

УДК 621.793.1; 537.525.5

DOI: 10.17223/00213411/62/5/106

*О.В. КРЫСИНА, В.В. ШУГУРОВ, Н.А. ПРОКОПЕНКО, Е.А. ПЕТРИКОВА, О.С. ТОЛКАЧЕВ, Ю.А. ДЕНИСОВА***СИНТЕЗ ОДНОСЛОЙНЫХ ZrN-ПОКРЫТИЙ ВАКУУМНО-ДУГОВЫМ ПЛАЗМЕННО-АССИСТИРОВАННЫМ МЕТОДОМ С ФИЛЬТРАЦИЕЙ ПЛАЗМЕННОГО ПОТОКА\***

Получены покрытия на основе ZrN вакуумно-дуговым методом в условиях плазменного ассистирования и фильтрации плазмы от капельной фазы. Комплексно исследованы свойства, элементный и фазовый состав покрытий, их структура методами современного материаловедения. Выявлены режимы осаждения, в которых сформированные покрытия имеют низкую шероховатость (0.03 мкм), высокую твердость (до 30.5 ГПа), относительно низкий коэффициент трения (0.39), низкий параметр износа (до  $2.2 \cdot 10^{-6}$  мм<sup>3</sup>/(Н·м)). По результатам рентгеноструктурного анализа определено, что покрытия состоят из ZrN-кристаллитов с кубической решеткой.

**Ключевые слова:** вакуумно-дуговое плазменно-ассистированное осаждение, фильтрация плазменного потока, ZrN-покрытия, дуговой разряд, свойства, структура, коэффициент трения, износостойкость.

**Введение**

Одним из основных применений вакуумно-дуговых разрядов является синтез функциональных покрытий на поверхности материалов и изделий с целью их защиты от износа, коррозии и др. [1, 2]. Современные защитные покрытия должны сочетать высокие физико-механические и эксплуатационные характеристики [3] для обеспечения надежности работы и увеличения срока службы инструмента, деталей, механизмов и различных изделий.

Вакуумно-дуговой метод осаждения покрытий является высокопроизводительным и обладает широким диапазоном рабочего давления ( $10^{-1}$ – $10^{-4}$  Па); высокой степенью ионизации плазменного потока (20–100 %); высокой скоростью роста покрытий ( $\sim 10$  мкм/ч) [4]. Основным преимуществом вакуумно-дугового метода напыления является высокая степень ионизации продуктов эрозии материала катода, но наряду с этим он имеет существенный недостаток, наличие макрочастиц – капель, твердых осколков в плазменном потоке, которые образуются в результате взрывных процессов микроострий катода в плазме вакуумной дуги. Для увеличения однородности состава покрытий, получаемых вакуумно-дуговыми методами, по объему необходимо существенно уменьшить или исключить полностью долю капельной фракции в плазменном потоке, генерируемом при испарении материала катода, так как наличие значительного количества макрочастиц в потоке металлической плазмы ограничивает область применения стационарной вакуумной дуги. Самым радикальным и эффективным, но в то же время надежным методом сепарации плазменного потока от капельной фракции является отделение ионной компоненты металлической плазмы от нейтральных капель с помощью магнитного фильтра и ее транспортировка до подложки [5, 6].

В данной работе использовали электродуговой испаритель с магнитной системой фильтрации плазмы от макрочастиц в криволинейном плазмоведе [6] и оригинальный источник газоразрядной плазмы на основе несамостоятельного дугового разряда с накаливаемым и полым катодами [7], что позволило генерировать плотную однородную бескапельную газометаллическую плазму с концентрацией примерно до  $10^{12}$  см<sup>-3</sup> в вакуумном объеме  $\approx 0.3$  м<sup>3</sup> для синтеза нитридных покрытий.

В качестве объекта исследований были выбраны однослойные покрытия на основе ZrN, которые по литературным данным обладают хорошими защитными свойствами [8–11]: коррозионной и радиационной стойкостью, высокими твердостью и износостойкостью.

Цель данной работы – синтез однослойных бескапельных износостойких твердых покрытий на основе ZrN вакуумно-дуговым методом с плазменным ассистированием и фильтрацией плазменного потока от макрочастиц, комплексное исследование их состава, структуры и свойств, оптимизация режимов напыления.

\* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 18-79-10111.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала  
**«Известия высших учебных заведений. Физика»**  
осуществляется на платформе  
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU  
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>