

УДК 621.785:629.73

ВАКУУМНЫЕ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК ИНСТРУМЕНТ СОЗДАНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ МНОГОСЛОЙНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

В. Г. Дашкевич, П. С. Мышкевич, А. В. Дылевский

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Разработаны направления совершенствования повышения качества покрытий и минимизации недостатков вакуумных ионно-плазменных технологий, которые являются незаменимым инструментом в создании покрытий для аэрокосмической отрасли.

Ключевые слова: долговечность, покрытие, ионно-плазменные технологии, электродуговой метод, авиация, ракетно-космическая техника.

VACUUM ION-PLASMA TECHNOLOGIES AS A TOOL FOR CREATING SPECIAL MULTILAYER COATINGS FOR AEROSPACE APPLICATIONS

V. G. Dashkevich, P. S. Myshkevich, A. V. Dylevsky

Belarusian National Technical University, Minsk

The article presents approaches to improving coating quality and minimizing the disadvantages of vacuum ion-plasma technologies, which are an indispensable tool for creating coatings for the aerospace industry.

Keywords: durability, coating, ion-plasma technologies, electric arc method, aviation, rocket and space technology.

В условиях, предъявляемых к современным аэрокосмическим конструкциям, особое значение приобретает надежность и долговечность деталей, работающих в экстремальных условиях. Плазменное нанесение и упрочнение покрытий относится к числу прогрессивных технологий, позволяющих многократно повышать эти характеристики. Основная цель таких технологий – обеспечение высокой износо- и коррозионной стойкости поверхностей деталей [1].

Вакуумные ионно-плазменные технологии представляют собой мощный инструмент для формирования специальных покрытий, которые могут быть многослойными или наноструктурированными и удовлетворять жестким требованиям авиации и ракетно-космической техники [2, 3].

Ионно-плазменное напыление в условиях вакуума является ключевым методом получения покрытий для ответственных применений. Технология дает хороший результат для электроники, медицины, химических производств. Также один из популярных вариантов кроме вышеуказанного – электродуговой метод. При этом методе покрытия выращиваются из плазменного потока, состав которого оказывает существенное влияние на структуру и конечные свойства покрытия [2].

Ключевым фактором, влияющим на качество вакуумных ионно-плазменных покрытий, является состав плазменного потока. В частности, при электродуговом методе в потоке присутствует капельная фаза. Ее наличие приводит к ухудшению трибологических свойств (антифрикционных и износостойких) покрытий, особенно из нитридов и карбидов, которые часто используются в аэрокосмической отрасли [2].

Для повышения качества покрытий и минимизации недостатков технологии разработаны следующие направления совершенствования:

1. Разделение плазменного потока: предлагаются новые конструкции в виде генератора-сепаратора плазменного потока, который позволяет существенно снизить содержание микрокапельной фазы при формировании покрытий.

2. Оптимизация параметров: для технологии ионно-плазменного напыления перспективным направлением является импульсная модуляция тока дуги, которая позволяет контролировать термofизические параметры потока.

3. Создание наноструктур: использование ионно-плазменных технологий для получения наноструктурированных углеродсодержащих покрытий открывает возможность создания материалов с уникальными свойствами для снижения трения и повышения прочности [4].

Специальные покрытия для аэрокосмического применения часто требуют не только высокой прочности, но и сочетания различных функциональных свойств (например, теплозащита, эрозионная стойкость, низкий коэффициент трения). Для достижения этого применяются следующие подходы:

1. Многослойные архитектуры: комбинирование слоев из различных материалов (например, нитридов, карбидов, углеродсодержащих соединений) в многослойные структуры позволяет достичь синергетического эффекта, повышая общую трещиностойкость и долговечность покрытия.

2. Создание комплексной слоистой структуры достигается, как правило, комбинированным упрочнением, т. е. используются способы последовательного упрочнения. Эти способы могут быть силовыми (например, обкатка роликом), термическими, термосиловыми, комбинированными (сочетание различных высокоэнергетических воздействий).

Использование вакуумных ионно-плазменных технологий с эффективным контролем качества плазменного потока в сочетании с методами последующего упрочнения, позволяет создавать специальные покрытия, отвечающие строгим требованиям авиации и ракетно-космической техники.

Вакуумные ионно-плазменные технологии являются незаменимым инструментом в создании покрытий для аэрокосмической отрасли. Постоянное совершенствование, направленное на устранение дефектов (таких как капельная фаза) и формирование наноструктурированных и многослойных систем, обеспечивает прогресс в повышении износостойкости, коррозионной стойкости и, как следствие, общей надежности критически важных деталей машин.

Л и т е р а т у р а

1. Никонов, В. О. Анализ способов упрочнения плазменных покрытий / В. О. Никонов, А. М. Кадырметов, В. И. Посметьев // Воронежский научно-технический вестник. – 2014. – Т. 4, № 4 (10). – С. 140–149.
2. Богданович, В. И. Повышение качества вакуумного ионно-плазменного покрытия, полученного электродуговым методом / В. И. Богданович, Д. Р. Попов // Вестник молодых ученых и специалистов Самарского университета. – 2020. – № 1 (16). – С. 12–16.
3. Трифонов, С. А. Ионно-плазменные модули для получения наноструктурированных углеродсодержащих покрытий : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.27.02 / Трифонов Сергей Александрович. – СПб, 2017.
4. Перспективные направления совершенствования технологии плазменного напыления с импульсной модуляцией тока дуги / А. М. Кадырметов, Е. В. Снятков, А. А. Плахотин [и др.] // Воронежский научно-технический вестник. – 2022. – Т. 1, № 1 (39). – С. 3–14.