

**Тополянский П.А., Соснин Н.А. Кавитационностойкие плазменные покрытия роторов электрических машин. Технологии ремонта, восстановления, упрочнения и обновления машин, механизмов, оборудования и металлоконструкций. Материалы 3-й Всероссийской практической конференции-выставки 27-28 марта 2001 г. Санкт-Петербург. Изд. СПбГТУ, 2001. - С. 39-44**

## **КАВИТАЦИОННОСТОЙКИЕ ПЛАЗМЕННЫЕ ПОКРЫТИЯ РОТОРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН**

**ТОПОЛЯНСКИЙ П.А., СОСНИН Н.А.**

НПФ «Плазмацентр», Санкт-Петербург, Россия

В процессе эксплуатации высокооборотных генераторов с частотой вращения ротора 12000 об/мин (линейная скорость на поверхности 180 м/с) охлаждение роторов осуществляется пароводяной смесью с добавлением 0,4-0,5 % аммиака при температуре 72-100°C. При этом имеет место процесс струйной эрозии и вымывания материала с определенных поверхностей полюсов ротора. Полюс представляет собой конструкцию массой 40 кг, имеющую сложный профиль. Материал полюсов - роторная сталь 38ХНЗМФА. Поверхность полюса, контактирующая с агрессивной средой, для коррозионной защиты покрывается слоем химического никеля толщиной 35 мкм с последующей термообработкой при температуре 400°C для придания ей высокой твердости. Вследствие большой скорости вращения на «набегающих» кромках полюсов, примерно через 200 часов работы, начинается эрозионное разрушение, которое прогрессирует во времени.

Основная цель проведенных исследований - выбор и испытание защитных плазменных покрытий, наносимых на поверхность полюсов для повышения стойкости против коррозии и кавитационной эрозии.

Для испытания работоспособности плазменных защитных покрытий в условиях эрозионного воздействия жидкости и поля центробежных сил разработан специальный стенд (рис. 1). Принципиальная схема стенда (рис. 2) состоит из системы силового привода, системы подачи агрессивной жидкости, термической системы, системы контроля и управления и испытательной камеры. Система силового привода включает электрический двигатель постоянного тока, мультипликатор (предназначенный для увеличения частоты вращения), подшипниковую опору. Система подачи жидкости состоит из верхнего и нижнего баков, перекачивающего насоса, дросселя, регулирующего расход жидкости, и трубопроводов. Термическая система состоит из электрического нагревательного устройства. Система контроля и управления конструктивно разделена на подсистему контроля и регулирования оборотов двигателя, подсистему контроля температуры и автоматического терморегулирования, подсистему контроля уровней жидкости в нижнем и верхнем баках. Испытательная камера с расположенным в ней исследуемым образцом оборудована подводом и сливом агрессивной жидкости и нагревательным устройством.

Для исследования стойкости защитных покрытий роторов в условиях эрозионного воздействия жидкости на созданном стенде, моделирующем в лабораторных условиях реальные эксплуатационные характеристики, изготовлен образец - диск с четырьмя полюсами (рис. 3). На три его полюса нанесены различные покрытия, четвертый полюс не имел покрытия. Данный образец помещался в испытательную камеру стенда. Для предотвращения утечки дистиллята и испарения аммиака контур подачи дистиллята и испытательная камера стенда герметизировались. В камере поддерживалось давление 760 мм.рт.ст. Рабочая частота вращения образца  $n = 8000$  об/мин, скорость истечения дистиллята 178 м/с. Образец приводился в движение двигателем постоянного тока СТГ 18 мощностью 18 кВт. При работе установки потребляемая мощность двигателя составляла 3 кВт. Обороты выдерживались с точностью  $\Delta n = \pm 50$  об/мин и контролировались при помощи цифрового тахометра ТЦ-2М с точностью до 1 об/мин. Время испытания образца составило 610 ч, при этом осуществлялся визуальный осмотр и фотографирование полюсов с нанесенными покрытиями.

В качестве материалов наносимых покрытий использовались:

1. Плазменное никель-титановое покрытие (сплав нитинол) - интерметаллид Ni-Ti, характеризующийся высокой коррозионной стойкостью и склонностью к деформационному упрочнению. Наибольшей кавитационной стойкостью обладают покрытия, сформированные при напылении композицией состава 55% Ni+45% Ti из порошка марки ПН55Т45 (ТУ 14-1-3282-81). Плазменное покрытие из этого порошка по кавитационной стойкости в 4,2 раза превосходит сталь 45, в 12 раз чугун и в 1,3 раза сталь 12Х18Н10Т [1]. Исследования образцов с данным покрытием показали следующие его характеристики: средняя микротвердость - 706 НV, адгезионная прочность - 45-50 МПа, пористость до 13,5 %.

2. Плазменное покрытие из самофлюсующего сплава типа колмоной на основе никеля и хрома, содержащего добавки из кремния и бора. Для нанесения покрытия использовался порошок марки ПР-73Х16СЗРЗ (ТУ 14-1-3795-84). Данный материал используется, в основном, в качестве износо- и коррозионностойкого покрытия, работающего в условиях абразивного износа без ударных нагрузок. По информации фирмы «Метко» [2] данный порошок, являясь аналогом порошка марки Р451-10, обладает наилучшей высокотемпературной эрозионной стойкостью. Характеристики покрытия: средняя микротвердость - 806 НV, адгезионная прочность - 30-40 МПа, пористость 5,5 %.

3. Плазменное покрытие из сплава на основе кобальта типа стеллит, содержащий до 30 % хрома и добавки бора и кремния. Покрытие осуществлялось порошком марки ПР-К60Х30ВС (ВЗК) по ТУ 14-1-3694-84. Данное покрытие отличается высокой стойкостью против истирания, повышенной коррозионной стойкостью, износостойкостью

при высоких температурах. По данным фирмы «Метко» данный порошок, являясь аналогом порошков марок P45WV 10 и P45C 10, обладает наилучшей высокотемпературной эрозионной стойкостью. Характеристики покрытия: средняя микротвердость - 631 HV, адгезионная прочность - 30-40 МПа, пористость - 6 %.

Плазменное напыление выбранных материалов осуществлялось с использованием модернизированной установки для плазменной сварки типа УПС-301 с ручным плазмотроном, дополненным насадкой для напыления. Определение величины прочности сцепления покрытия с подложкой осуществлялось на образцах свидетелях по штифтовой методике. Пористость принятых к напылению покрытий определялась на образцах напыленных и отделенных от подложки металлографическим методом на установке «Omnimet» (фирма Buehler, США). Микротвердость покрытий определялась на микротвердомере «Mikromet II» (фирма Buehler, США).

Осмотр образца с различными напыленными покрытиями во время испытаний на стенде показал следующий результат:

Полюс 1 (покрытие стеллит). Полное механическое разрушение покрытия произошло после 10 часов работы. Причина разрушения - динамический удар потока жидкости по покрытию в сочетании с центробежной и вибрационной нагрузкой.

Полюс 2 (без покрытия). Под действием дистиллята происходит коррозия материала полюса. На периферии рабочей поверхности полюса наблюдалась кавитационная эрозия материала.

Полюс № 3 (покрытие нитинол). Частичное механическое разрушение произошло по краевым зонам образца в начале испытания. Осмотр покрытия после 350 и 500 часов работы значительных изменений состояния покрытия не выявил. Видимого эрозионного износа не наблюдалось.

Полюс № 4 (покрытие колмоной). Механического разрушения покрытия в течение всего времени не произошло. Осмотр, проводившийся после 350 ч работы, показал 50 % износ покрытия, а после 500 ч - около 70 %. Механизм износа - кавитационная эрозия.

По результатам стендовых испытаний для проведения последующих натурных испытаний рекомендуется для борьбы с эрозионного воздействия жидкости и поля центробежных сил использовать процесс плазменного напыления нитинола. Частичное механическое разрушение данного покрытия, связанное с недостаточной прочностью его сцепления, требует дополнительной оптимизации технологического процесса.

#### Литература

1. Кулик А.Я., Абачараев М.М. Опыт применения кавитационностойких и износостойких газотермических покрытий в судостроении. Л. 1986.
2. Лонго Ф. Справочное руководство по покрытиям фирмы «Метко». Киев, 1980.

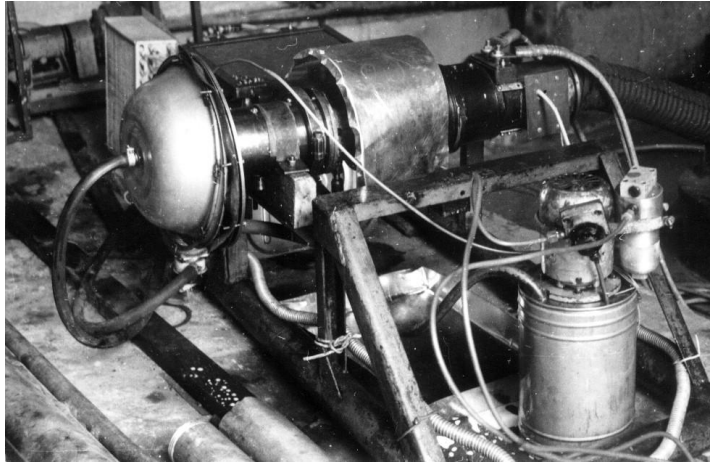


Рис. 1. Стенд для испытаний на кавитационную эрозию

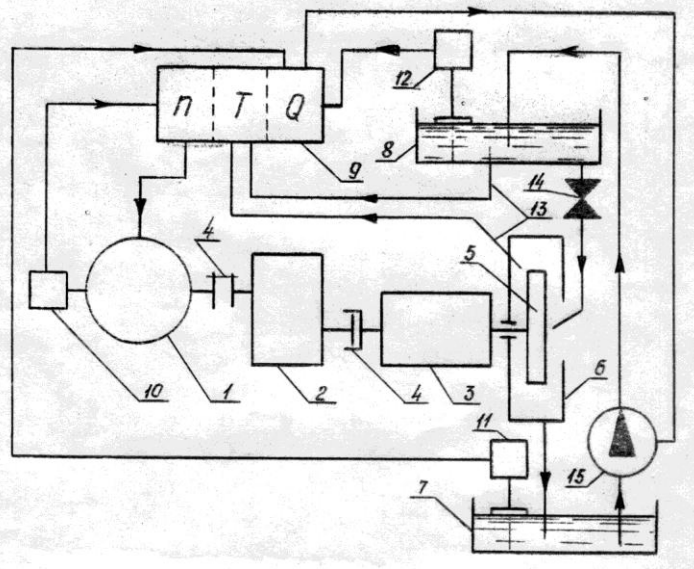


Рис. 2. Схема установки для испытания на кавитационную эрозию: 1- электрический двигатель, 2- мультипликатор, 3-подшипниковая опора, 4- муфта, 5- объект исследования, 6- испытательная камера, 7- нижний бак, 8- верхний бак, 9- блок контроля и управления, 10 - датчик оборотов, 11,12 - датчики уровней, 13- термопара, 14 - дроссель, 15 - насос

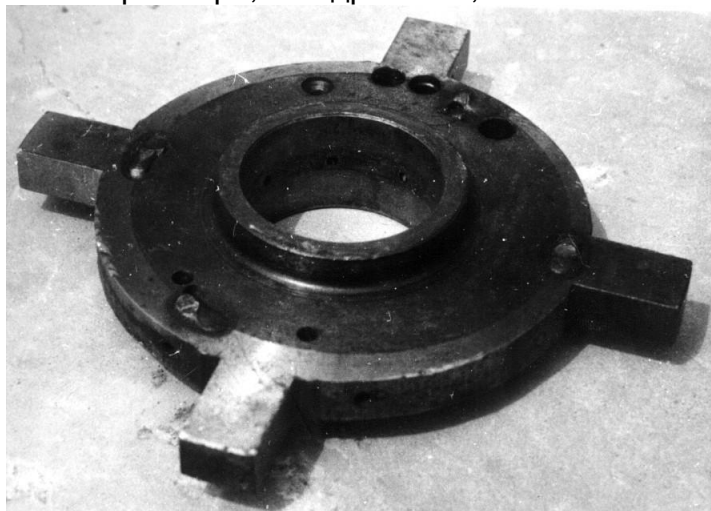


Рис. 3. Образец с различными напыленными покрытиями