

УДК 621.793.79.002.5

В.В. Колесник, канд. техн. наук,  
В.П. Колесник, канд. техн. наук,  
С.Л. Абашин, канд. физ.-мат. наук

## **ФОРМИРОВАНИЕ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ПОКРЫТИЙ И ИХ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ**

Широкое использование вакуумных плазменных технологий является одним из наиболее перспективных путей повышения эффективности машиностроительного производства. К преимуществам вакуумных плазменных технологий относятся: возможность создания и обработки практически любых материалов; значительное уменьшение технологических цепей; возможность создания автоматизированных экологически чистых производств. Одной из основных проблем, которые не позволяют широко использовать вакуумные плазменные технологии, является отсутствие предложений плазменных генераторов для решения различных технологических задач.

Одной из важнейших задач вакуумных технологий является получение многокомпонентных покрытий.

В настоящее время для получения высококачественных многокомпонентных покрытий различного функционального назначения используется несколько методов формирования покрытий. Среди них наиболее распространенными являются: методы электронно-лучевого испарения; методы осаждения из плазмы дугового разряда и методы осаждения покрытий за счет ионного распыления (наиболее распространенным среди них является метод магнетронного распыления). Основными недостатками существующих систем при нанесении многокомпонентных покрытий являются: необходимость изготовления катодов из сплавов, соответствующих по компонентному составу формируемому покрытию; сложность и высокая стоимость изготовления многокомпонентных катодов; необходимость коррекции компонентного состава сплава, если в него входят химически активные элементы, которые реагируют с остаточной атмосферой в вакуумной камере. При переходе от одного состава покрытия к другому необходимо изготавливать катоды нового компонентного состава.

Разработанное в ХАИ оборудование и технологии получения многокомпонентных покрытий [1] позволяют устранить некоторые из перечисленных недостатков: формировать многокомпонентные многослойные покрытия сложного компонентного состава; управлять по заданной программе процентным содержанием химических компонентов, составляющих покрытие, в процессе его формирования.

Для демонстрации возможностей созданного оборудования было выбрано несколько вариантов многокомпонентных жаростойких покрытий. Формирование покрытий осуществлялось на полированные

подложки, изготовленные из меди. Материал подложки был выбран отличным от компонентов, составляющих сплав, для облегчения проведения рентгенофлуоресцентного и рентгеноспектрального микроанализов полученных покрытий.

Для проверки возможности сохранения и изменения химического состава формируемого покрытия в процессе осаждения было получено несколько вариантов покрытий. В первом варианте покрытие формировалось путём распыления многокомпонентного катода Co - (18...20%) Cr - (5...7%) Al - (0,3...0,4%)Y). Во втором варианте распылялся сплав Co-Cr-Al-Y с одновременным распылением алюминиевых катодов. В третьем варианте распылялся сплав Co-Cr-Al-Y с одновременным распылением катодов, изготовленных из алюминия и никеля.

Исследования полученных образцов проводились на электронном растровом микроскопе JSMT-300 с приставкой для рентгеноспектрального микроанализа (РСМА) «Phoenix» фирмы EDAX, США. Химический состав поверхности покрытия определяли рентгенофлуоресцентным методом на приборе EX-6500 фирмы BAIR, США.

Результаты рентгенофлуоресцентного анализа представлены в табл. 1. Набор химических элементов в сформированных покрытиях на каждом из образцов одинаковый, а концентрация их изменяется в заданном диапазоне в зависимости от определённого варианта покрытий. Также было выявлено наличие в сформированных покрытиях незначительного процентного содержания материала подложки. По мере роста покрытия процентное содержание материала подложки резко уменьшалось.

Таблица 1 – Результаты рентгенофлуоресцентного анализа образцов

Номер образца	Al	Cr	Fe	Co	Ni	Cu	Ti	Y	Zr
1	6.0	19.0	8.1	50.0	1.7	2.3	10.5	0.45	1.4
2	36.5	13.6	5.0	33.0	0.55	3.2	6.2	0.27	0.6
3	21.5	8.9	2.2	25.4	36.4	0.67	3.0	0.4	0.09

Анализ полученных результатов рентгеноспектрального микроанализа (РСМА) в режиме поточечного линейного сканирования покрытий на образцах позволяет сделать вывод о существовании переходного слоя между подложкой и покрытием. По результатам рентгеноспектрального микроанализа в режиме поточечного линейного сканирования установлено, что химический состав компонентов, составляющих покрытие по толщине равномерный; изменение

процентного состава отдельных компонентов сформированного покрытия происходит в соответствии с программой эксперимента. Для выявления технологических возможностей созданного оборудования были проведены эксперименты по формированию многослойных многокомпонентных покрытий. По результатам рентгеноспектрального микроанализа в режиме поточечного линейного сканирования видно, что сформировано многослойное покрытие. Процентное содержание химических элементов в сформированном покрытии соответствует порядку изменения основных и добавочных компонентов [2].

В результате проведенных экспериментов была предложена модель определения параметров технологического процесса формирования многокомпонентных покрытий, которая учитывает физические характеристики материалов, составляющих покрытие, геометрию катодов-мишеней и изменение плотности тока на них (для данного класса установок) [3].

Данная модель позволяет решать и обратную задачу, то есть, зная стехиометрический состав многокомпонентного покрытия, можно определить технологические параметры процесса его формирования (плотность тока на группы катодов-мишеней; приложенную к разряду разность потенциала; необходимую величину запирающего потенциала) [4].

Для определения возможности воспроизведения процентного состава компонентов многокомпонентного покрытия был проведен ряд экспериментов по формированию модельного многокомпонентного покрытия типа  $\text{MeCrAlY}$ . Состав покрытия:  $(50...55\%)\text{Ni} - (15...20\%)\text{Co} - (5...7\%)\text{Al} - (15...17\%)\text{Cr}$ . Формирование покрытия осуществлялось на полированные подложки, изготовленные из меди. Материал подложки был выбран отличным от компонентов, составляющих сплав, для облегчения проведения рентгенофлуоресцентного и рентгеноспектрального микроанализа полученных покрытий.

Схема эксперимента: на подложке формировали толстое покрытие путем послойного нанесения в течение конечного промежутка времени (перерыв между получением последующих слоев варьировался от 24 до 72 часов).

Исследование полученных образцов проводились на растровом микроскопе РЭМ – 101 с приставкой ЭДАР.

Проведен элементный анализ покрытий нескольких образцов. На рис. 1 показан снимок микрошлифа одного из образцов. На снимке четко видны слои сформированного покрытия. Количество слоев соответствует программе эксперимента.

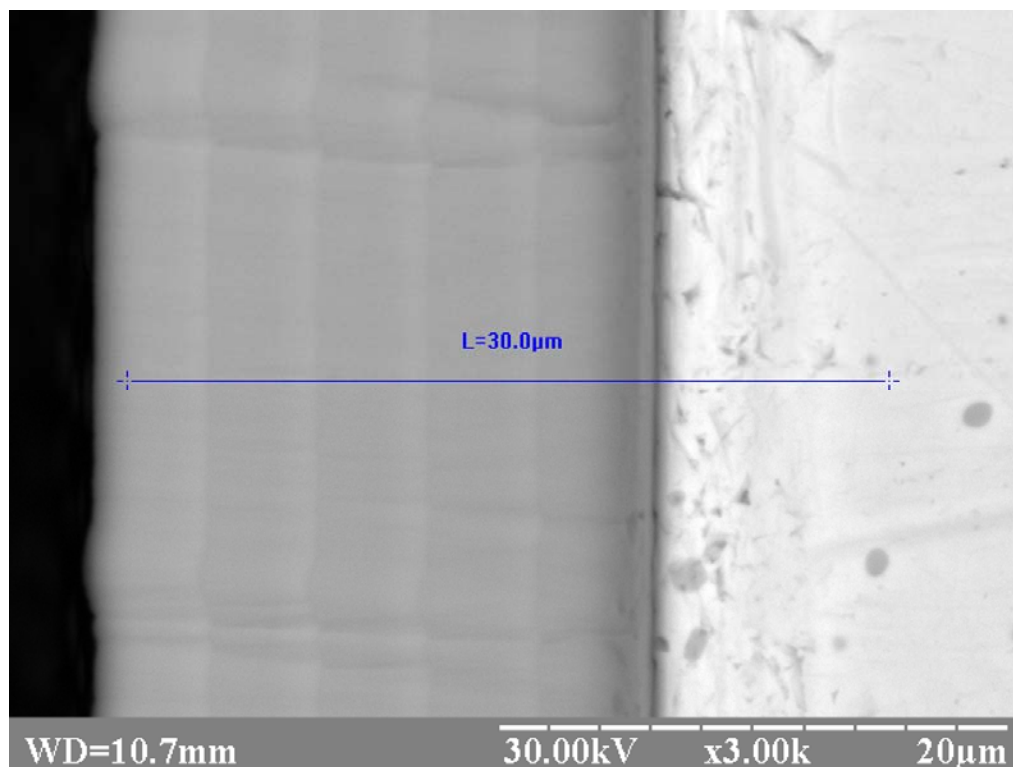


Рисунок 1 – Микрошлиф образца

Длина линии (с захватом слоев и основания) составляла 30 мкм, шаг – 1 мкм.

По результатам рентгеноспектрального микроанализа в режиме поточечного линейного сканирования установлено, что химический состав по толщине каждого слоя и покрытия в целом равномерный (см. рис. 2). Также наблюдается межслойная диффузия, что подтверждают плавные переходы от одного слоя к другому.

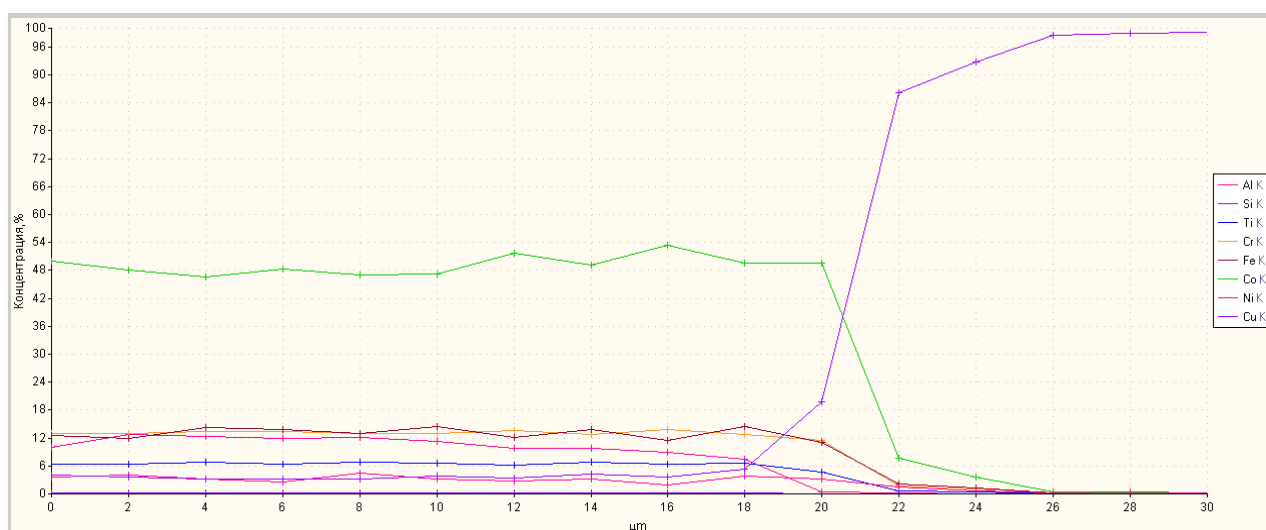


Рисунок 2 – Результаты рентгеноспектрального микроанализа

Полученные результаты показали преимущества разработанного в ХАИ оборудования для нанесения многослойных многокомпонентных покрытий перед применяемыми в производстве системами. Так как в отличие от уже существующих систем, где для получения многокомпонентных покрытий необходимо использовать катод из того же материала, разработанная система позволяет формировать покрытие путем совместного распыления катодов, изготовленных из компонентов, составляющих покрытие. Поэтому данная система может быть рекомендована к применению в машиностроении.

#### Список использованных источников

1. Иващенко, С.С. Нанесение многокомпонентных покрытий в квазимагнетронной установке [Текст] / С.С. Иващенко, В.В. Колесник, В.П. Колесник // *Авиационно-космическая техника и технология*: тр. ХАИ им. Н.Е. Жуковского. – Х.: Харьк. авіац. ін-т. – 1998. – С. 287 – 290.
2. Белан, Н.В. Методы нанесения многокомпонентных, многослойных покрытий на лопатки турбин [Текст]/ Н.В. Белан, В.В. Колесник, В.П. Колесник // *The 2-nd Korea-Ukraine Gas Turbine Technology Symposium*. August 25-26, 2005. – P. 77 – 88.
3. Формирование многослойных многокомпонентных защитных покрытий [Текст] / Н.В. Белан, В.В. Колесник, С.С. Иващенко и др // *Авиационно-космическая техника и технология*. – Х., 2004. – №7 (15). – С. 231 – 235.
4. Определение параметров технологического процесса формирования многокомпонентных покрытий [Текст] / Н.В. Белан, В.В. Колесник, В.П. Колесник и др. // *Авиационно-космическая техника и технология*. – Х., 2005. – № 8 (24). – С. 21 – 24.

*Поступила в редакцию 16.12.2013.*

*Рецензент: д-р техн. наук, проф. М.Е. Тараненко,  
Национальный аэрокосмический университет  
им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков.*