

Тополянский П.А. Нанесение антифрикционных покрытий на детали торцовых уплотнений электрических машин. Технологии ремонта, восстановления, упрочнения и обновления машин, механизмов, оборудования и металлоконструкций. Материалы 5-й Международной практической конференции-выставки 8-10 апреля 2003 г. Санкт-Петербург. Изд. СПбГПУ, 2003. - С. 102-107

## НАНЕСЕНИЕ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ДЕТАЛИ ТОРЦОВЫХ УПЛОТНЕНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ТОПОЛЯНСКИЙ П.А.

НПФ «Плазмацентр», Россия, Санкт-Петербург

Совершенствование уплотнений валов, используемых в различном оборудовании, с целью минимального обслуживания при эксплуатации и повышенной герметичности, является актуальной задачей.

Торцовые уплотнения, применяемые в качестве устройств для герметизации по валу внутренней полости электродвигателей, заполненных жидким диэлектриком от окружающей водной среды состоят, в основном, из трех элементов – двух колец (вращающегося и неподвижного) и упругого элемента, обеспечивающего плотный контакт в плоской паре трения (рис. 1). Возможно однокаскадное и двухкаскадное исполнение торцовых уплотнений.

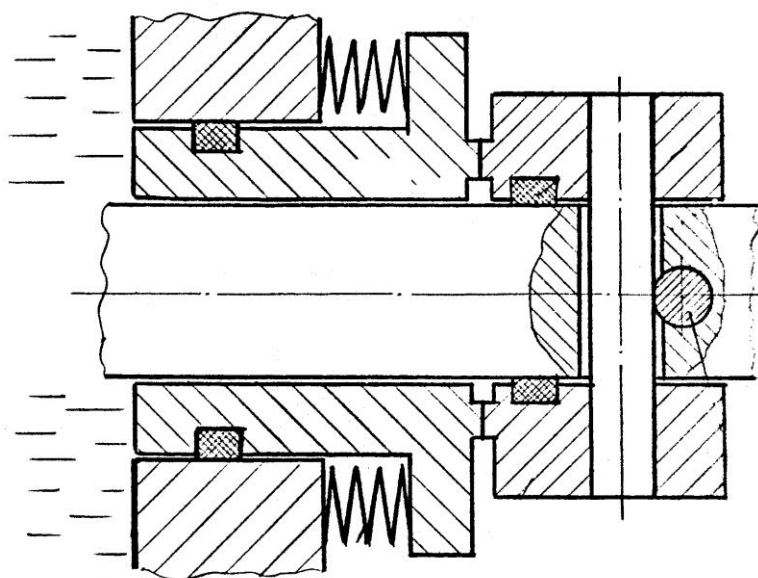


Рис. 1. Общий принцип работы торцового уплотнения

Перспективным является использование в качестве одного из элементов торцового уплотнения коррозионностойкого материала с износостойким и антифрикционным покрытием. Это позволяет значительно уменьшить габариты пары трения и всего узла в целом.

Применительно к уплотнениям электрических машин материалами пары трения являются: кольцо из титанового сплава с антифрикционным износостойким покрытием (рис. 2) и антифрикционный коррозионностойкий материал - углеграфит. Условия эксплуатации узла уплотнения электродвигателя следующие: а) скорость вращения 2 - 4 м/сек; б) давление уплотняемой среды (масла) - 3 кг/см<sup>2</sup>; в) уплотняемые среды - трансформаторное масло ГОСТ 10121-76 от минус 15°С до плюс 90°С – водная среда от минус 2°С до плюс 32°С.

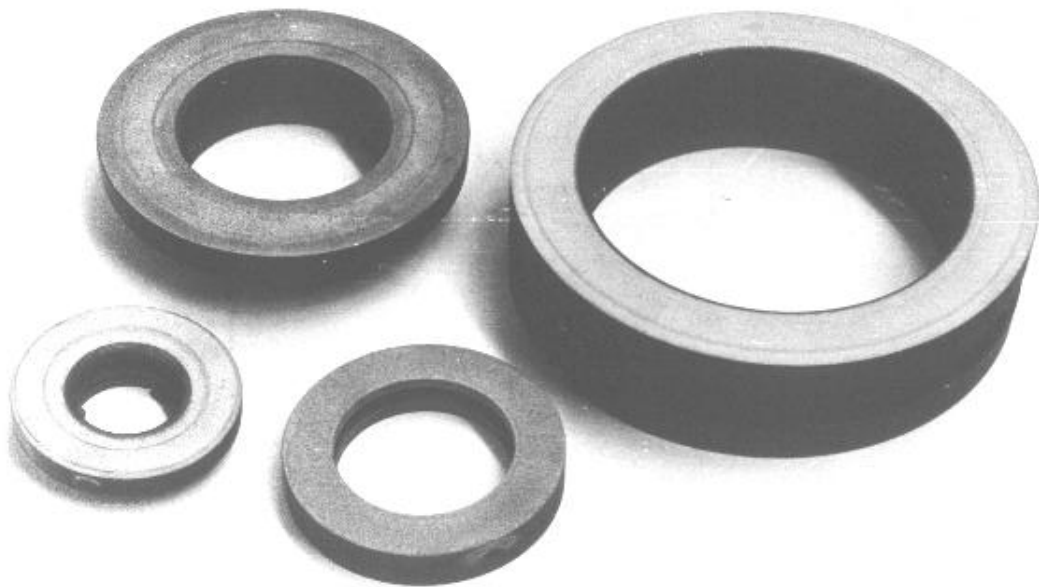


Рис. 2. Элементы торцовых уплотнений электрических машин с антифрикционным и износостойким покрытием

Коэффициент трения между трущейся парой должен быть не более 0,15. Время непрерывной работы: 6000 ч без контроля и обслуживания, полный ресурс уплотнения должен составлять 10000 ч. Допустимая протечка масла должна быть не более 0,3 см<sup>3</sup>/час. Допустимая работа электродвигателя на воздухе без охлаждения узла уплотнения водой должна обеспечиваться в течение 30 мин в диапазоне температур окружающего воздуха от минус 40°С до плюс 50°С при температуре рабочей жидкости (масла) не ниже минус 15°С и не выше плюс 90°С. Также должна обеспечиваться коррозионная стойкость пары трения к водной среде и вибростойкость элементов уплотнения.

Таким образом, условия работы торцовых уплотнений предъявляют высокие требования к материалам пар трения.

Выбор оптимального материала пар скольжения торцовых уплотнений определяется: максимальной износостойкостью, коррозионной стойкостью к окружающей среде, минимальными внутренними напряжениями, эффективностью теплоотвода в процессе работы, а также совместимостью (отсутствием схватывания или заедания) [1, 2].

Известно, что 80-95% протечек у механических уплотнений обуславливаются состоянием их торцовых поверхностей. Поэтому шероховатость контактируемой поверхности должна составлять  $R_a$  0,16, а допуск плоскостности – 5 мкм.

Исходя из достижения максимального эффекта от применения, выбрана следующая композиция пары трения торцовых уплотнений электрических машин: керамическое покрытие – углеграфит. В качестве керамического покрытия используется оксид алюминия. Это покрытие характеризуется следующими свойствами [3]: температура плавления – 2050 °С, коэффициент термического расширения –  $(5,5-7,3) \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}^{-1}$ , коэффициент теплопроводности – 29,3 Вт/м·К.

Пористость нанесенного покрытия из оксида алюминия определяется технологией напыления и, в частности используемым методом нанесения покрытия. Она составляет для плазменного напыления порядка 5-6 %, для детонационного напыления 2-3 %. Известно, что применительно к подшипникам скольжения, пористость поверхности трения способствует удержанию масла, что важно для повышения износостойкости. Кроме того, наличие пористости повышает прирабатываемость поверхности и улучшает пластичность напыленных материалов. Но для уплотняющих поверхностей целесообразно иметь минимальную пористость.

В связи с требованиями повышенного качества к покрытию по адгезионной прочности и оптимальной пористости, в качестве технологического процесса его нанесения выбрано детонационное напыление с использованием автоматического детонационного комплекса «Прометей» (рис. 3). Принцип детонационного напыления основан на использовании явления детонации в газах. При этом в водоохлаждаемую цилиндрическую камеру, выполненную в виде ствола, подается строго дозированное количество кислорода и ацетилен, а также определенная порция напыляемого порошка из специального дозатора. С помощью электрической искры осуществляется поджиг смеси газов, при этом образующийся фронт пламени распространяемый вдоль ствола переходит в детонационную волну, которая нагревает и разгоняет

частицы порошкового материала. На пути движения частиц помещается обрабатываемая деталь, на которую наносится покрытие. После взрыва горючей смеси производится удаление продуктов горения продувкой ствола азотом. Длительность цикла составляет в среднем 0,25 с, за которое наносится покрытие толщиной 8-10 мкм.

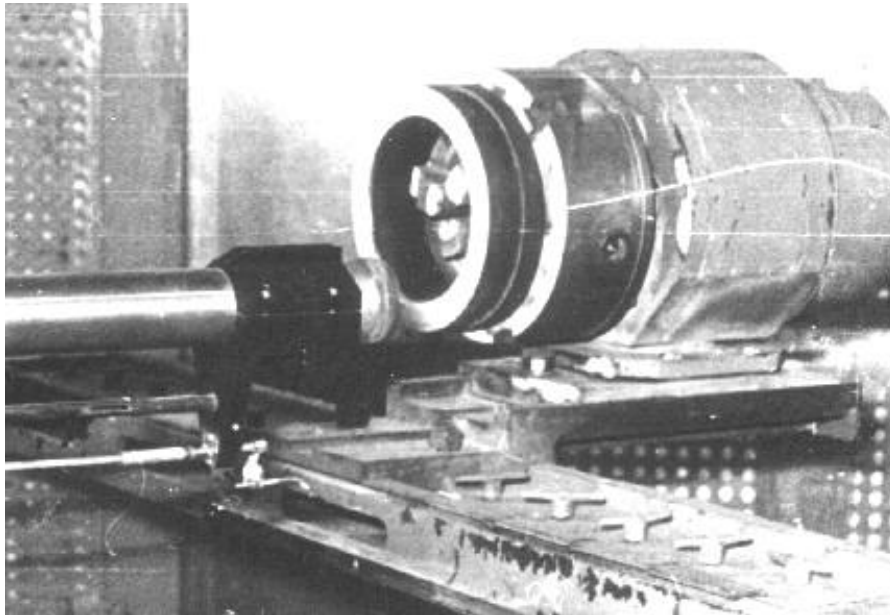


Рис. 3. Процесс нанесения покрытия из оксида алюминия на элементы торцовых уплотнений

Принципиально для изготовления элементов торцовых уплотнений с напыленным оксидом алюминия может быть применен и метод воздушно-плазменного напыления [2].

Для повышения эффективности использования напыленных оксидом алюминия элементов торцовых уплотнений рекомендуется дополнительное проведение финишного плазменного упрочнения с нанесением тонкопленочного аморфного кремнийуглеродосодержащего покрытия толщиной 1-2 мкм, способного наиболее эффективно бороться против усталостных разрушений. При этом средняя микротвердость композиции двухслойного покрытия определенная на образце свидетеле с использованием микротвердомера «Микромет» фирмы Бюхлер, США с дата-процессором составляет HV 1325. На образце с покрытием производилось 10 отпечатков. Средняя микротвердость покрытия определялась, как среднеарифметическое значение по всем десяти значениям микротвердости. Исходная средняя микротвердость покрытия из оксида алюминия составляла HV 982. Таким образом, при нанесении покрытия на основе  $\text{SiO}_2$  и  $\text{SiC}$

толщиной 1-2 мкм микротвердость поверхностного слоя возрастает на 35 %. Кроме эффекта повышения микротвердости финишное плазменное упрочнение, являясь бесконтактным процессом обработки, обеспечивает создание на поверхности остаточных напряжений сжатия и специфической топографии субмикрорельефа.

Для контроля качества напыленных покрытий на детали торцовых уплотнений разработана методика цветной капиллярной дефектоскопии. При этом на покрытии не допускаются сколы, трещины, отслоения, раковины размером более 1 мм; раковины размером менее 1 мм, если их количество превышает 3 шт. на площади 25 мм<sup>2</sup>, а расстояние между ними составляет менее 2 мм.

Опыт использования напыленных элементов торцовых уплотнений можно также рекомендовать для аппаратов и оборудования химических производств, работающих с удельными давлениями до 5 кгс/см<sup>2</sup> для герметизации нейтральных или слабоагрессивных сред, а также для уплотнений вращающихся узлов горнодобывающих машин, работающих в запыленной и влажной среде.

Технология нанесения антифрикционных износостойких покрытий на элементы торцовых уплотнений электрических машин используется на ОАО «Электросила» и прошла десятилетнюю апробацию.

#### Литература.

1. Голубев А.И. Торцовые уплотнения вращающихся валов. М., «Машиностроение», 1974. - 158 с.
2. Рубин М.Б., Бахарева В.Е. Подшипники в судовой технике. Л., «Судостроение», 1987, - 147 с.
3. Карасев М.В., Клубникин В.С., Петров Г.К., Тополянский П.А. Воздушно-плазменное напыление окиси алюминия на детали торцовых уплотнений электрических машин. Повышение износостойкости и усталостной прочности деталей машин обработкой концентрированными потоками энергии. Тезисы докладов Всесоюзного научно-технического симпозиума. М. 1985. - С. 23-24.
4. Газотермическая обработка керамических оксидов. Под ред. Романа О.В. Мн.: Наука и техника, 1988. - 223 с.