

Список использованных источников

1. Витязь, П.А. Нанокристаллические алмазы и перспективы их использования. / П.А. Витязь // Наноструктурные материалы: получение и свойства. – Минск: НАНБ, 2000. – С. 8-20.
2. Трение и износ материалов на основе полимеров. / В.А. Белый [и др.] – Минск: Наука и техника, 1976. – 250 с.
3. Металлополимерные нанокомпозиты: особенности структуры, технология, применение / А.А. Рыскулов, С.В. Авдейчик, М.В. Ищенко, Е.В. Овчинников. Под научн. ред. В.А. Струка, В.А. Лиопо. – Гродно: ГГАУ, 2010. – 335 с.

УДК 621.893

**Е.В. Овчинников, Н.М. Чекан, А.И. Акула,
Е.И. Эйсымонт, В.И. Кравченко**

Гродненский государственный университет им. Я.Купалы
Физико-технический институт НАН Беларуси

АНТИФРИКЦИОННЫЕ ВАКУУМНЫЕ ПОКРЫТИЯ, ПОЛУЧАЕМЫЕ ПО ГИБРИДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Традиционными методами формирования тонкослойных покрытий являются плазмохимическое, физическое и химическое осаждение [1–2]. Получение устойчивых защитных слоев, обладающих высокой адгезией к субстрату позволяет создавать пленки толщиной порядка от 0,1 мкм до 8–10 мкм. Данные слои характеризуются высокими функциональными характеристиками: коррозионной стойкостью по отношению к действию агрессивных сред, низким коэффициентов трения и высокой износостойкостью. Применение данных покрытий позволяет увеличить производительность металлообработки режущим инструментом на 30–220 %, повысить эксплуатационный ресурс инструмента и технологической оснастки от 1,7 до 5 раз в зависимости от вида технологии обработки и типа материала. Эффективно применение тонкослойных вакуумных покрытий для модифицирования изделий, изготавливаемых из твердосплавных материалов в частности методами порошковой металлургии, что позволяет снизить расход дорогостоящего инструмента за счет уменьшения количества переточек.

Применением различного вида энергетического воздействия для модифицирования вакуумных покрытий, получаемых методами PVD, PCVD, CVD возможно достичь синергетического эффекта увеличения

эксплуатационных характеристик. Данный эффект достигается путем применения гамма-излучения, термообработки, низкотемпературной и высокотемпературной плазмы, лазерного излучения.

Целью данной работы является изучение влияния низкотемпературной обработки на триботехнические характеристики вакуумных покрытий, формируемых методом плазмохимического осаждения.

В качестве объекта исследований использовали покрытия ZrCN. Данные соединения формировали на пластины из стали 40 X, 12X18H10T, HSS. Нанесение покрытий осуществлялось в вакуумной установке УВНИПА-1-001, оборудованной катодно-дуговым испарителем с системой электромагнитной фильтрации плазмы, а также ионным источником ИИ-4-0,15. Обработку покрытий в криогенной жидкости проводили в интервале от 30 до 1440 минут.

Особенности строения граничных слоев в композиционных материалах функционального назначения исследовали с привлечением современных методов: оптической, растровой электронной, атомно-силовой микроскопии, рентгеноструктурного анализа (ДРОН-2.0) по стандартным методикам. Режимы формирования вакуумных покрытий приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технологические параметры получения покрытий ZrCN

Напряжение смещения, В	Давление азота и ацетилена в вакуумной камере, Па	
	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$2,4 \cdot 10^{-2}$
-50	покрытие № 1	покрытие № 2
-100	покрытие № 3	–

Триботехнические исследования проводили на машине трения типа FT-2, которая работает по схеме возвратно-поступательного движения длина хода индентора от 5–50 мм в условиях сухого трения (контртела), выполненного из стали и отшлифованного на ровной плоской поверхности наждачной шкуркой или шлифовальной пастой до среднего арифметического отклонения профиля поверхности $R_a=0,1 - 0,3$ мкм.

Образцы закрепляли в зажиме машины трения, протирали тканью «бязь», отбеленной, смоченной в этиловом спирте, рабочую сферу и рабочую поверхность стального диска (контртела), после чего сушили две минуты при комнатной температуре. Испытания проводили при нормальной нагрузке на образец до 20 Н, линейной скорости скольжения 0,036 м/с, температуре поверхности образца (20 ± 5) °С.

Обработка в жидком азоте сформированного на металлическом субстрате покрытия ZrCN приводит к увеличению значений твердости

на 9 % – 30 % по сравнению с контрольным образцом. Данный эффект зависит как от времени выдержки в криогенной жидкости, так и от технологии формирования покрытий. Возможно, это обусловлено уменьшением размеров фаз, составляющих структуру данного покрытия, за счет термического удара которое испытывает покрытие при обработке в жидком азоте.

Применение нанокпозиционных тонкослойных покрытий на основе титана, циркония, хрома, а также их комбинаций обладают повышенными физико-механическими характеристиками по сравнению с другими поверхностными слоями металлов и их комбинаций, формируемых плазмохимическими способами. Установленным считается факт, что покрытия карбонитрида циркония обладают более высокой стойкостью к воздействию повышенных температур в сравнении с покрытиями нитрида, карбонитрида, карбида титана.

Установлено, что триботехнические характеристики композиционных покрытий на основе карбонитрида циркония существенно изменяются при проведении криогенной обработке. Показано, что при выдержке исследуемых покрытий ZrCN в жидком азоте наблюдается увеличение значений линейного износа у покрытий, полученных по процессам № 2 и № 3 (далее образец № 2, образец № 3), в сравнении с контрольным образцом. Обработка покрытия карбонитрида циркония, полученного согласно процесса № 1 (далее образец № 1), наблюдается увеличение коэффициента трения до значений ~0,52 и снижение значений линейного износа до 0,08 мкм по отношению к исходному образцу. Увеличение времени выдержки исследуемых покрытий в криогенной жидкости до 24 ч приводит к уменьшению значений коэффициента трения и линейного износа по отношению к контрольному образцу.

Морфологические исследования поверхности трения покрытий на базе ZrCN показывают меньшие размеры дорожек трения для модифицированных покрытий в криогенной среде по сравнению с контрольными образцами. Проведены натурные испытания сверл Ø3 мм из стали HSS с покрытием ZrCN, модифицированные при криогенной температуре. Установлено, что наибольшей износостойкостью обладают сверла с покрытием, выдержанные в жидком азоте в течение 24 ч.

Установлено, что осаждение покрытий ZrCN на поверхность стали 12X18H10T сглаживает исходный рельеф. В структуре покрытий карбонитрида циркония наблюдается наличие глобулярных образований, количество и размеры которых изменяются при криогенной обработке. Проведенные исследования показали повышенную стойкость покрытий ZrCN по отношению к действию серной кислоты, соляного тумана в сравнении с материалом субстрата.

Список использованных источников

1. Investigation into the Structure of TiN Single Layer and TiN/ZrN Multilayer Coatings / P. L. Zhuravleva [et al.] // Nanotechnologies in Russia. – 2010. – Vol. 5, No. 9–10. – pp. 669–675.

2. Xiaohon, Yao TIAN Linhai Impact Fatigue Behavior of ZrN/ZrN/Zr Coatings on H13 Steel by CFUBMSIP / Yao Xiaohon, Huo Huidan, Bao Mingdong // Journal of Wuhan University of Technology – Mater. Sci. Ed. – 2014. – p. 137–142.

УДК 620.197.5

В.В. Михайлов, Е.В. Овчинников, Т.И. Пинчук

Институт прикладной физики НАН Беларуси

Гродненский государственный университет им.Я.Купалы

Научно-исследовательский институт порошковой металлургии НАН Беларуси

НАНОКОМПОЗИЦИОННЫЕ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫЕ ПОКРЫТИЯ

Одним из перспективных способов повышения эксплуатационных характеристик изделий применяемых в машиностроении, агропромышленном комплексе является электроискровое легирование (ЭИЛ). Суть метода заключается в процессе осаждения расплавленного материала на обрабатываемую поверхность искровым электрическим разрядом. В ряде случаев расплавление материала достигается путем возникновения плазмы в искровом разряде, что существенно изменяет свойства формируемых слоев. Процесс расплавления и осаждения лигатуры происходит в воздушной и инертной газовой среде [1–3].

Формирование покрытий методом электроискрового легирования осуществляются на установках типа UR-121, ИМ101, SE-5.01.

Получение покрытий с низкими внутренними напряжениями может достигаться путем предварительного прогрева детали пламенем газовой горелки.

Цель данного исследования состояла в изучении структуры, физико-механических характеристик покрытий, получаемых методом электроискрового легирования.

В качестве образцов получали композиционные покрытия на стальном (40Х13) и титановом (ВТ6) субстрате. Режимы формирования покрытий, составы электродов приведены в таблице 1.

Триботехнические исследования проводили на машине трения типа FT-2, которая работает по схеме «палец-диск» в условиях сухого трения трех сферических образцов диаметром $D=1,5$ мм по плоской