

Список литературы

1. Гнесин Г.Г., Фоменко С.Н. Износостойкие покрытия на инструментальных материалах (обзор) // Порошковая металлургия. 1996. № 9-10. 172 с.
2. Свойства, получение и применение тугоплавких соединений. Справочник/ под ред. Косолаповой Т.Я. М.: Металлургия, 1986. 928 с.
3. Андриевский Р.А., Сливак И.И. Прочность тугоплавких соединений и материалов на их основе. Справочник. Ч.: Металлургия, 1989. 368 с.
4. Самсонов Г.В. Нитриды. К.: Наукова думка, 1969. 380 с.
5. Анищик В.М., Углов В.В., Злоцкий С.В., Емельянов В.А., Пономарь В.Н., Ухов В.А. Многослойные наноструктурированные покрытия TiN/ZrN: структура и механические свойства // Перспективные материалы. 2003. № 4. С. 75-78.
6. Musil J., Dohnal P., Zeman P. Physical properties and high-temperature oxidation resistance of sputtered Si₃N₄/MoN_x nanocomposite coatings // J. Vac. Sci. Technology. 2005. V. 23. № 4. P. 1568-1574.
7. Кунченко В.В., Кунченко Ю.В., Картимзов Г.Н., Неклюдов И.М., Мигаль А.А., Романов А.А., Гладких Н.Т., Крышталь А.П., Казаринов Ю.Г. Наноструктурные сверхтвердые покрытия пс-TiN/α-Si₃N₄, полученные методом вакуумно-дугового осаждения // Вопросы атомной науки и техники. 2006.–№ 4. С. 185-190.
8. Кунченко Ю.В., Кунченко В.В., Неклюдов И.М., Картимзов Г.Н., Андреев А.А. Слоистые Ti-Cr-N-покрытия, получаемые методом вакуумно-дугового осаждения // Вопросы атомной науки и техники. 2007. № 2. С. 203-214.
9. Холлек Х. Двойные и тройные карбидные и нитридные системы переходных металлов / Ред. Ю.В. Левинский. М.: Металлургия, 1988. 319 с.
10. Musil J., Daniel R., Zeman P., Takai O. Structure and properties of magnetron sputtered Zr- Si-N films with a high (≥25 at.%) Si content // Thin Solid Films. 2005. V. 478. P. 238-247.

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR DURABILITY AND CHEMICAL-RESISTANT COATINGS BASED ON QUATERNARY NITRIDE SYSTEM

Yeldar Zhakanbayev¹⁾, Valeriy Volodin¹⁾, Yuriy Tuleushev¹⁾, S. Zlotsky²⁾

¹⁾Institute of Nuclear Physics, Ibragimov, 1 St, Almaty, Republic of Kazakhstan, lab_ipt@mail.ru

²⁾Belarusian State University, Nezavisimosti ave., 4, Minsk, 220030, Belarus, uglov@bsu.by

In this paper the synthesis technology of protective coatings based on complex nitrides, by magnetron sputtering using the effect of thermal fluctuation point. As a result of this work is designed technological equipment, allowing to obtain a mixture of complex nitrides with four independent channels of spraying. Also developed cleaning argon nitrogen mixture supplied to the chamber, and the contactless drive system moving substrate within the chamber.

ВАКУУМНО-ДУГОВОЕ ПЛАЗМЕННО-АССИСТИРОВАННОЕ ОСАЖДЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ: ОБОРУДОВАНИЕ, СИНТЕЗ, СВОЙСТВА

Н.Н. Коваль^{1, 2)}, О.В. Крысина^{1, 2)}, В.В. Шугуров¹⁾

¹⁾Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭ СО РАН), пр. Академический, 2/3, Томск, 634055, Россия,

koval@opee.hcei.tsc.ru, krysina_82@mail.ru, shugurov@opee.hcei.tsc.ru

²⁾Национальный исследовательский Томский государственный университет, пр. Ленина, 32, Томск, 634050, Россия

Представлено ионно-плазменное оборудование для модификации поверхности материалов и изделий, а также для напыления покрытий в дуговых разрядах низкого давления. Показаны преимущества использования источника газоразрядной плотной плазмы на всех этапах формирования покрытий (очистка, нагрев, активация поверхности в плазме инертных газов; плазменно-ассистированное осаждение покрытий). Приведены примеры нанесения износостойких покрытий на конкретные изделия и характеристики этих покрытий.

Введение

Вакуумно-дуговой метод широко применяется для ионно-плазменной модификации поверхностного слоя материалов и изделий, а также синтеза функциональных покрытий [1-2]. Традиционный метод КИБ (конденсация с ионной бомбардировкой) подразумевает генерацию металлической плазмы при испарении материала катода катодным пятном и последующую конденсацию покрытия из плазмы дугового разряда при формировании металлических покрытий или при наличии в камере молекулярного реактивного газа – нитридных, карбидных, оксидных или других покры-

тий более сложного состава. Замена молекулярного газа на ионизированный приводит к интенсификации фазообразования, трансформации структуры покрытия в более мелкозернистую и к улучшению адгезии покрытия с подложкой. Очистка и активация подложек перед осаждением покрытий проходит обычно путем бомбардировки ускоренными в приповерхностном слое металлическими ионами при приложении потенциала ~1 кВ к подложке. Такая предварительная обработка поверхности образцов может приводить не только к очистке, нагреву и активации поверхности, но и изменению элементного и фазового состава

поверхностного слоя изделий, что не всегда допустимо. С этой точки зрения предварительная очистка и активация поверхности подложек ускоренными ионами инертных газов более привлекательна. Как на первом этапе (очистка и активация поверхности), так и на втором этапе (осаждение) процесса напыления покрытий перспективно применение источника газоразрядной плазмы. Тогда процесс очистки и активации будет проходить посредством плазмы инертного газа, а напыление покрытий возможно проводить в режиме плазменного ассистирования.

В данной работе представлено оборудование для ионно-плазменных процессов модификации поверхности и вакуумно-дугового нанесения покрытий с использованием источников газоразрядной и металлической плазмы, представлены примеры износостойких покрытий и их свойств, показаны преимущества и возможности данного ионно-плазменного оборудования.

Основная часть. Оборудование

Ионно-плазменная установка «КВИНТА» для модификации поверхности материалов и изделий и вакуумно-дугового плазменно-ассистированного осаждения покрытий [3] разработана, сконструирована и создана в лаборатории плазменной эмиссионной электроники ИСЭ СО РАН. Схема установки приведена на рисунке 1.

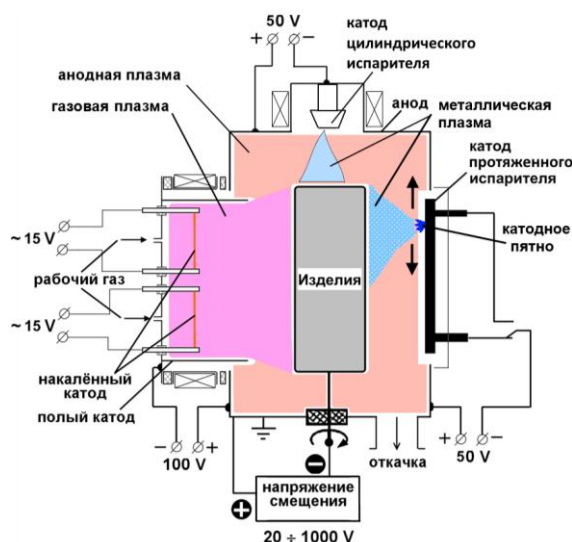


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

Установка оснащена тремя дуговыми испарителями с цилиндрическими катодами диаметром 80 и 100 мм, протяженным дуговым испарителем ДИ400 с катодом длиной 400 мм и протяженным плазменным источником с комбинированным накаливаемым и полым катодами ПИНК-П-04М с длиной рабочей зоны 400 мм. Обрабатываемые детали устанавливаются на изолированный от камеры стол с системой планетарного вращения деталей, на который может подаваться отрицательное напряжение смещения величиной до 1 кВ с помощью совмещенного блока подачи импульсного и стационарного отрицательного напряжения смещения. Его основными параметра-

ми в импульсном режиме являются величина отрицательного напряжения смещения U_b (0 – 1000 В), коэффициент заполнения импульса τ (10 – 90 %), частота следования импульсов f (10 – 50 кГц).

Благодаря оснащению ионно-плазменной установки плазменными источниками различной конфигурации с различными диапазонами рабочих параметров, возможно проведение независимых и комплексных процессов обработки металлических поверхностей в плазме дуговых разрядов низкого давления. Например, можно проводить очистку, нагрев и активацию поверхности в плазме инертных газов; азотирование или оксидирование в дуговых разрядах низкого давления; вакуумно-дуговое плазменно-ассистированное осаждение покрытий простого и сложного состава, моно- и многослойных, градиентных. Благодаря наличию протяженных источников газовой и металлической плазмы возможна модификация поверхности и напыление покрытий на крупногабаритные детали.

Осаждение ионно-плазменных покрытий обычно проводят, как многоэтапный процесс в едином вакуумном цикле. В случае вакуумно-дугового осаждения с плазменным ассистированием на первом этапе используется аргоновая плазма низкого давления ($n \sim 10^9 - 10^{11} \text{ см}^{-3}$) на основе несамостоятельного дугового разряда. С помощью ионов рабочего газа с энергией в интервале $\sim (100 - 1000) \text{ эВ}$ эффективно проводится очистка поверхности образцов ионно-плазменным травлением тонкого поверхностного слоя от оксидных пленок, диэлектрических включений и адсорбированных газов. На втором этапе производится нанесение вспомогательного подслоя ($n \sim 100 \text{ нм}$) для увеличения адгезии основного покрытия с подложкой. На третьем этапе - непосредственно синтез основного покрытия (3-5 мкм) при испарении материала катода дуговым разрядом с катодным пятном. Синтез покрытий вакуумно-дуговым методом на втором и третьем этапах осуществляется в режиме плазменного ассистирования при относительно низком давлении ($\sim 0.1 \text{ Па}$), т.е. конденсация покрытий происходит из смешанной газометаллической плазмы ($n \sim 10^{11} \text{ см}^{-3}$). При этом формируется покрытие плотной структуры (без внедрения атомов газа), а непрерывная бомбардировка растущего покрытия низкоэнергетическими ионами рабочего газа позволяет удалять с поверхности адсорбированный газ и измельчать структуру растущего покрытия.

Одной из отличительных особенностей используемого в работе метода вакуумно-дугового осаждения является использование композиционных катодов таких систем как Ti-Cu, Ti-Al, Ti-Si, Ti-Cr и др. Такие катоды получают спеканием порошков в вакууме или СВС-методом. Применение композиционных катодов позволяет получать поток смешанной плазмы по сравнению со случаем, когда одновременно испаряются нескольких одноэлементных катодов. Характеристики композиционных катодов с концентрацией дополнительного элемента $\leq 15 \text{ ат. \%}$ аналогичны или превосходят эксплуатационные свойства катодов из

сплава ВТ1-0, традиционно используемого для синтеза нитридититановых покрытий [4-5].

Примеры износостойких покрытий

Ниже приведено несколько примеров увеличения износостойкости конкретных деталей после осаждения покрытий вакуумно-дуговым плазменно-ассистированным методом на ионно-плазменном оборудовании, представленном в данной работе:

1. После нанесения на поверхность метчиков для глухого отверстия, изготовленных из быстрорежущей стали (Maykestag), покрытия TiN/Ti-Cu-N общей толщиной 3 мкм срок их службы увеличился, более чем в 4 раза.
2. Комплексная ионно-плазменная обработка (азотирование в дуговом разряде низкого давления и последующее нанесение покрытия Ti-Cu-N) на металлокерамические ножи для гранулирования пластмассы позволила увеличить срок их службы в 4,5 раза.
3. Осаждение многослойного покрытия TiN/Ti-Cu-N на твердосплавную торцевую фрезу позволило увеличить срок службы в 3 раза.
4. Благодаря использованию источника газоразрядной плазмы ПИНК удалось провести нанесение покрытий в отверстия воздушных сопел двигателей производства Омского машиностроительного конструкторского бюро, которые в процессе работы подвергаются пылевой эрозии. Показано, что покрытие проникает внутрь отверстия Ø 1,4 мм на расстояние, превышающее 6 мм. Измерение толщины покрытия показало, что на входе в отверстие она составила 4 мкм, на расстоянии 3 мм от торца сопла – 3 мкм, при минимально необходимой толщине в 2 мкм. На торце сопла толщина покрытия составила 12 мкм, при этом не наблюдалось его отслаивания.
5. Синтез многослойных покрытий TiN и Ti-Cu-N на поверхности ножа, выполненного из нержавеющей стали, позволило увеличить его стой-

кость при резании джутового каната диаметром 16 мм более, чем в 3 раза.

Заключение

В докладе описано ионно-плазменное оборудование для модификации поверхности материалов и изделий, а также для напыления покрытий в дуговых разрядах низкого давления. Приведены преимущества использования источника газоразрядной плотной плазмы на всех этапах формирования покрытий, таких как очистка, нагрев, активация поверхности в плазме инертных газов до напыления покрытия и плазменно-ассистированное осаждение покрытий. Представлено несколько примеров использования ионно-плазменного оборудования для упрочнения конкретных изделия и увеличения их срока службы после нанесения износостойких покрытий.

Работа выполнена частично за счет грантов РФФИ (№13-08-98108-р_сибирь_a, №14-08-00997-a).

Список литературы

1. Физические основы и математическое моделирование процессов вакуумного ионно-плазменного напыления / В.А. Барвинок, В.И. Богданович. М.: Машиностроение, 1999. 309 с.
2. Андреев А.А., Саблев Л.П., Шулаев В.М., Григорьев С.Н. Вакуумно-дуговые устройства и покрытия. Харьков: ННЦ ХФТИ, 2005. 236 с.
3. Kalushevich A.A., Koval N.N., Denisov V.V., Yakovlev V.V., Shugurov V.V. Automated vacuum ion-plasma installation. // Изв. ВУЗов. Физика. 2012. № 12/3. С. 118-122.
4. Pribytkov G.A., Korostelyeva E.N. et al. // Proceedings: VII Int. Conf. on Modification of Materials with Particle Beams and Plasma Flows, Tomsk, Russia, July 25-29, 2004, P.167-170.
5. Крысина О.В. // Материалы конференции «Материаловедение, технологии и экология в 3-м тысячелетии: Материалы IV Всероссийской конференции молодых ученых» (19-21 октября 2009 г. Томск: Изд-во ИОА СО РАН. С. 229-232.

PLASMA-ASSISTED VACUUM-ARC DEPOSITION OF WEAR-RESISTANT COATINGS: EQUIPMENT, SYNTHESIS, CHARACTERISTICS

Nikolay Koval^{1, 2}, Olga Krysina^{1, 2}, Vladimir Shugurov¹

¹Institute of High Current Electronics SB RAS, Russia 634055 Tomsk, 2/3 Akademicheskoy ave., koval@opee.hcei.tsc.ru, krysina_82@mail.ru, shugurov@opee.hcei.tsc.ru

²National Research Tomsk State University, Russia 634050 Tomsk, 32 Lenin ave.

The ion-plasma equipment for modification of materials and products surface and for coating deposition in arc low-pressure discharges. The advantages of a source of gas-discharge dense plasma for use at all stages of coating synthesis processes (cleaning, heating and activation of the specimen surface in plasma of inert gases; plasma-assisted deposition of coatings). The examples of wear-resistant coatings for products and characteristics of these coatings are given.