

ФРЕТТИНГОСТОЙКИЕ ПОКРЫТИЯ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ КРУПНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

ТОПОЛЯНСКИЙ П.А., СОСНИН Н.А.

НПФ «Плазмацентр», Санкт-Петербург, Россия

Транспортировка крупных электрических машин в смонтированном виде сопровождается воздействием переменных нагрузок, обусловленных колебаниями и вибрациями (толчками) вагона на стыках рельс при значительных радиальных нагрузках, обусловленных весом ротора электрической машины и величиной вертикальной составляющей транспортной вибрации. Данное явление приводит к повреждению беговых дорожек колец подшипников качения (ПК), связанное с возникновением углублений, напоминающих следы внедрения ролика - штампа. Эти углубления обусловлены не пластическим деформированием, а преимущественно развитием фреттинг-коррозии, под которым понимается разрушение поверхностей деталей машин находящихся в контакте при относительно небольших переменных нагрузках и колебательных движениях в пределах 10-200 мкм между контактирующими поверхностями. Эксплуатация электрических машин с поврежденными ПК приводит к выходу подшипников из строя по причине недопустимого шума, последующего перегрева и ослабления посадочных натягов колец. Транспортирование электрических машин в разобранном виде неэкономично и требует дополнительных испытаний после сборки в местах их эксплуатации. Поэтому разработка эффективного метода борьбы с фреттинг-коррозией ПК крупных электрических машин является актуальной проблемой.

Физический механизм разрушения при фреттинг-коррозии основан на следующем. При контактировании двух поверхностей в начальный период возникает адгезия отдельных участков между собой. Небольшие усилия, направленные на взаимное смещение поверхностей, приводят к значительным напряжениям на слипшихся вследствие адгезии поверхностях, в результате чего происходит разрушение естественных окисных пленок и появление ювенильных, т.е. чистых от окислов и адсорбированных газов и влаги, участков поверхности. Ювенильные участки поверхности подвергаются химическому и электрохимическому воздействию среды, вследствие своей незащищенности, и адгезия на этих участках также резко возрастает. Процесс химического взаимодействия со средой сопровождается проникновением продуктов реакции вглубь материала и коррозионным растрескиванием, причем появление трещин приводит к усилению химических реакций и возрастанию местных механических напряжений. Ввиду того, что контактные напряжения при фреттинг-коррозии переменны, разрушение носит черты усталостного механизма. На стадии развившегося разрушения от фреттинг-коррозии происходит выкрашивание материала

в виде отдельных частиц. Как правило, эти частицы представляют собой продукты химических реакций. Ввиду высокой твердости большинства окислов металлов, процесс разрушения носит отчасти и характер абразивного износа. Продукты износа, попавшие между контактирующими поверхностями, вызывают повышение местных напряжений. В результате возникают, обычно по краям зоны разрушения, значительные пластические деформации в виде валиков, обрамляющих лунки износа. Эти валики частично образованы и налипшими на поверхность продуктами разрушения, заглаженными при сдавливании поверхностей контакта. Т.о., фреттинг-коррозия является сложным явлением, в котором участвуют различные физические механизмы: адгезия, химическое взаимодействие, коррозионное растрескивание, усталостное разрушение, пластическое деформирование.

Известные методы защиты рабочих поверхностей ПК крупных электрических машин от фреттинг-коррозии предусматривают применение конструктивных устройств (например, проворачивающих вал с подшипниками относительно корпуса во время транспортировки) или применение специальных технологических способов (например, использование специальных смазок с дисульфидом молибдена, создание регулярного микрорельефа на рабочих поверхностях, фосфатирования колец подшипников и др.) [1-3].

Для исследования и испытания ПК в условиях фреттинг-коррозии разработан специальный стенд (рис.1). Стенд состоит (рис. 2) из корпуса 1, в котором сделаны две расточки под наружную обойму подшипника. Корпус имеет продольный разрез, позволяющий с помощью винтов осуществлять зажим наружного кольца подшипника. Внутри корпуса помещается валик 2, имеющий две посадочные шейки 3 для установки исследуемых внутренних колец подшипников. Задний конец валика поддерживается опорным устройством 4, которое одновременно фиксирует валик в определенном положении. Передний конец валика имеет вылет до передней опоры (подшипника) порядка 100 мм и служит для передачи колебаний на передний подшипник. Колебания возбуждаются вибратором 5 на эксцентрично расположенном вале 6, на конце которого имеется ПК 7, передающий колебания вращающего вала вибратора неподвижному валику. Вибратор передает на вал колебания с частотой 25 Гц и амплитудой 50 мкм, при этом исследуемое внутреннее кольцо подшипника в зависимости от радиального зазора имеет амплитуду колебаний вдоль касательной от 1 до 10 мкм. Именно колебания в касательном направлении и вызывают повреждения от фреттинг-коррозии на поверхностях колец и роликов.

Процесс получения фреттинг-коррозии на стенде осуществляется следующим образом. На переднюю шейку вала надевается исследуемое сменное внутреннее кольцо подшипника, на заднюю шейку надевается такое же кольцо, которое будет работать постоянно. В

расточках корпуса устанавливаются наружные кольца с сепараторами и закрепляются винтами от проворота и осевого перемещения. На передний конец валика передаются заданные колебания. Задний конец валика крепится в поддерживающем устройстве, которое фиксируется на основании станда.

В качестве объекта испытания использовались стандартные роликовые подшипники типа 32205Д1, изготавливаемые на ОАО «Самарский подшипниковый завод». Отдельная партия серийных подшипников была обработана методом финишного плазменного упрочнения (ФПУ). Сущность процесса ФПУ состоит в финишной обработке одного или нескольких элементов трения ПК путём поверхностного воздействия высокоэнергетической, насыщенной специальными реагентами, движущейся плазменной струи, генерируемой при атмосферном давлении малогабаритным плазмотроном. При этом на обрабатываемой поверхности образуется тонкоплёночное (1-3 мкм) износостойкое покрытие и одновременно осуществляется процесс повторной закалки тонкого подплёночного слоя. Интегральная температура нагрева элементов ПК качения в процессе ФПУ не превышает 100 °С.

На первой стадии экспериментов исследовался стандартный подшипник, через два часа работы которого ($1,6 \times 10^5$ циклов) на линии контакта ролика с внутренним кольцом образовывалась полоска фреттинг-коррозии площадью 1,6-2,8 мм². Площадь повреждения определялась замерами с помощью инструментального микроскопа УИМ-21 длины и ширины полоски повреждения. Эксперимент проводился неоднократно и результат повторялся. Затем на стенде проводились испытания партии подшипников, кольца которых были обработаны методом ФПУ. Время эксперимента - 4 часа ($3,2 \times 10^5$ циклов). При этом за данное время образовывалась полоска фреттинг-коррозии площадью 0,12-0,26 мм².

Значение микротвердости исходных ПК № 3204 изготовленных из материала ШХ15 при нагрузке 50 Г замеренных на приборе Micromet II (фирма Buehler) составили: $HV_{\max} = 946,1$ (HRC 68); $HV_{\min} = 852,3$ (HRC 66); $HV_{\text{cp}} = 911,5$ (HRC 67,35). После проведения ФПУ замеры микротвердости на поверхности этого же кольца подшипника составили: $HV_{\max} = 1379$; $HV_{\min} = 1362$; $HV_{\text{cp}} = 1372$. Т.о. после ФПУ микротвердость рабочих поверхностей увеличивается в среднем в 1,5 раза.

Характер субмикрорельефа рабочих поверхностей колец, исследовавшийся на просвечивающем электронном микроскопе ЭММА-2 методом углеродно-серебряных реплик, показал характерный высокооднородный рельеф, присущий поверхностям после ФПУ (в то время как субмикрорельеф поверхностей дорожек качения серийного кольца имеет явно выраженные многообразные следы-риски от предшествующей механической обработки).

Низкая фреттингостойкость стандартных ПК объясняется тем, что все поверхности подвижного и неподвижного колец, а также поверхности тел качения - цилиндрических или конических роликов, по которым осуществляется их контактное взаимодействие, имеют предельно неоднородный микрорельеф. Шероховатость поверхности, обуславливающая все эксплуатационные свойства подшипников, характеризуется в соответствии с требованиями ГОСТов на их изготовление следующими параметрами колец: $R_a = 0,63-0,08$ мкм, тел качения - не выше $R_a = 0,16$ мкм, радиусами выступов и впадин $r = 10-30$ мкм, соотношениями шагов $s/s_m = 0,5-0,7$. Наличие таких неровностей на контактирующих поверхностях приводит к дискретному контакту тел качения и колец подшипника, и подтверждается тем, что относительная опорная длина профиля $t_{50} = 25-40$ %. При этом действительная (фактическая) площадь контакта, через которую передаются давления от одной поверхности к другой, составляют лишь малую часть от номинальной. Это приводит к большим контактным деформациям поверхностных слоев, пластическому смятию наиболее выступающих неровностей, что увеличивает радиальные и осевые зазоры в подшипнике. Под действием циклических контактных напряжений отдельные неровности отделяются (откалываются от поверхностного слоя) и происходит интенсивный износ рабочих поверхностей сопряженных деталей, и подшипник быстро выходит из строя.

В результате проведенных предварительных стендовых испытаний и исследований показана эффективность ФПУ рабочих элементов ПК с точки зрения повышения их фреттингостойкости и были даны рекомендации по проведению их натурных испытаний.

Натурные испытания, проведенные в АО «Электросила» (г. Санкт-Петербург), по проверке состояния ПК типа 32220 (одного упрочнённого, другого серийного) в условиях транспортирования электрической машины ГСФ-200 железной дорогой по маршруту Санкт-Петербург - Барнаул и обратно, показали полное отсутствие повреждений от фреттинг-коррозии упрочнённого ПК, в то время как на контрольном серийном ПК имелись существенные повреждения. При внешнем осмотре не упрочнённого ПК установлено: на беговой дорожке внутреннего кольца в его средней части имеются притирочные пятна-полосы, состоящие из отдельных рисок длиной до 8 мм и шириной 0,2-0,3 мм. Длина поврежденной зоны около половины периметра кольца. Поврежденные зоны покрыты окисной пленкой желто-красного цвета. На половине роликов повреждения аналогичные вышеприведенным. На нижней половине беговой дорожки наружного кольца повреждения такие же, как и на внутреннем кольце. При транспортировке имели место незначительные крутильные колебания вала, что говорит о менее жестком режиме испытания данного подшипника. При осмотре ПК упрочнённого методом ФПУ повреждения подшипника незначительны и не связаны с фреттинг-коррозией. Они являются следами износа и

образовались в результате длительного трения при микроперемещениях тел качения относительно друг друга в осевом направлении. При транспортировке поворот вала практически отсутствовал, т.е. режим испытаний был наиболее тяжелым.

Проведенные стендовые и натурные испытания ПК показали эффективность использования технологии ФПУ для подшипников используемых в различных машинах, механизмах и оборудовании как перспективный способ борьбы с фреттинг-коррозией и повышения ресурса работы подшипников. Использование процесса ФПУ может быть рекомендовано как для предприятий создающих многопрофильную технику, в которых используются ПК (крупные электрические машины, подъемно-транспортное оборудование, агрегаты тяжелого машиностроения), для предприятий, эксплуатирующих технику с ПК (вибрационные машины, железнодорожный транспорт, дорожные машины), так и для предприятий выпускающих ПК (подшипниковые заводы). Оборудование для ФПУ, состоящее из малогабаритного блока аппаратуры, источника тока и плазмотрона, выпускается и поставляется НПФ «Плазмацентр».

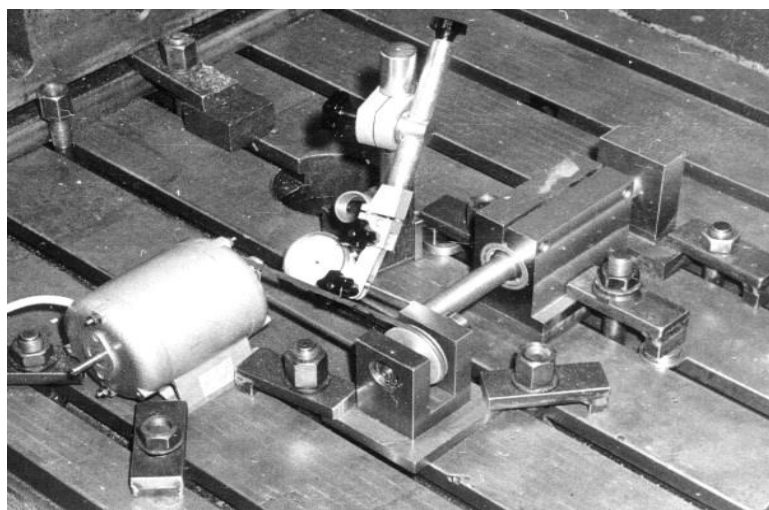


Рис. 1. Стенд для испытаний подшипников качения на фреттинг-коррозию

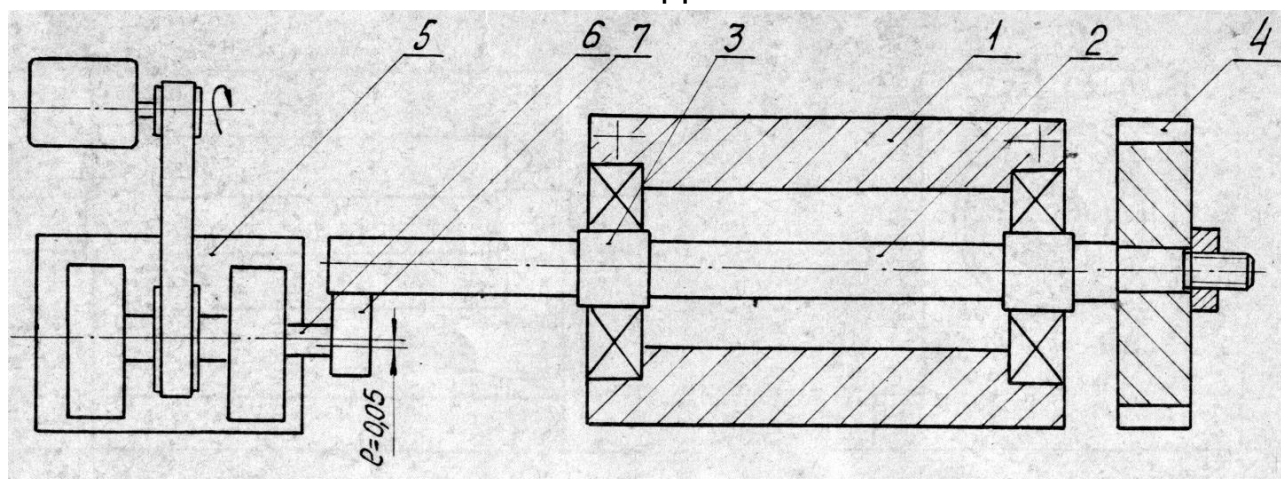
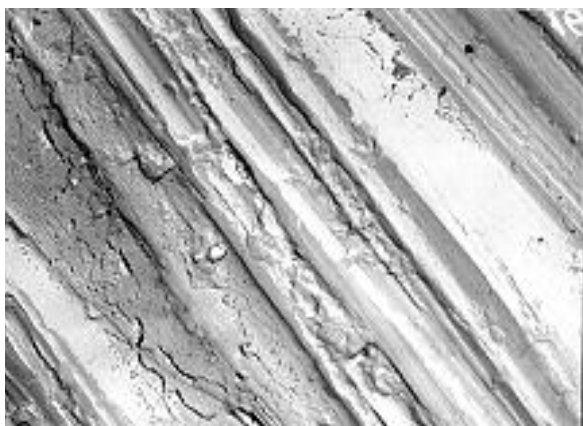


Рис. 2. Устройство стенда для испытания ПК на фреттинг-коррозию



а/



б/

Рис. 3. Топография поверхности рабочей дорожки внутреннего кольца ПК (увеличение $\times 5000$): а/ до ФПУ; б/ после ФПУ

Литература

1. Алесюк С.В., Тополянский П.А. Плазменное напыление фреттингостойких покрытий на детали электрических машин. Достиж. ленинградских науч. и произв. коллективов в области сварки за 1987 г. Материалы научно- практической конференции. Л. 1988. - С. 49-51
2. Тополянский П.А. Повышение стойкости в условиях фреттинг-коррозии элементов турбогенераторов путем плазменного напыления защитного покрытия. Коррозия металлов под напряжением и методы защиты. Тезисы докладов. Львов. 1989. - С. 136-137
3. Тополянский П.А., Соснин Н.А. Защита от фреттинг-коррозии подшипников качения крупных электрических машин. Пленки и покрытия-2001. Труды 6-й международной конференции. Изд-во СПбГПУ, 2001. - С. 445-449