

ФОРМИРОВАНИЕ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ МНОГОСЛОЙНЫХ ЖАРОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ НА ЛОПАТКИ ГТД С ПОМОЩЬЮ ИОННОГО МАГНЕТРОНА

**В.В. Колесник, Н.В. Белан, С.С. Иващенко, В.П. Колесник, Д.В. Слюсарь,
П.Д. Жеманюк*, А.Н. Прокопенко***

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е.Жуковского

“Харьковский авиационный институт”

**ОАО “Мотор Сич”, (Запорожье)*

Украина

Поступила в редакцию 15.12.2003

Приведены результаты исследования установки [1] о возможности получения многослойных многокомпонентных покрытий с регулируемым процентным соотношением компонентов. Анализ полученных покрытий показал, что предложенный метод позволяет формировать многослойные многокомпонентные покрытия с управляемой стехиометрией в процессе его формирования.

ВВЕДЕНИЕ

Непрерывно возрастающие требования к качеству выпускаемых механизмов связаны с необходимостью повышения их точности, надежности, производительности, коэффициента полезного действия, которые определяются эксплуатационными свойствами их деталей и узлов (износостойкостью, усталостной прочностью, контактной жесткостью, коррозионной и эрозионной стойкостью и т.д.). Важнейшей задачей научно-технического прогресса является изыскание новых материалов и методов их обработки с целью использования их в современном машиностроении.

Одним из актуальных вопросов является вопрос разрушения деталей, работающих в тяжелых внешних условиях (повышенные температуры, вибрация, эрозия, коррозия и т.д.), и поиск путей увеличения стойкости применяемых материалов. Особенно остро стоят эти вопросы в современном авиадвигателестроении, где используются весьма дорогостоящие материалы для изготовления деталей газотурбинных двигателей, преждевременный износ которых приводит к ощутимым материальным затратам.

Анализ существующих методов обработки и защиты рабочих лопаток газотурбинных двигателей показал, что наиболее перспективным является метод нанесения защитных покрытий с помощью ионно-плазменной технологии. В настоящее время одной из важнейших задач вакуумных технологий является получение многокомпонентных покрытий. Однако при формировании конденсатов на основе многокомпонентных материалов возникает задача получения покрытий заданного состава.

ОБОРУДОВАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ЖАРОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ

Для формирования исследуемых покрытий использовалась установка [1], которая представляет собой вакуумный отсек, в котором расположены основные узлы генерации плазмы. Особенностью этой установки является то, что создание осесимметричного магнитного поля обеспечивается совмещением элементов вакуумной камеры с элементами магнитной системы. Полосами магнитной системы являются торцевые фланцы, изготовленные из магнитопроводящей стали. Обеспечение требуемой формы магнитного поля достигается магнитопроводящими цилиндрами, расположенными соосно с торцевыми фланцами и выступающими внутрь вакуумного отсека.

Цилиндрические водоохлаждаемые мишени располагались симметрично относительно оси системы и имели потенциал катода. В качестве распыляемого материала использовалась группа катодов-мишеней, изготовленных из сплава $\text{Co} - (18 \div 20) \% \text{Cr} - (5 \div 7) \% \text{Al} - (0,3 \div 0,4) \% \text{Y}$, а также мишени, изготовленные из алюминия и никеля. Электрическая схема подключения позволяла менять запирающий потенциал на катодах-мишенях в ходе проведения эксперимента. 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.

Распыление проводилось при давлении рабочего газа $P \sim 2$ Па и подводимой к разряду мощ-

ности 2,2 кВт, при этом на подложкодержатель подавался положительный постоянный потенциал $U_{\text{п}}$. Величина $U_{\text{п}}$ подбиралась экспериментально так, чтобы обеспечить максимальную скорость осаждения. Перед осаждением покрытия подложки подвергались ионной чистке.

Формирование многослойного покрытия было осуществлено в следующей последовательности:

- первоначально распылялся жаропрочный сплав CoCrAlY. На мишени из алюминия и никеля подан запирающий потенциал;
- второй слой покрытия формировался распылением всех мишеней, расположенных в вакуумной камере. Все катоды-мишени имеют одинаковый потенциал;
- третий слой формировался распылением мишеней, изготовленных из алюминия и никеля. На катоды, изготовленные из сплава CoCrAlY, подан запирающий потенциал;
- наружный слой покрытия формировался распылением алюминиевой мишени. Мишени из никеля и сплава находятся под запирающим потенциалом.

Исследования 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 VAIR, США.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ПОКРЫТИЙ

По результатам рентгенофлуоресцентного анализа (табл. 1) видно, что набор распыленных химических элементов присутствует в сформированном покрытии. Также было выявлено наличие в сформированном покрытии незначительного процентного содержания материала подложки. По мере роста покрытия процентное содержание материала подложки резко уменьшалось.

Таблица 1

Результаты рентгенофлуоресцентного анализа

№ образца	Al	Cr	Fe	Co	Ni	Cu	Ti	Y
5	70,5	2,8	10,9	1,2	8,0	0,8	5,9	0,06

Наличие посторонних примесей в покрытии вызвано конструктивными особенностями вакуумного отсека. Так, например, полюса магнитной системы изготовлены из магнитопроводящей стали, экраны, закрывающие изоляторы – из титана. Как видно из представленных результатов

(см. табл. 1), незначительному распылению подвергаются и элементы конструкции вакуумной камеры. Так как целью работы являлось определение возможности получения многокомпонентных покрытий с заданным процентным соотношением компонентов, то наличием примесей в покрытии, в данном случае, можно пренебречь. Однако для получения многокомпонентных покрытий без примесей необходимо изготавливать конструкционные элементы вакуумного отсека из материалов, составляющих покрытие.

Толщина сформированного покрытия $\sim 59,00$ мкм (рис. 1). Четкой границы между слоями нет, что можно объяснить следующим образом. В процессе распыления какой-либо группы катодов-мишеней на остальные мишени, находящиеся под запирающим потенциалом, осаждается часть распыляемого материала. При переключении запирающего потенциала происходит, в начальный момент времени, распыление материала, осажденного на эту группу катодов-мишеней, а затем распыление самих мишеней. Таким образом, формируется переходная зона между слоями.

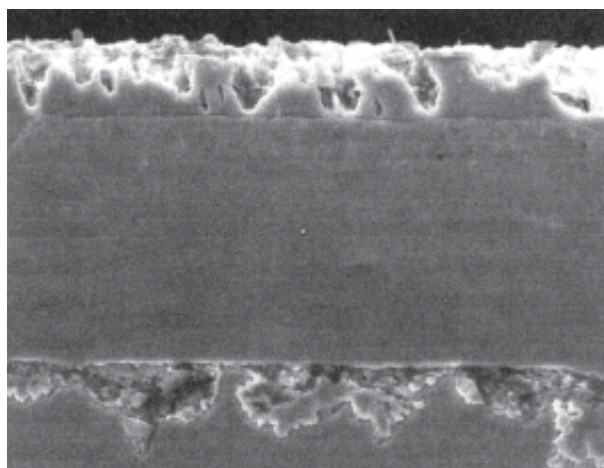


Рис. 1. Толщина многослойного многокомпонентного покрытия. Травление образца химическое в реактиве Марбля. Увеличение: $\times 640$.

Отмеченный эффект “перепыления” мишеней является благоприятным фактором для формирования многослойных покрытий. Однако исследуемая система позволяет получать многослойное покрытие с четкими границами между слоями. Для этого необходимо подобрать запирающий потенциал таким образом, чтобы на “запертых” мишенях не осаждался распыляемый материал.

Распределение химических элементов, полученное с помощью рентгеноспектрального микроанализа в режиме картирования, в пределах слоя равномерное (см. рис. 2) и свидетельствует о том, что сформировано многослойное покрытие. Процентное содержание кобальта и хрома по тол-

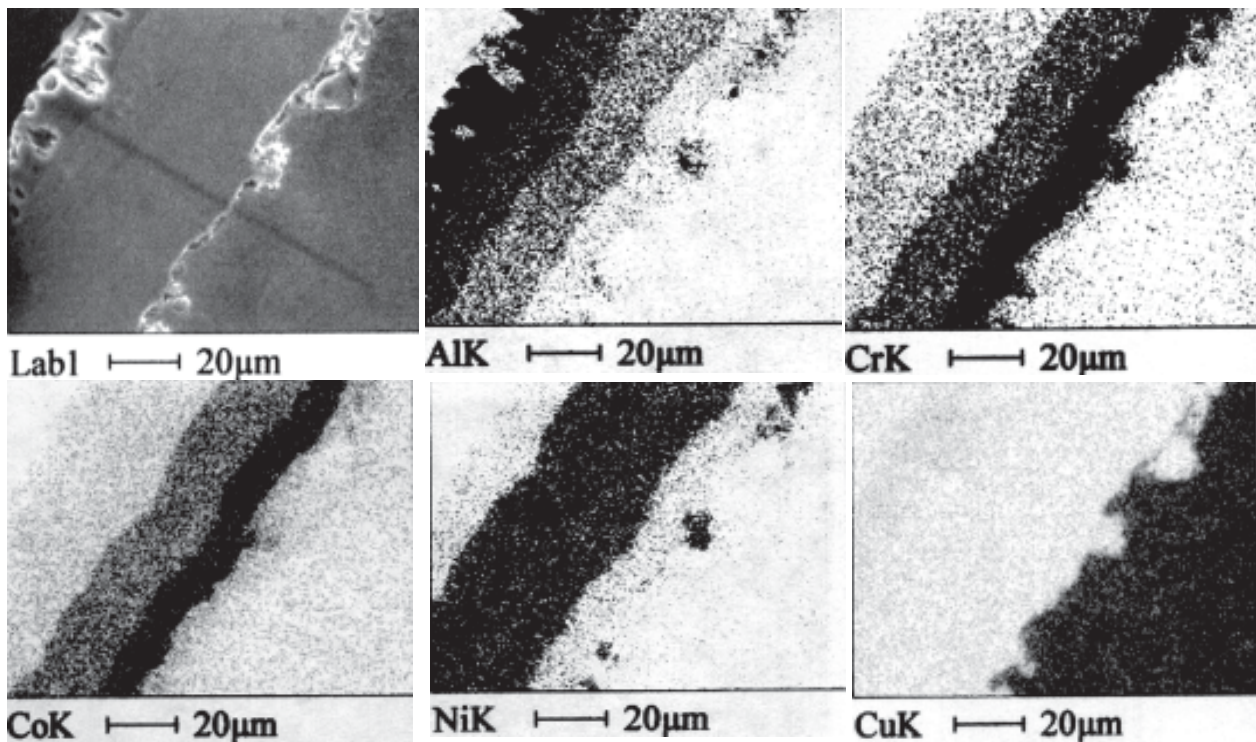


Рис. 2. Распределение химических элементов в режиме картирования.

щине покрытия заметно уменьшается, процентное содержание алюминия – увеличивается, а процентное содержание никеля сначала увеличивается, а затем снижается, что согласуется с ожидаемыми результатами. Таким образом, с помощью запирающего потенциала можно получать многослойные покрытия с регулируемым по толщине процентным соотношением химических элементов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ полученных покрытий позволил установить, что:

- покрытие плотное, грубой несплошности между покрытием и подложкой не обнаружено;
- исследуемая система позволяет получать многослойные многокомпонентные покрытия.

Полученные результаты показали преимущества применения исследуемой системы 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, предлагаемая система позволяет формировать покрытия любого стехиометрического состава путем совместного распыления катодов-мишеней, изготовленных из компонентов, составляющих покрытие. Поэтому данная система может быть рекомендована к применению в машиностроении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колесник В.В., Падалка В.Г., Лунев И.В. Исследование процессов генерирования ионных потоков в ионном магнетроне // *Авиационно-космическая техника и технология: Сб. науч. трудов. Харьков: Гос. аэрокосмический ун-т "ХАИ". – 1999. – Вып. 12. – С. 58-61.*

ФОРМУВАННЯ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ БАГАТОШАРОВИХ ЖАРСТОЙКИХ ПОКРИТТІВ НА ЛОПАТКИ ГТД ЗА ДОПОМОГОЮ ІОННОГО МАГНЕТРОНА

В.В. Колесник, М.В. Белан, С.С. Івашченко,
В.П. Колесник, Д.В. Слюсар,
П.Д. Жеманюк, О.М. Прокопенко

Наведені результати дослідження установки [1] про можливість отримання багатослоєвих багатоконпонентних покриттів з регульованим відсотком компонентів. Аналіз отриманих покриттів показав, що запропонований метод дозволяє формувати багатослоєві багатоконпонентні покриття з керованою стехіометрією в процесі його формування.

FORMATION OF MULTICOMPONENT MULTILAYER HEAT-RESISTANT COATINGS ON TURBINE BLADES WITH ION MAGNETRON

V.V. Kolesnik, N.V. Belan, S.S. Ivaschenko,
V.P. Kolesnik, D.V. Slyusar,
P.D. Zhemanyuk, A.N. Prokopenko

The results of research into an opportunity of obtaining multilayered multicomponent coatings with an adjustable percentage of components are presented. The analysis of the coatings obtained has shown that the study method – allows to form multilayered multicomponent coatings with controlled stoichiometry during their deposition.