

УДК 622.311.22.019

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ИЗНОСОСТОЙКОСТИ РАБОЧИХ ЛОПАТОК ПАРОВЫХ ТУРБИН

Каранкевич В.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Качан С.А.

В процессе эксплуатации энергетическое оборудование подвергается воздействию различных факторов, приводящих к износу его элементов, поэтому проблема повышения ресурса и надежности элементов энергетического оборудования является весьма важной и актуальной. Возрастание мощности и эксплуатационных параметров (нагрузок, давления, скорости, температуры) все более ужесточает характер эксплуатации оборудования и изнашивания его узлов и элементов.

Проблема продления паркового ресурса энергетического оборудования актуальна с точки зрения не только обеспечения их бесперебойной работы и безопасности эксплуатации, но и снижения затрат на капитальные ремонты. Наиболее привлекательны при этом технологии, позволяющие проводить восстановительный и продлевающий срок службы оборудования ремонт «по месту», без дополнительных затрат на демонтаж и транспортировку в ремонтные организации.

Рабочие лопатки (РЛ) являются наиболее сложной и высоконагруженной частью паровых турбин и в значительной мере определяют надежность работы всего турбоагрегата. Во время работы они подвергаются воздействию различных факторов, в том числе статических, динамических и температурных напряжений.

К основным повреждениям рабочих лопаток турбин относятся [1]:

- механические и усталостные повреждения;
- абразивный эрозионный износ;
- язвенная коррозия;
- коррозионное растрескивание под напряжением и коррозионно-усталостные повреждения в зоне фазового перехода;
- каплеударный эрозионный износ в зоне влажного пара;
- эрозионно-коррозионный износ.

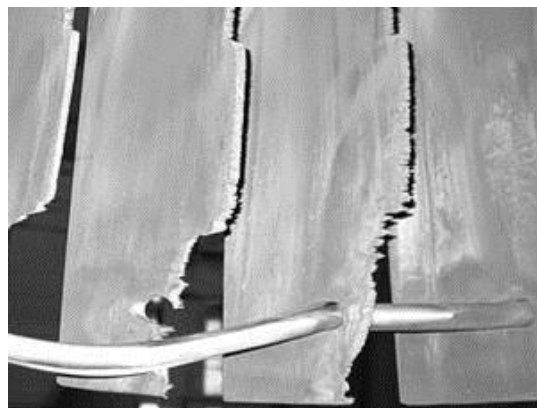


Рисунок 1 – Эрозия рабочих лопаток последних ступеней

Эрозия РЛ последних ступеней (рисунок 1) является одной из известных, но до сих пор не решенных проблем паротурбостроения. Заводы-изготовители различных стран последние 40 лет ведут экспериментальные и теоретические исследования эрозионной стойкости различных металлов и ищут новые методы защиты РЛ от каплеударного разрушения.

Способы повышения надежности и износостойкости рабочих лопаток последних ступеней паровых турбин с некоторой долей условности можно разделить на две большие группы: активные и пассивные.

Активные способы направлены на снижение степени влажности и уменьшение размеров жидких частиц двухфазного потока [2]:

- влагоудаление.
- оптимизация сопряжения бандажей.
- соблюдение эксплуатационных параметров турбины.
- постоянный контроль за уровнем динамических напряжений с использованием дискретнофазового метода.
- нагрев направляющих лопаток паром.

Пассивные способы ориентированы на улучшение свойств поверхностных слоев (упрочнение) и создания различного рода износостойких покрытий [3]:

- напайка стеллитовых пластин.
- электроискровое легирование.
- закалка с нагревом токами высокой частоты.
- покрытия, нанесенные с помощью газотермических технологий.
- покрытия, нанесенные с помощью вакуумно упрочняющих технологий.

Традиционным и основным способом защиты РЛ последних ступеней турбин производства Ленинградского металлического завода (ЛМЗ) и Уральского турбомоторного завода (УТМЗ), работающих в условиях влажного пара, от эрозионного износа и повышения их износостойкости является напайка стеллитовых пластин.

Пластинки специальной формы охватывают входную кромку со стороны спинки и припаиваются к лопатке серебряным припоем [4].

Этим способом обеспечивается защита наиболее повреждаемой части входной кромки РЛ (до 400 мм) на период 10–15 лет.

Основные преимущества данного метода:

- простота технологического процесса;
- имеется многолетний опыт применения.

Основные недостатки данного метода:

- изменения аэродинамической формы профиля;
- возможность отрыва пластин;
- возможный эрозионный износ поверхностей лопаток ниже стеллитовых напайки и в промежуточных зонах между напайными пластинами;
- разброс твердости поверхностного слоя пластинок;
- невозможность использования стеллитовых пластин в турбинах для АЭС с одноконтурными схемами (в связи с опасностью появления радиоактивного изотопа кобальта), а также для лопаток из титановых сплавов (из-за значительных отличий физических свойств).

Технико-экономический анализ способов пассивной защиты от эрозионно-коррозионного изнашивания входных и выходных кромок РЛ последних ступеней паровых турбин показывает хорошие перспективы и возможности метода электроискрового легирования (ЭИЛ).

Данный метод основан на явлении электрической эрозии и полярного переноса материала электрода на поверхность обрабатываемой детали и заключается в нанесении на кромку рабочей лопатки слоя износостойкого токопроводящего материала (чаще в практике встречается инструментальный металлокерамический твердый сплав типа Т15К6). При этом термическое воздействие на материал лопаток минимально.

Метод достаточно прост и легко может быть реализован в условиях любого предприятия.

Процесс легирования осуществляется посредством специального устройства, входящего в состав установки, – вибровозбудителя (вибратор), служащий для передачи электроду возвратно-поступательного движения с необходимой частотой и амплитудой (рисунок 2).

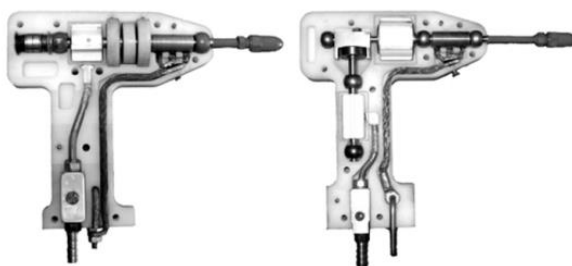


Рисунок 2 – Вибровозбудитель

Блок организации низковольтного разряда (искры) между двумя электродами (анод (сплав Т15К6) – катод (перо рабочей лопатки)) обеспечивает униполярный перенос твердого сплава с электрода на лопатку.

Основные преимущества данного метода:

- возможность нанесения в виде покрытия любого токопроводящего материала, в том числе коррозионно- и износостойкого;
- локальное формирование покрытия в местах эрозионного изнашивания (входная и выходная кромка);
- возможность формирования покрытия за счет поочередного нанесения электродных материалов;
- сравнительно высокие характеристики по производительности (0,5–2,0 мин/см<sup>2</sup>);
- универсальность применения технологии ЭИЛ относительно других деталей;
- возможность механизации и автоматизации процесса;
- обеспечивает высокую прочность сцепления слоя покрытия с основным металлом;
- простота технологического процесса;
- не оказывает влияние на основную структуру металла;
- отсутствие термического влияния на материал;
- неизменность геометрических размеров.

Основные недостатки данного метода:

- неоднородность покрытия;
- малая толщина формируемого слоя покрытия (до 0,3 мм);
- неравномерность толщины;
- невозможность формирования покрытий из нетокопроводящих материалов; снижение усталостной прочности лопатки;
- получение растягивающихся остаточных напряжений в упрочненном слое.

С 1999 г. Всероссийский теплотехнический научно-исследовательский институт (ВТИ, г. Москва) совместно с Ивановским государственным энергетическим университетом имени В.И. Ленина (ИГЭУ, г. Иваново) и рядом российских ТЭС проводил разработку технологического процесса ЭИЛ по трем основным направлениям [3]:

- поиск и исследование новых эрозионноустойчивых материалов для упрочнения и восстановления методом ЭИЛ;
- разработку нового мобильного оборудования и оснастки для формирования покрытия на РЛ;
- разработку нормативного технологического процесса для формирования покрытия в процессе упрочнения и восстановления.

В результате этой работы были спроектированы и изготовлены установки ГБФ-2 и ГБФ-2М, имеющие 7 тиристорных разрядных контуров (каналов), обеспечивающих энергию единичного разрядного импульса от 0,38 до 4,32 Дж. При этом масса генераторов импульсов составила не более 15 кг, а габаритные размеры – 360×340×220 мм [3].

Другим направлением стала разработка малогабаритных мобильных установок, способных работать как от стационарной сварочной сети постоянного тока 60–80 В, так и от

сети переменного тока с напряжением 220 В. В итоге было разработано семейство установок для формирования электроискровых покрытий КГБ-1 – КГБ-5, позволяющих производить формирование покрытия РЛ в различных положениях ротора [3]. При этом масса установок составляла не более 10 кг при габаритах 335×185×220 мм, энергия единичного импульса составляла от 3,0 до 25,0 Дж.

Конструкция установок позволяет наносить покрытия при различных положениях ротора (рисунки 3-5):

- на опорах ремонтной площадки;
- непосредственно на турбоагрегате при вскрытой крышке цилиндра;
- непосредственно на турбоагрегате без вскрытия крышки цилиндра через конденсатор.



Рисунок 3 – Нанесение металлатором защитных покрытий на лопатки 29-й ступени через конденсатор при ремонте турбины К-300-240 ЛМЗ ОАО «Рязанская ГРЭС» (ст. №3)



Рисунок 4 – Нанесение металлатором защитных покрытий на лопатки 30-й ступени при ремонте турбины ПТ-80-130/30 ЛМЗ АО «Кишиневская ТЭЦ-2» (ст. №1) при расположении ротора на козлах ремонтной площадки

Технологический процесс позволяет формировать защитные покрытия РЛ при их упрочнении и восстановлении без разлопачивания ротора, а также формировать покрытия на новых или демонтированных восстанавливаемых РЛ в условиях цехов или ремонтных мастерских, так как использование оборудования возможно и в стационарных условиях.

Наиболее перспективными для упрочнения и восстановления РЛ последних ступеней оказались покрытия из следующих материалов [3]:

- ВК6; ВК6М, ВК6ОМ, ВК-8, стеллита ВЗК, износостойких никелевых сплавов ВЖЛ2 (ВЖЛ2М) при формировании покрытия на новых лопатках;
- W + стеллит ВЗК; Мо + стеллит ВЗК при восстановлении кромок лопаток

Металлографические исследования формируемых покрытий показали высокое качество формируемых покрытий. Дефектов в виде микротрещин, несплошностей покрытия не наблюдается [3].

Разработанная технология внедрена на ряде электрических станций применительно к широкому спектру турбин (рисунки 3 - 5).

Совершенствование технологического процесса и оборудования в перспективе позволит получать более толстые покрытия на сталях и титановых сплавах. В свою очередь возможность получения электроискровых покрытий толщиной 1–1,5 мм позволит перейти к процессу полнопрофильного восстановления изношенных мест лопаток, а также восстановления стеллитовой защиты вместо разрушенной в процессе эксплуатации [3].



Рисунок 5 – Формирование покрытия через конденсатор на входных кромках РЛ 5-й ступени турбины К-300-240 ХТГЗ и внешний вид сформированного покрытия сплава ВК60М

В заключение отметим, что разработанные технологические решения были представлены на Всемирной выставке инновационных технологий «EVRICA-2005» в Брюсселе (Бельгия) и удостоены диплома 1-й степени и золотой медали [3].

#### Литература

1. Шкляр А.И. Опыт повышения надежности и износостойкости элементов проточной части паровых турбин / Шкляр А.И., Жученко Л.А., Ермолаев В.В. и др. // Теплоэнергетика. – 2007. – № 4. – С. 4-7.
2. Беляков А.В. Практика формирования электроискровых покрытий для упрочнения и восстановления лопаточного аппарата проточной части паровых турбин тепловых и атомных электростанций / Беляков А.В., Шапин В.И., Горбачев А.Н. // «Вестник ИГЭУ» Вып. 4 - 2008 г.
3. Рыженьков В.А. Современное состояние и способы решения проблемы эрозийного износа лопаток влажно-паровых ступеней турбин / Рыженьков В.А., Лебедев А.И., Медников Ал.Ф. // Теплоэнергетика. – 2011. – № 9. – С. 8-13.
4. Левин А.В., Боришанский К.Н., Консон Е.Д. Прочность и вибрация лопаток и дисков паровых турбин. – Л.: Машиностроение, 1981. – 710 с.