

УДК 629.735

**В.П. КОЛЕСНИК, Н.П. СТЕПАНУШКИН, А.О. ГАРИН, В.В. КОЛЕСНИК,  
Д.В. СЛЮСАРЬ, А.В. ИСАКОВ***Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина***ПРИМЕНЕНИЕ АВТОНОМНЫХ ИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ  
ДЛЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ  
ЛОПАТОК ГАЗО-ТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

*Рассмотрена возможность использования автономных ионных источников на базе плазменного ионного ускорителя в качестве источника ионов для очистки лопаток. Показаны параметры потока и возможность создания потока ионов с заданными параметрами плотности и энергии частиц. Проведены эксперименты по очистке поверхности реального изделия – лопатки газотурбинного двигателя. Показано, что в процессе очистки поверхностей, имеющих неоднородное распределение фаз, наблюдается преимущественное травление. Сделан вывод о возможности использования данного типа автономного ионного источника для очистки поверхностей лопаток газотурбинного двигателя.*

**Ключевые слова:** ионный поток, источник ионов, распыление поверхности, адгезия, исследование поверхности.

**Введение**

Увеличение длительности работы ГТД связано с длительностью работы лопаток. Одним из способов увеличения цикла работы является нанесение защитных покрытий. Перспективными покрытиями являются те покрытия, которые защищают лопатки от воздействия высоких температур и предотвращают сульфидную и оксидную коррозию. Одним из них являются жаростойкие, применение которых является экономически оправданными для защиты деталей транспортных и энергетических машин, работающие в тяжелых внешних условиях (повышенные температуры, вибрация, эрозия, коррозия и т.д.) [1].

На этапе технологического процесса нанесения покрытия на основу требуется предварительная подготовка поверхности, с целью увеличения адгезии покрытия с поверхностью детали. Хотя стоит заметить, что любая из существующих подготовок поверхности изделия оказывает влияние на шероховатость нанесенного покрытия и величину возникающих остаточных напряжений.

Способы подготовки поверхности зависят от материала (углеродистая сталь, нержавеющая сталь), типа покрытия (состав, толщина), ограничения по применению и использования определенных методов технологической обработки изделий перед нанесением покрытий. Наиболее применяемые методы обработки поверхности детали ЛА: механические, термические, химические, электрические методы финишной, а также комбинированные.

Качество поверхностного слоя оценивается геометрическими и физико-механическими параметрами. Так в работах [2, 3] исследованы образцы с поверхностями 4-го, 6-го и 12-го классов шероховатости после механических видов обработки. На каждом из них наблюдались дефекты в виде микрочастиц и “наволакивания” материала после обработки. Так же они наблюдались и при обработке притирами и мелкозернистыми абразивными кругами [3].

Кроме того, на поверхности детали могут присутствовать загрязнения, которые зависят от предыстории той или иной детали, то есть от условий их изготовления, хранения и транспортирования. Так, например, при механических методах обработки для уменьшения контактной температуры применяются принудительное охлаждение контактной зоны смазывающе-охлаждающими жидкостями (СОЖ). Вследствие этого, СОЖ через дефекты может проникнуть вглубь материала изделия [4].

На рис. 1 показана поверхность лопатки, полученная в отраженных электронах на растровом электронном микроскопе РЭМ-106. На ней при детальном рассмотрении наблюдаются следы обработки от абразивного круга (направленные микро царапины) и частички абразива (на рисунке высвечиваются белым цветом), наличие которых может привести к образованию дефекта в покрытии.

Таким образом, качественная адгезия может быть получена только после удаления загрязнений и дефектного слоя на поверхности лопаток газотурбинного двигателя.

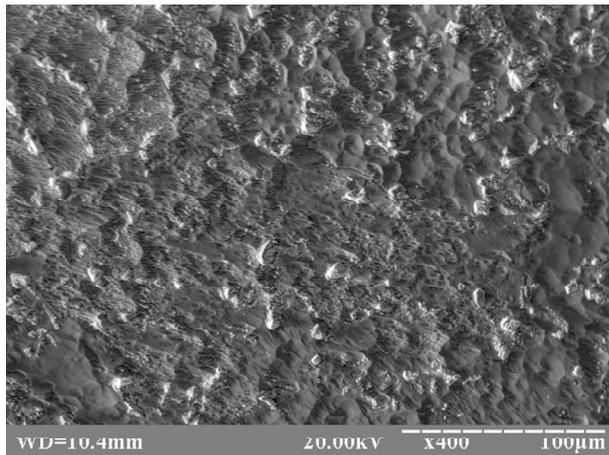


Рис. 1. Поверхность после  
чернового шлифования

## 1. Схема эксперимента

Наиболее целесообразно перед нанесением покрытий в вакууме на современном этапе развития производства и изготовления деталей авиационных двигателей удалить загрязнения и дефектный слой на поверхности детали потоком ионов инертного газа с помощью автономного источника ионов (АИИ). В качестве такого типа источника АИИ может служить разработанный и испытанный в НАУ «ХАИ» технологический плазменный ионный ускоритель (ПИУ) [5] с радиальным магнитным полем и сферическими электродами ионно-оптической системы.

Схема ускорителя представлена на рис. 2.

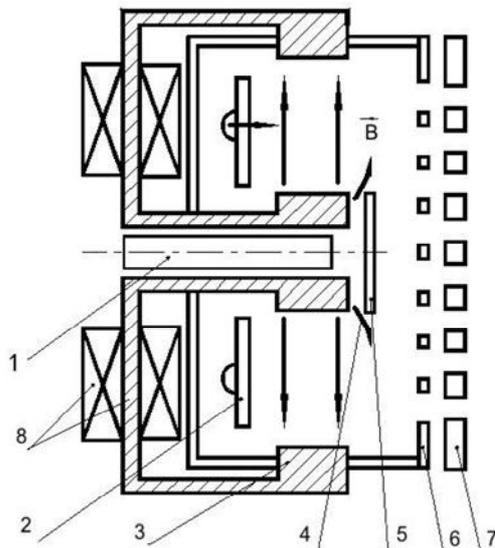


Рис. 2. Технологический плазменный ионный ускоритель с радиальным магнитным полем.

1- катод, 2- анод, 3 – газоразрядная камера, 4- катодная щель, 5- отражатель, 6 – экранный электрод, 7 – ускоряющий электрод, 8 – магнитная система

Газоразрядная камера (3) представляет собой цилиндр из нержавеющей стали, на котором укреплены остальные узлы ускорителя. Магнитная система (6) выполнена из шести радиальных магнитопроводов с катушками, замкнутых на периферийный и центральный полюсные наконечники. Анод выполнен в виде диска с коллектором, через который подаётся в газоразрядную камеру основной расход рабочего тела. В ускорителе применён газоразрядный полярный катод, установленный в центральном полюсном наконечнике. В газоразрядном полярном катодном эмиттере электронов используется вставка, выполненная из высокоэмиссионного материала  $LaB_6$ . Для запуска катода и поддержания стабильного разряда в ГРПК используется вольфрамовый нагреватель. За катодом (по потоку) устанавливается отражатель (5), образующий вместе с центральным полюсным наконечником катодную щель (4), через которую электроны из прикатодной плазмы поступают в объём газоразрядной камеры.

Ионно-оптическая система представляет собой узел, состоящий из трёх электродов: экранного (6), ускоряющего (7) и замедляющего.

Разработанная ионно-оптическая система является поджатой, то есть такой, у которой диаметр отверстий в экранном электроде больше, чем в ускоряющем. Ионно-оптическая система данной конструкции может работать при меньших расходах рабочего газа при одном и том же ионном токе.

## 2. Результаты эксперимента

Эксперимент проводился на серии лопаток из 4 штук. Турбинные лопатки, геометрические размеры которых высота 40-60 мм, ширина 20-25 мм, изготовлены из литейного жаропрочного никелевого сплава ЖС6У-ВИ, для которого является характерным наличие различных фаз в структуре. Плотность ионного тока составляла около  $4 \text{ mA/cm}^2$ , энергия частиц – 1,6 кэВ. Лопатка располагалась на расстоянии 200 мм от источника.

На рис. 3 представлены результаты измерений плотности тока вдоль мишени при помощи зонда Ленгмюра.

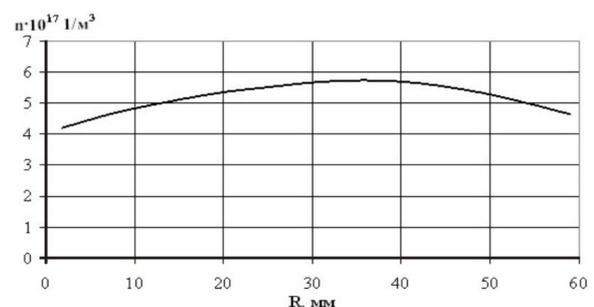


Рис. 3. Результаты измерений плотности тока АИИ ПИУ вдоль мишени

Лопатки располагались в зоне более равномерного распределения плотности потока.

На чистку поверхности потоком ионов аргона лопатка поступила после этапа шлифования. Исследования поверхностей лопаток проводились на растровом электронном микроскопе РЭМ-106

На рис. 4 показана обработанная потоком ионов аргона поверхность лопатки (справа - не обработанная, посередине - переходная и слева - обработанная зона).

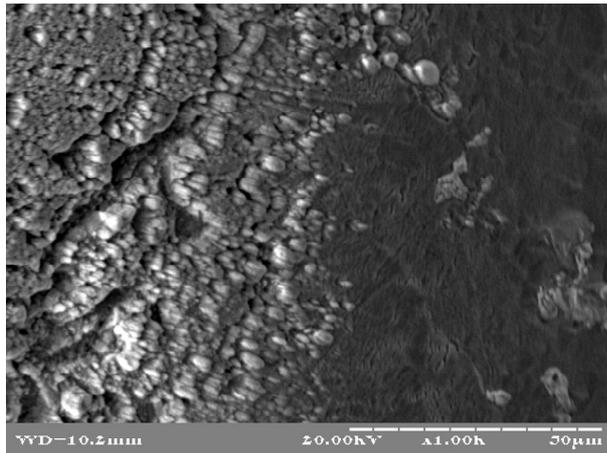


Рис. 4. Поверхность лопатки до (справа) и после (слева) обработки потоком ионов аргона

На переходной зоне наблюдалось вскрытие дефектов в материале. Это связано с тем, что на лопатке могли присутствовать дефекты типа пористости (превосходящая допустимую норму), не удовлетворяющая макроструктура (размер зерна), наличие металлургических дефектов типа неслитин и отклонение химического состава от требований ТУ, что и привело, на наш взгляд, к наличию на поверхности фаз или включений, обладающих различными коэффициентами распыления. То есть наблюдалось травление преимущественно фаз и включений с большим коэффициентом распыления.

Для проверки данного утверждения было произведено контрольное распыление (при тех же технологических параметрах) поверхности образца из материала Х18Н9Т (рис. 5). Исследования поверхности образца так же проводились на растровом электронном микроскопе РЭМ-106.

На контрольном образце (рис. 4) наблюдалось более равномерное распыление, при этом дефектов в переходной зоне выявлено меньше, что свидетельствует о более однородной структуре материала образца [6, 7].

При анализе полученных результатов сделаны следующие выводы:

Были выявлены неоднородности структуры материала образца, которые можно интерпретировать

или как наличие различных фаз в структуре (обладающие различными коэффициентами распыления).

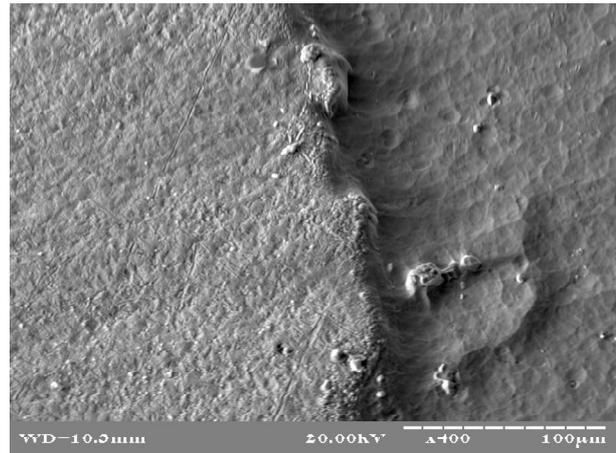


Рис. 5. Поверхность образца из материала Х18Н9Т до (справа) и после (слева) обработки потоком ионов аргона

Наблюдалось увеличение фактической площади поверхности, которая может способствовать увеличению площади контакта между покрытиями и подложкой, что как следствие увеличит величину адгезии [7].

## Заключение

Таким образом, ионный поток, генерируемый автономным ионным источником ПИУ, позволяет:

- 1) снять загрязнения и дефектный слой с поверхности деталей ГТД;
- 2) при соответствующем построении технологического процесса, при котором осуществляется непрерывный переход от очистки к напылению покрытий на поверхность лопатки, позволяет получить более высокую адгезию между покрытием и подложкой.
- 3) обеспечивать необходимый температурный режим на поверхности лопатки, при правильно выбранных интервалах энергий ионов аргона в пучке, плотности частиц и времени обработки.

## Литература

1. Изготовление деталей ГТД из титановых сплавов / В.А. Богуслаев, А.И. Долматов, П.Д. Жеманюк, А.Ф. Горбачев, В.С. Кривцов. – Запорожье: Дека, 1997. – 276 с.
2. Контроль процессов травления материалов в низкотемпературной газоразрядной плазме / Б.С. Данилин, В.Ю. Киреев, В.А. Каплин, Э.М. Врублевский // Приборы и техника эксперимента. – 1982. – №1. – С. 149.
3. Плешивцев Н.В. Катодное распыление / Н.В. Плешивцев. - Атомиздат, 1968. – 347 с.

4. Данилин Б.С. Применение низкотемпературной плазмы для нанесения тонких пленок / Б.С. Данилин. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 328 с.

5. Слюсарь Д.В. Использование плазменного ионного ускорителя для обработки поверхностей / Д.В. Слюсарь, В.П. Колесник, О.В. Жорник // *The 2nd Korea-Ukraine Gas Turbine Technology Symposium*. - August 25-26, 2005. – P. 89-94.

6. Ройх И.Л. Нанесение защитных покрытий в вакууме / И.Л. Ройх, Л.Н. Колтунова, С.Н. Федосов. – М.: Машиностроение, 1976. – 367 с.

7. Каминский М. Атомные и ионные столкновения на поверхности металла: пер. с англ. / М. Каминский. - М.: Мир, 1967. – 508 с.

Поступила в редакцию 8.04.2011

**Рецензент:** д-р физ.-мат. наук, проф. кафедры аэрокосмической теплотехники А.В. Бастеев, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина.

#### ЗАСТОСУВАННЯ АВТОНОМНИХ ІОННИХ ДЖЕРЕЛ ДЛЯ ПОПЕРЕДНЬОГО ОЧИЩЕННЯ ПОВЕРХОНЬ ЛОПАТОК ГАЗО-ТУРБІННИХ ДВИГУНІВ

*В.П. Колесник, Н.П. Степанушкін, А.О. Гарін, В.В. Колесник, Д.В. Слюсар, А.В. Исаков*

Розглянуто можливість використання автономних іонних джерел на базі плазмового іонного прискорювача в якості джерела іонів для очищення лопаток. Показані параметри потоку та можливість створення потоку іонів із заданими параметрами щільності та енергії частинок. Проведено експерименти з очищення поверхні реального виробу-лопатки газо- турбінного двигуна. Показано, що в процесі очищення поверхонь, що мають неоднорідний розподіл фаз, спостерігається переважно травлення. Зроблено висновок про можливість використання даного типу автономного іонного джерела для очищення поверхонь лопаток газо- турбінного двигуна.

**Ключові слова:** іонний потік, джерело іонів, розпорощення поверхні, адгезія, дослідження поверхні.

#### A STAND-ALONE ION SOURCES FOR PRE-SURFACE CLEANING BLADE GAS TURBINE ENGINE

*V.P. Kolesnik, N.P. Stepanushkin, A.O. Garin, V.V. Kolesnik, D.V. Slusar, A.V. Isakov*

The possibility of using independent ion sources based on plasma ion accelerator as an ion source for cleaning the blades. Shows the flow parameters and the ability to create a stream of ions with a given density and energy of the particles. Experiments on surface cleaning of the real product - blades of gas turbine engine. It is shown that in the process of cleaning surfaces that have non-uniform distribution of phases, there is preferential etching. The conclusion about the possibility of using this type of independent ion source for cleaning the surfaces of blades of gas turbine engine.

**Key words:** ion flux, ion source, sputtering surface adhesion, a study of the surface.

**Колесник Владимир Петрович** – канд. техн. наук, доцент кафедры двигателей и энергетических установок летательных аппаратов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: v.kolesnik@khai.edu.

**Степанушкін Николай Петрович** – старший научный сотрудник кафедры двигателей и энергетических установок летательных аппаратов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.

**Гарин Андрей Олегович** – научный сотрудник кафедры технологии и производства летательных аппаратов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.

**Колесник Валерий Владимирович** – канд. техн. наук, старший научный сотрудник кафедры двигателей и энергетических установок летательных аппаратов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.

**Слюсарь Денис Витальевич** – научный сотрудник кафедры двигателей и энергетических установок летательных аппаратов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: begemot@d4.khai.edu

**Исаков Алексей Владимирович** - инженер кафедры двигателей и энергетических установок летательных аппаратов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.