

УДК 621.792

Повышение адгезионной прочности полимерных составов холодного отверждения, используемых при восстановлении опорных поверхностей валов

Кононенко Александр Сергеевич

as-kononenko@yandex.ru

Абдоков Виталий Эдуардович

abdokovvitalij@gmail.com

SPIN-код: 9768-3916

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрено влияние нанонаполнителей на адгезионную прочность составов холодного отверждения. Показано, что добавление аморфного наноксида кремния в концентрации 1,15 % обеспечивает максимальную адгезионную прочность (например, «Анатерм 216» — 46,95 МПа), что выше результата исследований на адгезионную прочность ненаполненного состава на 40,3 %. Установлено, что гранулометрический состав наполнителя напрямую влияет на адгезионную прочность полимерных составов: чем меньше фракция, тем больше увеличение адгезионной прочности.

Ключевые слова: опорная поверхность вала, состав холодного отверждения, нанонаполнители, адгезионная прочность, гранулометрический состав

Improving the adhesive strength of cold-curing polymer compositions used for restoring shaft bearing surfaces

Kononenko Alexander Sergeevich^(*)

as-kononenko@yandex.ru

Abdakov Vitaly Eduardovich²

abdokovvitalij@gmail.com

SPIN-code: 9768-3916

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. The influence of nanofillers on the adhesive strength of cold-curing compositions is examined. It is shown that the addition of amorphous silicon nanooxide at a concentration of 1.15 % provides maximum adhesive strength (e.g., Anaterm 216 — 46.95 MPa), which is 40.3 % higher than the results of studies on the adhesive strength of unfilled compositions. It has been established that the granulometric composition of the filler directly affects the adhesive strength of polymer compositions — the smaller the particle size, the greater the increase in adhesive strength.

Keywords: shaft bearing surface, cold-curing composition, nanofillers, adhesive strength, granulometric composition

Введение. Валы являются ресурсопределяющими деталями редукторов, двигателей, трансмиссий и других механизмов, используемых в различных отраслях промышленности. Их выход из строя может привести к остановке

отдельного узла или всей системы. Особую важность представляют цапфы — опорные поверхности валов, которые в процессе эксплуатации подвергаются износу.

Для увеличения послеремонтного ресурса опорных поверхностей валов применяются различные способы восстановления, среди которых в качестве основных используются газотермическое напыление и наплавка [1, 2]. Однако экономически более выгодным решением проблемы восстановления изношенных опорных поверхностей, может стать применение ремонтной полимерной композиции на основе эпоксидной смолы, усиленной наполнителем, повышающим эксплуатационные характеристики полимерных составов [3, 4]. Ремонтная композиция наносится на изношенную поверхность вала и полимеризуется, после чего устанавливается подшипник. Такой подход позволяет восстановить работоспособность вала и продлить его послеремонтный ресурс.

Предложенный способ восстановления имеет ряд технологических преимуществ, таких как простота технологического процесса, отсутствие термического влияния на деталь, сохранение структуры основного металла и исключение фреттингового изнашивания за счет создания полимерной прослойки в соединении вала с подшипником. Данный способ также является более экономически выгодным в связи с меньшими затратами на расходные материалы, электроэнергию и отсутствием необходимости в высококвалифицированном персонале для реализации технологии.

Одним из важных показателей применения предложенного способа восстановления является адгезионная прочность полимерного состава с основным металлом, для повышения которой используют смешивание с нанонаполнителями [5]. В данной работе рассматривается способ повышения адгезионной прочности полимерных составов с добавлением таких нанонаполнителей, как порошок нанокислота алюминия (Al_2O_3) и порошок нанокислота кремния аморфный (SiO_2).

Материалы и методы. Для определения массовой доли наполнителей использовали формулу Коунто (1) [6]:

$$\frac{E_{нк}}{E_{п}} = (1 - \varphi_n^{1/2}) + \frac{E_n}{\frac{(1 - \varphi_n^{1/2})}{\varphi_n^{1/2}} E_{п} + E_n}, \quad (1)$$

где $E_{нк}$, $E_{п}$, E_n — модули упругости композиции, ненаполненного полимера и наполнителя соответственно, МПа; φ_n — объемная доля наполнителя.

Рассчитанная теоретическая массовая доля Al_2O_3 в полимерной композиции составила 0,5 %, SiO_2 — 1,15 %.

Для определения адгезии полимерных составов холодного отверждения наиболее приемлемым является способ оценки статической прочности при равномерном отрыве соединений в соответствии с ГОСТ 14760–69. Методика основана на измерении разрушающего напряжения при нормальном растяжении стандартных цилиндрических образцов диаметром 25 мм. Направление прикладываемой нагрузки перпендикулярно плоскости

адгезионного контакта площадью 490 мм². Образцы из двух одинаковых половин склеивали испытываемым составом таким образом, чтобы диаметры этих половин отличались друг от друга не более чем на 0,1 мм, а их взаимное смещение не превышало 0,5 мм. Рабочие поверхности образцов изготавливались плоскими и перпендикулярными к продольной их оси, а опорные поверхности головок — параллельными склеиваемым поверхностям.

Образцы для испытаний подготавливали с помощью точения рабочей поверхности с дальнейшей пескоструйной обработкой. Перед нанесением полимерного состава поверхности образцов предварительно обезжиривали, после чего склеивали с зазором 0,2 мм. После склеивания происходило выдавливание излишков состава и последующее удаление его ветошью. Отверждение полимера между образцами происходило в течение 24 ч в сухом отапливаемом помещении при температуре 23 °С.

Исследования проводились на испытательной машине И1147М-50-03-1. Закрепление испытываемого образца осуществляли резьбовыми шпильками, обеспечивающими точное центрирование. Нагрузку прикладывали с постоянной скоростью 10 мм/мин до достижения разрушения образца. В процессе испытаний регистрировали максимальное значение нагрузки, по результатам пяти повторных испытаний рассчитывали среднее значение нормальных разрушающих напряжений при отрыве для исследуемых полимерных составов «Анатерм-216» (производитель — НИИ ПОЛИМЕРОВ, Россия) и «Kafuter K-9119» (производитель — ZeepDeer, Тайланд). Были испытаны как наполненные, так и ненаполненные составы.

Также было изучено влияние нанонаполнителей на модуль упругости полимеров, среднее значение которого определяли согласно формуле 2 по результатам пяти испытаний:

$$\bar{E} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\Delta F_i}{S \Delta x_i / l}, \quad (2)$$

где ΔF_i — изменение нагрузки i -го образца; Δx_i — смещение i -го образца в границах изменения нагрузки, мм; S — площадь полимерной прослойки, мм²; l — исходная длина образца, мм.

Результаты и их обсуждение. Результаты измерений адгезионной прочности и модуля упругости представлены в таблице.

Значения адгезионной прочности и модуля упругости полимерных составов

Нанонаполнитель	Адгезионная прочность, МПа		Модуль упругости, МПа	
	Анатерм-216	Kafuter K-9119	Анатерм-216	Kafuter K-9119
Без наполнителя	31,10	25,42	1284	1123
SiO ₂	46,95	38,13	1452	1301
Al ₂ O ₃	39,54	34,11	1397	1218

Анализ полученных результатов показал, что использование нанонаполнителей приводит к увеличению адгезионной прочности и модуля упругости полимерных составов. Так, оксид алюминия повысил адгезионную прочность обоих составов до 26,5 %, а оксид кремния до 40,3 %. Модуль упругости при добавлении SiO_2 увеличился до 13,5 %, а Al_2O_3 — до 8,3 %. Поэтому для повышения адгезионных свойств композиций, используемых при восстановлении опорных поверхностей валов, рекомендуется использовать в качестве наполнителя наноксид кремния аморфный (SiO_2). Исходя из данных о гранулометрическом составе исследованных нанонаполнителей (фракция SiO_2 — 20 нм, фракция Al_2O_3 — 56 нм) можно также прийти к предварительному заключению, что меньшая фракция наполнителя имеет большее положительное влияние на адгезионную прочность полимеров в связи с большей поверхностной площадью частиц наполнителя.

Заключение. Таким образом, анализ результатов исследований на адгезионную прочность композиций Kafuter K-9119 и Анатерм-216 с добавлением нанонаполнителей — порошков нанокислота алюминия (Al_2O_3) и аморфного оксида кремния (SiO_2) показал, что лучшие механические характеристики имеет состав Анатерм-216 с добавлением SiO_2 в концентрации 1,15 %. Гранулометрический состав наполнителя влияет на адгезионную прочность полимерных составов: чем меньше фракция, тем больше адгезионная прочность композиции.

Список источников

- [1] Пучин Е.А., Новиков В.С., Очковский Н.А. *Практикум по ремонту машин*. Москва, Изд-во Колос, 2009, 327 с.
- [2] Пучин Е.А., Лисунов Е.А., Чепурин А.В. *Надежность технических систем*. Москва, Изд-во КолоС, 2010, 318 с.
- [3] Кононенко А.С. *Реновация машин и оборудования полимерными материалами*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2024, 154 с.
- [4] Козлов Г.В. Структура и свойства дисперсно-наполненных полимерных нанокомпозитов. *УФН*, 2015, № 185:1, с. 35–64.
- [5] Кондаков Л.А., Голубев А.И., Овандер В. Б. *Уплотнения и уплотнительная техника. Справочник*. Москва, Машиностроение, 1986, 464 с.
- [6] Хаббатуллин Р.Р., Кононенко А.С. Исследование влияния размера наночастиц на прочность полимерного состава. *Инновационные технологии, оборудование и материальные заготовки в машиностроении. Междунар. науч.-техн. конф.: сб. тр.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2022, с. 258–261.