

УДК 338.984

**ИОННО-ПЛАЗМЕННЫЕ ПОКРЫТИЯ ЛОПАТОК ТУРБИНЫ  
ION-PLASMA COATINGS OF TURBINE BLADES**

В.Р. Бежелев, В.А. Желенков

Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

V. Bezhelev, V. Zhelenkov

Supervisor – N. Pantelei, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** В данной статье рассмотрим ионно-плазменный метод покрытия и подробно описан принцип работы ионно-плазменных устройств и основные преимущества.

**Abstract:** In this article we will consider the ion-plasma coating method and describe in detail the operating principle of ion-plasma devices and their main advantages.

**Ключевые слова:** лопатка, покрытие, температура, материал.

**Keywords:** blade, coating, temperature, material.

**Введение**

Лопатки являются неотъемлемой частью газовых и паровых турбин. Они испытывают предельные условия, а именно: критическую-высокую температуру перегретого пара, механическая нагрузка, коррозионные и эрозионные воздействия и т.д. Эти все условия определяют надежность лопаток, что в свою очередь повышает эффективность самой турбины. Гарантия надежности обеспечивается еще на этапе производства лопаток и добивается путем общепринятых методов обработки и покрытий, сварке стеллитовых пластин. Но все эти методы, на нынешние реалии, стали не так эффективны. Опыты нам показали, что наиболее надежным методом является нанесение на поверхность лопаток пучков заряженных частиц: электронных, плазменных, ионных и т.д.

**Основная часть**

Чаще всего для предотвращения эрозии выходных кромок рабочих лопаток используют способ напайки стеллитовых пластинок. Для этого применяется серебряный припой ПСр45, которые гарантируют надежное крепление стеллита к лопаткам. Стеллитовые напайки приводят к изменению аэродинамической формы профиля выходных кромок лопатки и увеличивают центробежные силы на рабочую лопатку [1].

Ионно-плазменные покрытия или покрытия плазменного напыления это наиболее надежный метод покрытия лопаток, который служит для увеличения прочности и производительности лопаток и защиты от каплеударной эрозии и от жаростойкости [2].

Для осуществления ионно-плазменного покрытия лопаток необходимо осуществить следующие определенные этапы:

- Начальная подготовка. Нужно максимально очистить поверхность лопатки от внешних загрязнений, масел, осуществить шлифовку для исключения микротрещин или впадин и сделать поверхность идеально

ровной. Также может использоваться ультразвуковая очистки. Но в определенных случаях на поверхности лопатки создаются специальные параметры шероховатости ( $R_a$ , мкм), с помощью которых происходит повышение адгезии. Перед помещением в вакуумную камеру образец должен пройти полировку в установке ЭПП-100, которая основывается на полировке коррозионно-устойчивых металлов (титан  $Ti$ , никель-хромовые стали  $NiCr$ ). Рассмотрим принцип работы установки ЭПП-100 (рисунок 1). В данной установке применяется электролитный раствор, который нужен для упрощения полировки. Полируемый предмет должен соединиться с анодом, одновременно с ним катод опускают в раствор электролита. За счет возникновения высокого напряжения между катодом и анодом, установка генерирует плазму вокруг полируемого предмета. Созданная плазма позволяет лучше и контролируемо удалять изъяны с поверхности. Плазменный разряд также позволяет интенсифицировать адгезию покрытий. Немало важное значение имеют устройства контроля за температурой раствора электролита, поддержание которой имеет первоочередное значение для осуществления нужного результата полировки. В установку встроены средства безопасности: кнопка немедленной остановки, контроль температуры электролита и необходимый уровень вентиляции. По итогу у полируемого материала наблюдается уменьшения шероховатости полируемой поверхности образца. Время полировки варьируется от 5 до 20 минут. У ЭПП есть два режима работы: автоматический и ручной. Для технической обработки используется ручной режим. Перед тем как отправить заготовку в вакуумную камеру необходимо промыть её изопропиловым спиртом.



Рисунок 1 – Установка ЭПП-100

- Наладка вакуумной камеры. Процедура подготовки для нанесения ионно-плазменного покрытия на заготовки происходит в вакуумной камере, которая играет важную роль для осуществления всего этого цикла. Данная камера необходима для полного исключения попадания различного рода загрязнений и создание искусственной управляемой среды. Принцип работы вакуумной камеры рассмотрим на основе установки “Гефест”, которая показана на рисунке 3. Нанесение самих покрытий происходит непосредственно в вакуумной камере, в котором с помощью специального оборудования создается вакуум с давлением 0,01 до 10 Па. Изготовки внутри этой камеры подвешиваются к специальному приспособлению, которое, для равномерного нанесения необходимого материала на все стороны поверхности изготовки, производит вращающиеся движения. Размеры камеры составляют: 1295 мм в высоту и 890 мм диаметром и имеет вид цилиндра. Вакуум создается с помощью определенного переходного модуля, которая соединяет камеру и систему откачки, которые, в свою очередь, представляют собой насосы и за счет этого происходит планомерная откачка по всей площади. Данная камера оборудована тремя специальными трубками для подачи технических газов, которые также равномерно распределяются. После чего уже происходит процесс ионно-плазменного покрытия [3].



Рисунок 3 – Вакуумная установка “Гефест”

Рассмотрим ионно-плазменное устройство по нанесению покрытий на лопатки, которое показано на рисунке 2. Основным процессом это создание источника плазмы, в основу которой входят такие газы как аргон или азот. Затем происходит процесс ионизации этого газа под действием высокого напряжения и формируется плазменный шлейф. Происходит нагрев газа до критически высокой температуры и впоследствии его ионизация, благодаря чему происходит осаждение материала покрытия. В качестве распылителя порошок, который направляется в плазменный шлейф и под действием высокой температуры частицы порошка начинают плавиться. Затем эти расплавленные частицы попадают на поверхность образца. Попадая на образец эти частички быстро остывают и затвердевают образуя плотный слой. Этот процесс можно регулировать в зависимости от желаемой толщины слоя или однородности нанесения. После окончания процесса распыления образцы проходят строгий контроль качества для соответствия требуемым нормам или условиям заказчика.

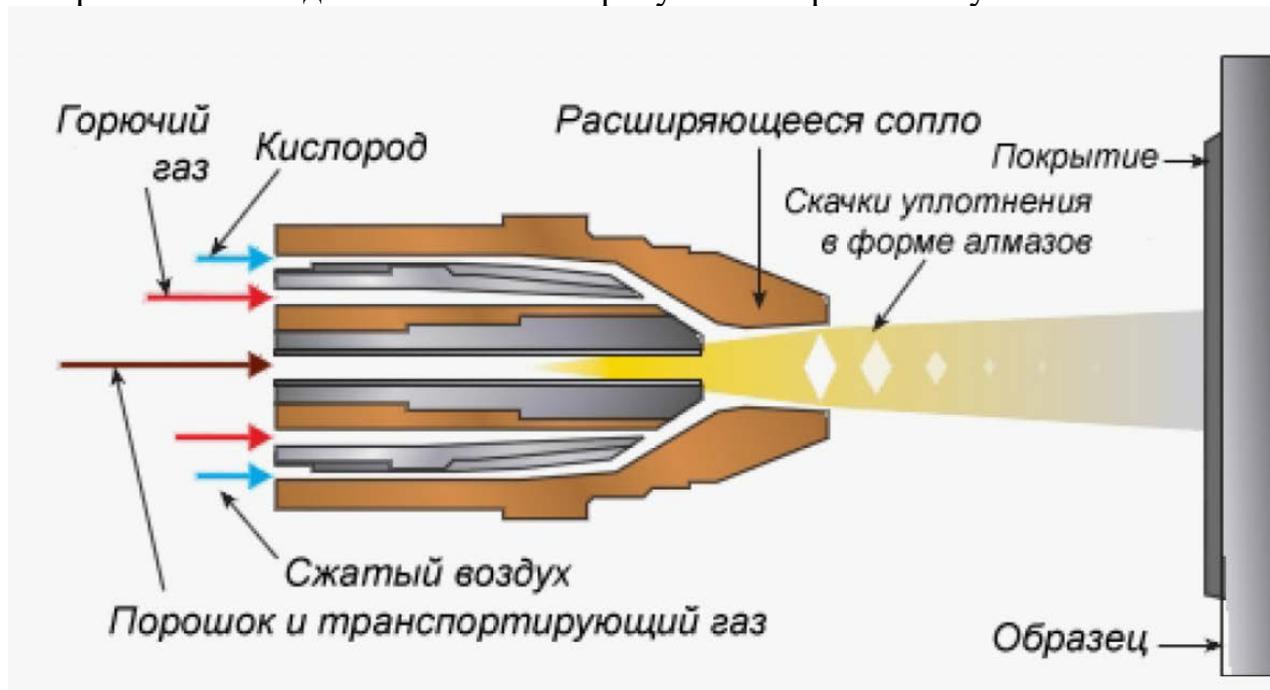


Рисунок 2 – Процесс нанесения ионно-плазменного покрытия

Ионно-плазменные покрытия бесспорно имеют некоторые преимущества, благодаря которым этот метод часто используют:

- Первой и самой главной составляющей этого процесса является достижение наибольшей износостойкостью и повышают адгезию. Это позволяет им сопротивляться большим механическим нагрузкам, в частности при работе с критически высокими температурами в турбинах;
- Это покрытие может действовать в качестве термического барьера, который служит для защиты сомой лопатки от различного рода воздействия, а также устойчивость к окислению;
- Защита от коррозии и эрозии. Увеличивают устойчивость к различным агрессивным средам;
- За счет нанесений данных покрытий увеличивается срок службы материалов, что в следствии со временем ведет к экономии денежных

средств, хотя первоначальные инвестиции могут весьма большие.

Применение ионно-плазменных покрытий лопаток турбин нашлись на некоторых российских атомных электростанциях, в частности такая технология покрытий используется на Нововоронежской атомной электростанции.

### **Заключение**

В общем и целом, ионно-плазменные покрытия привели к значительным успехам по защите материалов от высоких температур, особенно лопаток турбин, которые обеспечивают продление срока службы материала и соответственно экономии средств. Данный ионно-плазменный метод продолжает совершенствоваться и находит все более широкое применение.

### **Литература**

1. Конструкция, прочность и металлы элементов / А.Н. Смоленский. – Москва 1964. – 186 с.
2. Комбинированные ионно-имплантационные и вакуумно-плазменные технологии модифицирования поверхности, обеспечивающее повышение эксплуатационных свойств лопаток ЦНД паровых турбин [Электронный ресурс] / Комбинированные ионно-имплантационные и вакуумно-плазменные технологии модифицирования поверхности, обеспечивающее повышение эксплуатационных свойств лопаток ЦНД паровых турбин. – Режим доступа: [https://tekhnosfera.com/kombinirovannye-ionno-implantatsionnye-i-vakuumno-plazmennye-tehnologii-modifitsirovaniya-poverhnosti-obespechivayuschie- /](https://tekhnosfera.com/kombinirovannye-ionno-implantatsionnye-i-vakuumno-plazmennye-tehnologii-modifitsirovaniya-poverhnosti-obespechivayuschie-/). – Дата доступа: 18.10.2024.
3. Повышение абразивной стойкости лопаточного аппарата первых ступеней цилиндров высокого и среднего давления мощных паровых турбин [Электронный ресурс] / Повышение абразивной стойкости лопаточного аппарата первых ступеней цилиндров высокого и среднего давления мощных паровых турбин. – Режим доступа: [https://mpei.ru/diss/Lists/FilesDissertations/169-Диссертация.pdf /](https://mpei.ru/diss/Lists/FilesDissertations/169-Диссертация.pdf/). – Дата доступа: 18.10.2024.