме того, перспективным ионно-плазменным методом формирования покрытий является осаждение в системе генерации газо-металлических пучково-плазменных образований, формируемых в полном катоде несамостоятельного тлеющего разряда низкого давления при одновременном горении вакуумно-дуговых разрядов. Синтезируемая в полном катоде тлеющего разряда с внешней инжекцией электронов плазма по методу её генерации может быть отнесена к пучково-плазменным образованиям [4, 5]. Таким образом, целью работы являлось исследование физико-механических свойств многокомпонентных покрытий (Ti-B-Si-Ni)N, (Zr+Ti-B-Si-Ni)N и (Cr+Ti-B-Si-Ni)N полученных вакуумно-дуговым осаждением в пучково-плазменном образовании при испарении СВС-катода Ti-B-Si-Ni, хромового и циркониевого катодов.

Основная часть

Для вакуумно-дугового осаждения покрытий составов (Zr или Cr + TiBSiNi)N в работе использовались прессованные

СВС-катоды на основе экзотермического сочетания элементов Ti, B, Si в атомном соотношении 2Ti:2B:Si с введением Ni (10 ат.%) в качестве связки [6] и катоды из хрома (99.8 % Cr) и циркониевого сплава Э110 (0.9-1.1 % Nb). В качестве подложек использовались образцы твердого сплава ВК8 (WC+8% Co) диаметром 8 мм и высотой 6 мм. Покрытия осаждались на модернизированной установке ННВ 6.6-И1 вакуумно-дуговым плазменно-ассистированным методом по разрядной схеме (рис. 1) в газо-металлическом пучково-плазменном образовании, формируемом в полном катоде несамостоятельного тлеющего разряда [4-7].

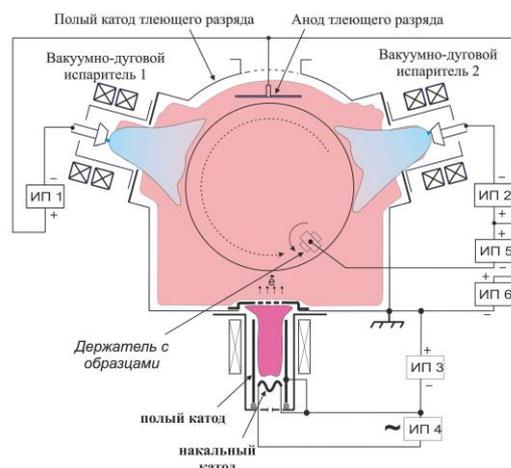


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для реализации процессов напыления покрытий. ИП – источник питания

Тлеющий разряд зажигался между полным катодом (внутренняя поверхность стенок вакуумной камеры) и плоским анодом, который также являлся анодом для дуговых разрядов. Для стабильного горения тлеющего разряда при низких давлениях использовалась инжекция электронов из плазмы несамостоятельного дугового разряда с накаленным и полным катодом, формируемого в источнике «ПИНК». Анодом для несамостоятельного дугового разряда являлся электрод, перекрытый мелкоструктурной сеткой, имеющий потенциал полого катода тлеющего разряда. Часть потока электронов, попадающего на электрод, проходила сквозь ячейки сетки, а затем ускорялась в

прикатодном падении потенциала, осциллируя в полости и ионизируя рабочий газ. Формирование покрытий проводили при отрицательном потенциале смещения на подложке 150 В в газовой смеси N_2/Ag при соотношении 90/10 и общим давлением 0.6 Па. Во всех случаях токи дуговых разрядов составляли: для СВС-катода Ti-B-Si-Ni и хромового 80 А, а для циркониевого катода 60 А. Время осаждения покрытий составляло 90 минут. Для полученных покрытий измерялась микротвердость на приборе KBW-1 (KB Pruftechnik GmbH, Германия) с использованием алмазной пирамиды Виккерса при нагрузке на индентор 0.1 Н (10 г). Покрытий дополнительно были подвергнуты отжигу на воздухе при температуре 700 °С в течение 60 мин в муфельной печи типа SNOL (СНОЛ). С целью имитации термоудара их выгрузка из печи осуществлялась при 300 °С с быстрым остыванием на массивном стальном основании. После такой термообработки на покрытиях вновь измеряли микротвердость по указанной выше методике. Исходная микротвердость HV для покрытий (Ti-B-Si-Ni)N, (Zr+Ti-B-Si-Ni)N и (Cr+Ti-B-Si-Ni)N составила 44.3 ГПа, 47.8 ГПа и 39.0 ГПа соответственно. После высокотемпературного отжига покрытие (Zr+Ti-B-Si-Ni)N полностью отслоилось, поэтому микротвердость этого покрытия не удалось измерить. Однако, покрытия (Ti-B-Si-Ni)N и (Cr+Ti-B-Si-Ni)N сохранили свою целостность после отжига, не отслоились от подложки и обладали несколько сниженной микротвердостью HV 22.9 ГПа и 28.8 ГПа соответственно, что заметно превышает микротвердость подложки из твердого сплава ВК8. Полученные покрытия будут дополнительно исследованы на жаростойкость в режиме реального времени методом рентгенофазового анализа с использованием синхротронного излучения.

Заключение

Разработанные многокомпонентные покрытия могут быть использованы в целях повышения износостойкости твердосплавного режущего инструмента, т.к. имеют высокие значения микротвердости и сохраняют достаточно высокие значения ее после отжига на воздухе при 700 °С.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российской Федерации в лице Министерства науки и высшего образования (проект № 075-15-2021-1348) в рамках мероприятия № 3.1.18.

Библиографические ссылки

1. Musil J. Hard and superhard nanocomposite coatings. *Surface and Coatings Technology* 2000; 125(1-3): 322-330.
2. Daniel R., Musil J., Zeman P., Mitterer C. Thermal stability of magnetron sputtered Zr-Si-N films. *Surface and Coatings Technology* 2006; 201(6): 3368-3378.
3. Mayrhofer P.H., Stoiber M. Thermal stability of superhard Ti-B-N coatings. *Surface and Coatings Technology* 2007; 201(13): 6148-6153.
4. Denisov V.V., Akhmadeev Yu.H., Koval N.N., Kovalsky S.S., Lopatin I.V., Ostroverkhov E.V., et al. The source of volume beam-plasma formations based on a high-current non-self-sustained glow discharge with a large hollow cathode. *Physics of Plasmas* 2019; 26: 123510.
5. Денисов В.В., Денисова Ю.А., Варданян Э.Л., Островерхов Е.В., Леонов А.А., Савчук М.В. Осаждение многослойного покрытия в газометаллическом пучково-плазменном образовании при низком давлении. *Известия вузов. Физика* 2021; 64(1): 125-129.
6. Савостиков В.М., Леонов А.А., Денисов В.В., Денисова Ю.А., Скосырский А.Б., Шулепов И.А. Исследование физико-механических свойств покрытий, полученных вакуумно-дуговым распылением катодов состава Ti-B-Si-Ni, изготовленных с применением самораспространяющегося высокотемпературного синтеза и прессования. *Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования* 2023; 6: 60-66.
7. Leonov A.A., Denisova Y.A., Denisov V.V., Syrtanov M.S., Shmakov A.N., Savostikov V.M., Teresov A.D. Structure and properties of CrN/TiN multi-layer coatings obtained by vacuum-arc plasma-assisted deposition method. *Coatings* 2023; 13(2): 351.