

# Специальное приложение журнала «Изобретатель»

# НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

## ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Ивашко В.С., Саранцев В.В., Пантелеенко Ф.И., Девойно О.Г., Беляков А.В.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск, Партизанский пр., 77, e-mail: kme-irk@mail.ru, тел. факс: +375 17 296-47-32

ОАО «Всероссийский дважды ордена Трудового Красного Знамени Теплотехнический научно-исследовательский институт», ул. Автозаводская, д. 14, г. Москва, 115280, Российская Федерация,  
e-mail: bela1@progtech.ru

**Введение.** Высокая степень износа основного оборудования в энергетической отрасли ставит перед энергетиками задачу повышения срока его эксплуатации. Особенно значимой является проблема увеличения срока службы деталей контактирующих с паром – запорно-регулирующая арматура, направляющие и рабочие лопатки турбин. Нанесение защитных покрытий на рабочие поверхности деталей оборудования – наиболее эффективный способ повышения их качества и долговечности.

В БНТУ разработаны технологии нанесения упрочняющих и защитных покрытий с использованием электронно-лучевого легирования, газотермического напыления, лазерных технологий.

### Повышение стойкости лопаток турбин.

В настоящее время существует ряд технологических решений позволяющих повысить стойкость лопаток турбин:

- использование жаростойких и жаропрочных материалов;

- применение системы охлаждения;
- нанесение защитных покрытий.

Металлические сплавы способны работать при температурах до 900°C. Свыше такой температуры необходимо применение защитных (барьерных) покрытий и систем охлаждения. В качестве материалов защитных покрытий наибольший интерес представляет керамика и металлокерамика. Опыт эксплуатации паровых турбин показал что для защиты от капельной эрозии паровых лопаток наиболее эффективной является стеллитовая защита. К сожалению, запасы Со снижаются, что вызывает рост на данный металл, а соответственно, необходимость поиска новых защитных материалов.

К керамическим материалам относят керамику карбидную (карбид вольфрама, карбид титана, карбид кремния), алюмооксидную, циркониевую (на основе  $ZrO_2$ ,  $TiO_2$ ), нитридную ( $TiN$ ,  $AlN$ ). Для нанесения покрытий из керамических материалов необходимо использовать высокие температуры. Высокие температуры можно реализовать используя

энергию плазмы, лазерного и электронно-лучевого излучения.

Современные рабочие и направляющие лопатки ГТУ состоят из [1]:

- монокристаллических деталей точного литья из жаропрочных сплавов с каналами для охлаждающего воздуха;
- связующих и диффузионных барьерных покрытий ( $Al_2O_3$ );
- теплозащитных покрытий ( $ZrO_2$ ).

Для защиты первых ступеней ГТУ наиболее эффективно использование материала на основе  $ZrO_2$ . Нанесение материала на основе диоксида циркония производят использованием плазменного напыления (APS).

На последних ступенях лопаток ГТУ наносят покрытия в вакуумных камерах (PVD-технологии) распыляя электронным или лазерным лучом или плазмой мишень (катод). Мишени изготавливают из порошков диоксида циркония стабилизированного оксидом иттрия  $Y_2O_3$ .

Для повышения эрозионной стойкости лопаток паровых турбин используют технологии нанесения многослойного вакуумно-плазменного покрытия высокотвердых нитридных соединений Ti-TiN, Zr-ZrN и кобальтового стеллита марки ВЗК (Stellite 6) на рабочие кромки.

Недостатком вакуумных покрытий является неравномерность нанесения покрытия и необходимость разлопачивания турбоагрегата. Данную технологию целесообразно применять на новых лопатках.

Для защиты лопаток паровых турбин последних ступеней было предложено использование технологии электроискрового легирования (ЭИЛ) [2]. Технология основана на явлении электрической эрозии и полярного переноса материала анода (инструмента) на катод (деталь) при протекании импульсных разрядов в газовой среде. При формировании защитно-упрочняющих покрытий на поверхности лопаток обрабатываемые лопатки являются катодом, а анодом – расходимый электрод-инструмент.

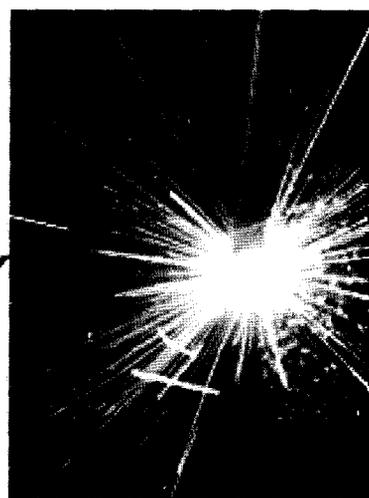
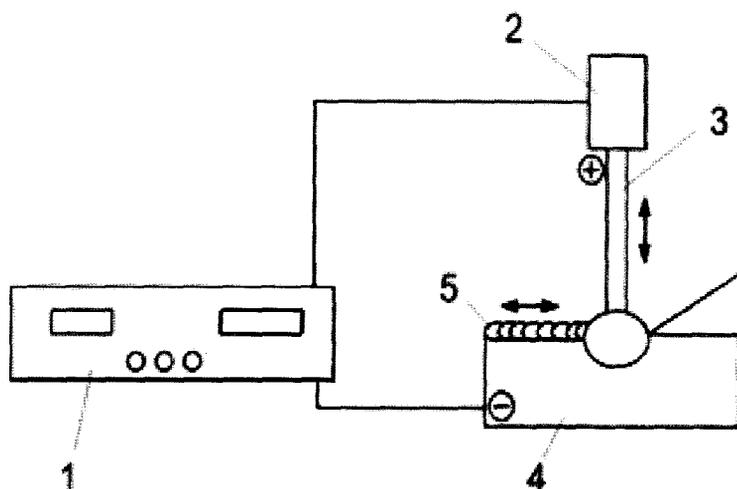


Рисунок 1. Схема процесса ЭИЛ

1 – генератор импульсов; 2 – вибратор; 3 – электрод; 4 – деталь; 5 – покрытие

При осуществлении процесса ЭИЛ между обрабатываемой (легируемой) поверхностью и легирующим электродом протекают весьма короткие по времени импульсы электрического тока (длительностью  $1 \cdot 10^{-3} \div 1 \cdot 10^{-5}$  с). При этом деталь (лопатка) не нагревается выше  $200^\circ C$ . Применение такой технологии дает возможность формировать покрытия из металлических и металлокерамических материалов.

Формирование композиционных металлокерамических покрытий (КМП) в режиме ЭИЛ позволяет получить слой толщиной до 100 мкм. Разработанная технология [3], сочетающая процессы ЭИЛ и СВС (самораспространяющегося высокотемпературного синтеза), требует значительно меньших энергозатрат по сравнению с традиционным способом ЭИЛ, что способствует повышению качества покрытия и увеличению его толщины, а также улучшению его сплошности [4].

Для получения КМП начальный слой порошковых СВС-реагентов предварительно наносится на основу, после чего проводится ЭИЛ. В результате за один проход можно получить слой КМП толщиной до 0,3 мм. Микроструктурные

исследования позволили установить, что формируется плотное беспористое мелкозернистое покрытие. Макроструктура покрытия по всей толщине однородна, а в легирующей матрице присутствуют дисперсные частицы карбида титана. Точечный микрорентгеноспектральный анализ (МРСА) показал, что в точках, где наблюдалось уменьшение содержания титана, увеличивается концентрация железа и никеля. Это говорит о том, что материал подложки и никелевая добавка образуют металлическую матрицу в виде твердого раствора и не образуют соединений с карбидом титана. Присутствие железа в покрытии свидетельствует об оплавлении части материала основы.

Детальное изучение КМП выявило, что карбиды имеют округлую мелкозернистую форму (1–3 мкм). В средней части наблюдается скопление крупных карбидов (~10 мкм) с небольшим количеством металлической матрицы вокруг них.

Для достижения эффекта защиты от капельно-эрозионного износа необходимо нанесение КМП на рабочие кромки. В зависимости от режимов эксплуатации турбоагре-

гата нанесение КМП можно проводить при капитальном ремонте раз в 4-5 лет. Оборудование позволяет наносить покрытие без разлопачивания непосредственно на турбоагрегате.

Расходы на проведение работ по нанесению покрытий в разы ниже по сравнению с покупкой нового комплекта лопаток.

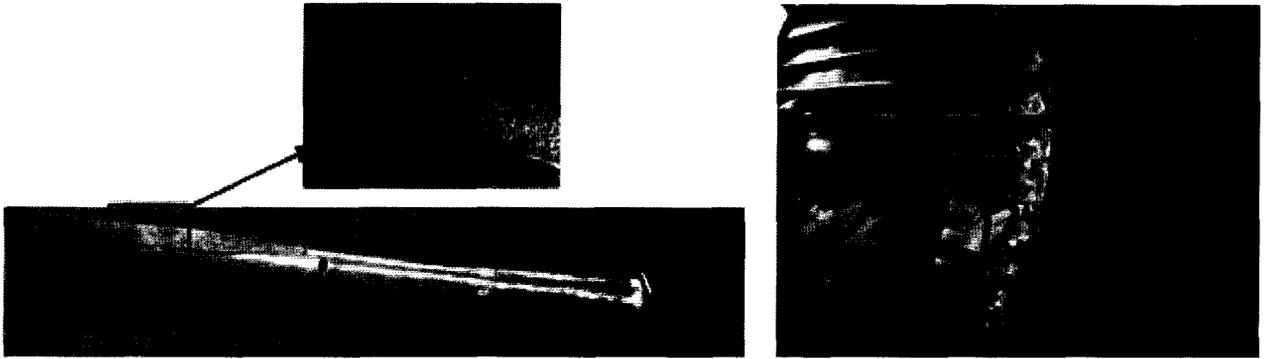


Рисунок 2. Внешний вид лопатки паровой турбины с КМП на рабочей кромке и процесс его нанесения

**Восстановление штоков запорно-регулирующей аппаратуры.**

На оборудовании были проведены восстановительные работы с деталями запорной арматуры. Основная причина выхода из строя запорной арматуры – износ штоков.

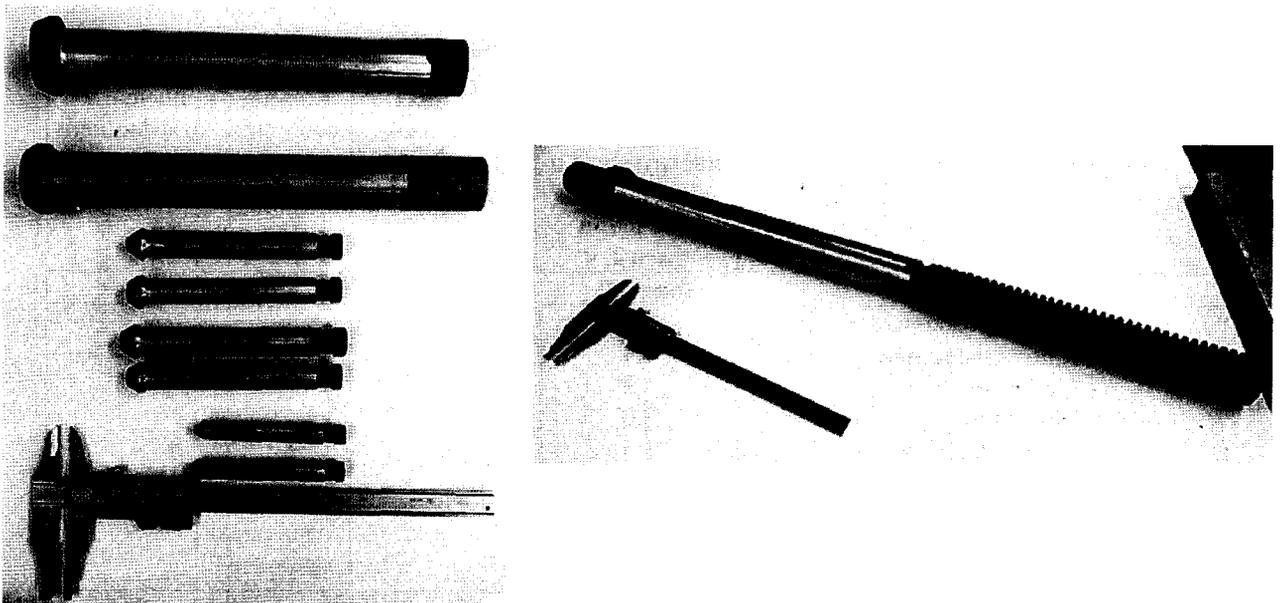


Рисунок 3. Штоки запорной арматуры после восстановления

**Литература**

1. *Высокотемпературные материалы и покрытия для газовых турбин / Н.В.Абраимов. — М.: Машиностроение, 1993. — 336 с.*
2. *Саранцев В.В. Достижения и развитие технологии электроискрового легирования (обзор) // Инженерный вестник. — №2 (22), 2006. — С.67–72.*
3. *Способ электроэрозионного упрочнения: пат. 10997 Респ. Беларусь, МПК В 23 Н 9/00 В.В. Саранцев, Л.В.*

*Маркова, заявитель БНТУ – № а20060508, заявл. 25.05.06. опубл. 22.05.08 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2008.*

4. *Study of Composite Spark-Alloyed Coatings Based on Titanium Carbide Using Self-Propagating High-Temperature Synthesis / V.V. Sarantsev, L.V. Markova, E.L. Azarenko // Surface engineering and applied electrochemistry Vol. 48. – № 2. – 2012. – P.43–49.*