

РАЗРАБОТКА КЛЕЕВОЙ И КЛЕЕСВАРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТА ПОСАДОЧНЫХ МЕСТ ПОДШИПНИКОВ ДЛЯ ПРОДЛЕНИЯ РЕСУРСА ЭКСПЛУАТАЦИИ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ*

Ю.С. ВАСИЛЬЕВ, Н.И. ОЛЕЙНИК, Л.С. ПАРШУТИНА

ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ. 03680, г. Киев-150, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Проведен анализ физико-механических факторов, определяющих ресурс эксплуатации подшипниковых узлов. Разработаны клеевая и клеесварная технологии восстановления посадочных мест подшипников в опорах тяжело нагруженных зубчатых передач. Подобраны составы ремонтного композиционного материала на базе клея «Коутекс» и оптимальные режимы постадийного нанесения аппретирующего, шпатлевочного и финишного слоев покрытия. Установлены граничные значения реологических характеристик клеевых композиций для формирования клеесварного ремонтного соединения. Библиогр. 4, рис. 7.

Ключевые слова: технология ремонта, подшипниковый узел, клеесварная технология, ремонтные клеевые композиции, редуктор

В Украине эксплуатируется большое количество промышленного оборудования, которое уже отработало определенный производителем срок службы. Высокая степень износа геометрических параметров, наличие усталостных и коррозионных повреждений требуют проведения большого объема ремонтно-восстановительных работ. Самым распространенным дефектом корпусных деталей является износ посадочных поверхностей под подшипники. Восстановление массовых корпусных деталей экономически целесообразно, т.к. позволяет существенно снизить расход запасных частей при ремонте и обеспечить необходимую долговечность сборочных единиц машин.

В настоящее время накоплен достаточный опыт по ремонту подшипниковых узлов в конструкциях различного назначения, который учитывает режимы работы и условия эксплуатации оборудования, надежность и долговечность подшипников, удобство и простоту обслуживания в процессе эксплуатации. Способы восстановления изношенных поверхностей на основе сварки, напыления и наплавки металлическими материалами и порошками нашли широкое применение на крупных специализированных предприятиях, где используется высокоточное оборудование для механической обработки посадочных мест подшипников с обеспечением параллельности осей

и межцентровых расстояний. Применение сварки и последующей механической обработки значительно увеличивает объем сопутствующих работ, связанных с демонтажем и последующим монтажом элементов оборудования, включая непроизводительные затраты на транспортировку демонтированного оборудования на ремонтные участки и производства. Поэтому разработка эффективной технологии ремонта и восстановления изношенных и поврежденных агрегатов промышленного оборудования непосредственно в условиях эксплуатации объектов или на ремонтном участке является актуальной.

Использование полимерных материалов значительно упрощает технологию восстановления посадочных мест и повышает долговечность подшипников качения за счет перераспределения внешней нагрузки между телами качения [1]. Наибольшее распространение в ремонтных работах промышленного оборудования нашли высоконаполненные металлополимерные клеевые композиции (мультиметаллы), а технология получила название «холодная молекулярная сварка». Эти композиционные материалы (по сравнению с чистыми полимерами) обладают повышенной жесткостью, прочностью и вибростойкостью, теплостойкостью, стабильностью размеров, а также пониженной газо- и водопроницаемостью. Совмещение технологических процессов сварки и склеивания при использовании металлополимерных композиций позволяет повысить жесткостные и прочностные характеристики металлоконструкций без снижения эксплуатационных нагрузок.

* По материалам работы, выполненной в рамках целевой комплексной программы НАН Украины «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин»(2013–2015 рр.).

Цель научно-исследовательской работы состояла в разработке клеевой и клеесварной технологий ремонта подшипниковых узлов энергетического оборудования по месту эксплуатации на базе отечественных металлополимерных клеевых композиций, полученных путем рецептурного модифицирования промышленно выпускаемых полимерных матриц.

На основании опыта конструирования и эксплуатации металлических подшипников качения определен характер сопряжения колец подшипника с валом и с корпусом, который зависит от вида их нагружения — циркуляционного или местного [2]. Циркуляционно нагруженные кольца должны соединяться с сопрягаемой деталью неподвижно. Наличие зазора между циркуляционно нагруженным кольцом и сопряженной с ним деталью приводит к проворачиванию кольца относительно посадочного места, в результате чего происходит развальцовывание и износ шейки вала или корпуса, изготавливаемых обычно из более мягкого металла по сравнению с материалом кольца подшипника. Наоборот, подвижное соединение местно нагруженных колец с сопрягаемыми деталями предусматривает наличие зазора или незначительного натяга между кольцом и посадочным местом, что позволяет кольцу под действием толчков и вибраций медленно поворачиваться относительно своего посадочного места, и в работе участвует не ограниченный участок, а вся дорожка качения кольца. Такой способ установки местно нагруженных колец в значительной степени повышает срок службы подшипника, так как в противном случае имеет место износ дорожки качения кольца только на одном ее участке.

В соответствии с характером сопряжения колец подшипников с корпусом и учетом величины износа посадочных отверстий исследованы следующие методы ремонта подшипниковых узлов с использованием клеевых композиционных материалов (ККМ):

1. Вклеивание колец подшипника в посадочное место с образованием неподвижного соединения.
2. Формирование посадочных отверстий номинального размера в корпусной детали с образованием минимального зазора или небольшого натяга.

Вклеивание подшипников при износах до 0,25 мм рекомендуется производить с использованием жидкотекучих анаэробных клеевых композиций типа Анатерм и Унигерм (Россия), Локтайт (США), Пермабонд (Великобритания) [1]. Сущность этого способа заключается в том, что процесс восстановления посадочного места совмещается со сборочной операцией узла подшипника, в результате чего образуется неподвижное соеди-

нение подшипника и вала (корпуса), во много раз превосходящее по своим прочностным характеристикам рекомендуемые в таких случаях посадки с натягом. Это надежно предохраняет кольца подшипника от проворота, исключает появление фреттинг-коррозии и обеспечивает более надежную работу узла. При этом клейка, в отличие от посадки с натягом, не приводит к появлению напряжений и деформаций колец подшипника, что также способствует более надежной работе.

В порядке предложения по импортозамещению зарубежных анаэробных материалов нами проведено исследование по восстановлению подшипниковых узлов с использованием отечественных клеевых композиций на эпоксидной и полиуретановой полимерных матрицах. Наиболее технологичной и ремонтпригодной определена клеевая композиция «Коутекс» — совместная разработка ИХВС НАНУ и ПО «Дайвер». Композиция представляет собой жидкотекучую двухупаковочную клеевую систему (основа + отвердитель в соотношении 1:1), обладающую высокой адгезией к влажным и замасленным поверхностям. Процесс формирования ремонтных соединений состоит в предварительной механо-химической обработке посадочных мест, нанесении тонкого слоя клеевой композиции на внешнюю поверхность наружного кольца подшипника и сборке подшипникового узла.

Для ремонта подшипниковых узлов с износом до 1,0 мм используется тиксотропная клеевая композиция «Коутекс», а обеспечение требуемой точности сборки осуществляется с помощью приспособлений для фиксации деталей в определенном положении на время отверждения. В противном случае под действием силы тяжести происходит выдавливание клея и нарушается соосность посадочного отверстия и вала с подшипником.

Ремонт подшипниковых узлов в крупногабаритных редукторах энергетического оборудования состоит в восстановлении геометрии опорных поверхностей подшипников с помощью ККМ различной степени наполнения неорганическими частицами. Пастообразный ККМ наносится с избытком на место износа и обрабатывается под номинальный размер после отверждения (рис. 1) [3]. Прослойка ККМ между наружным кольцом подшипника и посадочным кольцом корпуса редуктора под действием внешней нагрузки деформируется, обеспечивая ее рациональное распределение между телами вращения. В работе [4] определены оптимальные физико-механические характеристики полимерного слоя в зависимости от действующей нагрузки и зазора между кольцом и посадочным местом.

Необходимым требованием к применяемым ККМ является обеспечение достаточного уровня

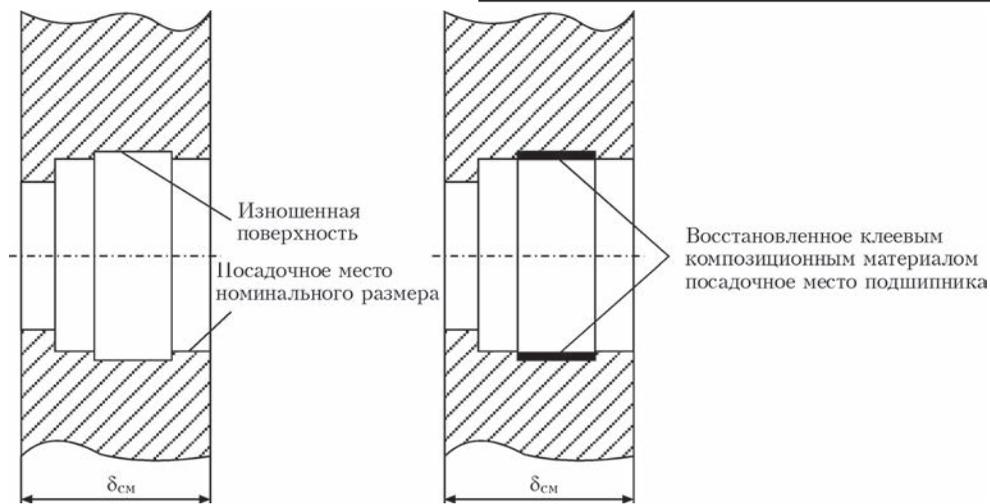


Рис. 1. Восстановление посадочного места подшипника с помощью ККМ [3]

технологической (начальной) прочности клеевых соединений через 30...60 мин после нанесения. Это позволяет существенно снизить трудоемкость технологического процесса склеивания благодаря возможности проведения последующих операций до полного завершения ремонта. Клеи с длительной жизнеспособностью за это время не набирают технологическую прочность, что увеличивает время ремонта и длительность простоя оборудования. Поэтому для разработки клеевой и клеесварной технологий ремонта подшипниковых узлов были проведены исследования по усовершенствованию составов клеевых композиций для создания ремонтных материалов с требуемым уровнем реологических характеристик и жизнеспособности.

С целью уточнения химического состава и количественного содержания компонентов ремонтных клеевых композиций (РКК) был проведен анализ исследований аналогичных по назначению материалов «Дурметалл» (Швейцария), «Честер Молекуляр» (США). Результаты показали, что полимерной основой выбранных материалов является ароматическая эпоксидная смола, что подтверждается наличием пиков поглощения в области 2900 см^{-1} (ароматические кольца) и в области 830 см^{-1} (эпоксидные группы). Этот вывод согласуется также с анализом масс-спектров, имеющих линии молекулярной массы 43 (эпоксидная группа) и 94 (бензольное кольцо). Отвердители могут быть классифицированы как ангидридные (полосы поглощения 1513 и 1718 см^{-1}) или оксидные с последующей перегруппировкой в присутствии катализатора PC15 в аминные группы. Это подтверждается наличием остатков HCN с молекулярной массой 27 по масс-спектру и полосы 812 см^{-1} по ИК-спектру. Масс-спектрометрия активатора ускоренного типа показывает наличие линии с молекулярной массой 19, указывающей на то, что катализатором является комплекс трехфтористого бора с эфиром. Исследования, проведенные методом пиро-

лиза, показали высокое наполнение неорганическими частицами размером от 5 до 150 мкм.

Выявленные материаловедческие закономерности создания дисперсно упрочненных полимерных композиционных материалов послужили основой для разработки РКК на базе отечественной клеевой полимерной матрицы «Коутекс» и отверждающих систем — УП-583, УП-0633М и Л-19, который также является активным пластификатором, обладающим свойствами поверхностно-активных веществ (ПАВ). Исследования процессов наполнения РКК осуществлялись при введении частиц оксидов металлов Ti, Fe, Cr, Zn, порошков железа, кварца, а также частиц чешуйчатой формы на основе базальта.

Взаимодействие полимерной матрицы с аминными отвердителями в присутствии перечисленных оксидов изучали методом дифференциально-термического анализа (ДТА). Установлено, что все используемые оксиды металлов влияют на процесс отверждения эпоксидного олигомера. При этом фиксируется некоторое смещение температуры начала реакции и температур максимального пика кривой ДТА в область более низких значений по сравнению с ненаполненной композицией. Оксид хрома оказывает обратное действие. Экзотермический эффект при введении дисперсных частиц увеличивается в следующей последовательности: $\text{Cr}_2\text{O}_3 >$ чистая композиция $>$ $\text{Fe}_2\text{O}_3 >$ $\text{ZnO} >$ TiO_2 . При введении оксидов в эпоксиаминную композицию наблюдается снижение энергии активации процесса отверждения. Приведенные данные указывают на каталитическую активность оксидов Ti, Fe, Zn и ингибирующее действие Cr_2O_3 на процесс отверждения эпоксиаминных композиций. С целью снижения стоимости расходных материалов применялся кварцевый порошок в виде частиц размером до 200 мкм.

Известно, что введение в полимерную матрицу высокодисперсных частиц размером менее

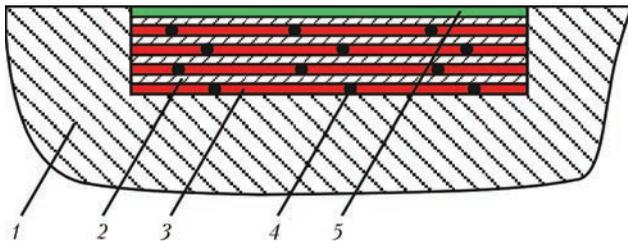


Рис. 2. Клееварной метод восстановления посадочного места подшипника в корпусной детали: 1 — опора; 2 — многослой из тонколистовой стали 05кп; 3 — наполнитель межслоистого пространства — анаэробный герметик; 4 — сварная точка; 5 — финишный слой композита

1 мкм приводит к образованию цепочечных структур, кластеров и агрегатов. В процессе полифракционного наполнения высокодисперсные частицы заполняют «свободный» объем между более крупными фракциями, повышая степень упаковки и прочностные показатели. Усиление РКК осуществлялось введением ультрадисперсного порошка (УДП) карбида кремния (SiC) с размером частиц 0,03...0,2 мкм и удельной поверхностью около 20 м²/г. При введении УДП с объемной долей $v_n \sim 0,1 \dots 0,2$ усиливающее действие наполнителя проявляется в увеличении поверхностной энергии разрушения и прочности при растяжении. В композиции возникает бесконечный объемный кластер из цепочек частиц УДП, связанных с крупнодисперсными частицами через пленочные прослойки матрицы, и образующий каркас, представляющий пространственную сеть. Такой каркас при нагружении деформируется, а его ячейки искажаются, растягиваясь или сжимаясь в зависимости от направления приложенной нагрузки.

Нами разработана клеевая технология восстановления поверхностей посадочных мест подшипников в корпусе редуктора, основанная на формировании трехслойного ремонтного композиционного покрытия. Первый слой — аппрети-



Рис. 3. Корпус редуктора РЛКУ-250М



Рис. 4. Износ посадочных мест подшипников

рующий (грунтовочный) с высокой адгезионной способностью к восстанавливаемой поверхности опоры (РКК-1). Второй — шпатлевочный с высокими прочностными и демпфирующими характеристиками (РКК-2). Третий — финишный, обеспечивающий максимальную величину фактического контакта (РКК-3).

Для ремонта тяжело нагруженных подшипниковых узлов и компенсации значительных износов опорных поверхностей нами предложена клееварная конструкция ремонтного посадочного места подшипника качения в корпусе крупногабаритного редуктора с целью повышения несущей

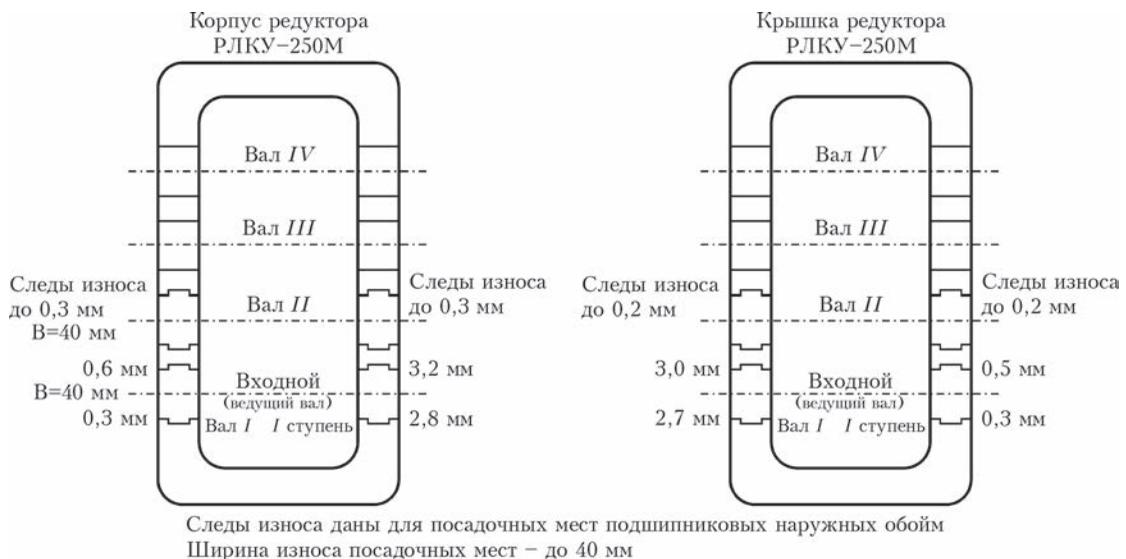


Рис. 5. Карта расположения и размеры дефектов, подлежащих ремонту с помощью РКК



Рис. 6. Установка фальшвалов на посадочные места подшипников

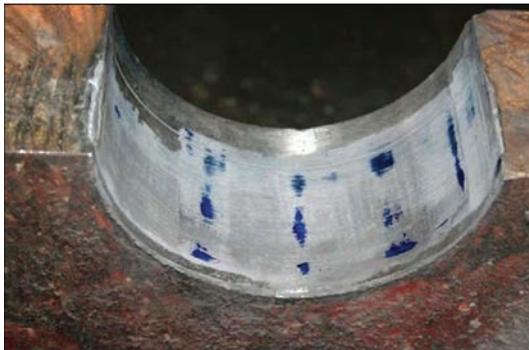


Рис. 7. Контроль точности восстановления посадочных мест подшипников

способности и изгибной жесткости так называемого «шпатлевочного слоя» (рис. 2).

Ремонтная конструкция представляет собой многослой, состоящий из набора пластин тонколистового металла толщиной 0,1...0,5 мм (2), соединенных сварными точками (4) и клеевыми прослойками (3) (рис. 2). Контактная поверхность с подшипником сформирована из эластичного клеевого композиционного материала (5).

Отработка технологических методов ремонта энергетического оборудования с использованием экспериментальных РКК осуществлялась на предприятиях Донецкой топливноэнергетической компании ДТЭК. В качестве объекта исследований выбрано проведение ремонта крупногабаритного цилиндрического редуктора РЛКУ-250М (рис. 3). В результате обследования редуктора установлены места износа и измерены размеры дефектов (рис. 4, 5). Проверка овальности и конусности посадочных мест, неподверженных износу, при помощи фальшвала (рис. 6) показала их соответствие размерам и допускам, заданным в рабочих чертежах. Восстановление посадочных мест подшипников (вал 1 и вал 2) выполнено согласно разработанного технологического регламента ремонта редуктора.

Окончательный контроль восстановленных посадочных мест подшипников выполнялся способом краски с помощью фальшвалов (рис. 7).

После производственных испытаний отремонтированный редуктор эксплуатируется на Першотравенском ремонтно-механическом заводе с марта 2014 г. по настоящее время.

1. *Применение и прочность полимерных материалов при изготовлении и ремонте машин и оборудования* / Б.А. Грязнов, В.К. Бухтияров, В.А. Какуевичкий и др. // Ин-т проблем прочности им. Г.С. Писаренко НАН Украины. – Киев, 2013. – 296 с.
2. *Перель Л.Я. Подшипники качения: Расчет, проектирование и обслуживание опор: Справочник.* – М.: Машиностроение, 1983. – 543 с.
3. *Гончаров А.Б., Тулинов А.Б., Одинцов Л.Г. Способ восстановления диаметрального размера сушильного цилиндра бумагоделательного оборудования* // А.с. № 2364487, Бюл. № 23 от 20.08.2009.
4. *Тулинов А.Б., Гончаров А.Б. Новые композиционные материалы в ремонтном производстве* // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2003. – № 11. – С. 46–49.

Поступила в редакцию 22.12.2015

III Международная научно-практическая конференция СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

19–21 апреля 2016 г.

Андижан, Узбекистан

Андижанский машиностроительный институт совместно с Туринским политехническим университетом в г. Ташкенте и ЗАО «Дженерал Моторс–Узбекистан» проводят Международную научно-практическую конференцию «Современные материалы, техника и технологии в машиностроении».

Тематика конференции:

- ◆ современное инженерное образование: проблемы и перспективы развития;
- ◆ современное машиностроение;
- ◆ энергообеспечение и энергосбережение в промышленности;
- ◆ современные методы организации и управления производством.

Оргкомитет: E-mail: andmiedu@umail.uz
Тел.: (+99874) 223-43-67, 223-43-78
<http://conf.andmiedu.uz/>