

04, декабрь 2018

УДК 678.5

Восстановление шпоночных соединений полимерными материалами

Ахмедова К.Р., бакалавр

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Технологии обработки материалов»*

kar9836@yandex.ru

Научный руководитель: Кононенко А. С., д.т.н., профессор

Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана

as-kononenko@yandex.ru

Аннотация: В статье рассмотрены способы восстановления шпоночных соединений полимерными материалами, показаны альтернативные способы восстановления с указанием их достоинств и недостатков. Приведен анализ отечественных и зарубежных полимерных ремонтных составов. Показано влияние наполнителей на механические и эксплуатационные свойства полимерных материалов.

Ключевые слова: шпоночные соединения (key connections), полимерные материалы (polymer materials), восстановление (repair), дефекты (defects), износ (wear).

Введение

Шпоночные соединения служат для передачи крутящего момента между валом и ступицей насаженной на вал детали. Шпонка устанавливается в специальный паз и выступает в качестве вспомогательной детали. Именно она позволяет передавать крутящий момент между деталями соединения. Износ и смятие шпоночных пазов, а также износ самой шпонки является одной из основных причин выбраковки валов. С точки зрения экономики и технологичности целесообразнее заменять изношенные шпонки на новые, а изношенные валы и втулки – восстанавливать.

Шпоночные соединения по конструктивным особенностям подразделяют на призматические, сегментные, цилиндрические и клиновые.

Призматические шпонки наиболее широко применяют в машиностроении. Они просты в конструкции и обладают низкой стоимостью. Тем не менее они имеют ряд существенных недостатков: возникновение концентраций напряжений в области шпоночного паза, невысокая надёжность соединений при ударных нагрузках, сложность взаимозаменяемости, необходимость ручной подгонки.

Сегментные шпонки часто используют в серийном производстве. Аналогично призматическим шпонкам, они просты в конструкции, но помимо этого ещё и обладают хорошей взаимозаменяемостью и технологичностью (не требуется ручная подгонка). Для сегментных шпонок предусматривается более глубокий паз, поэтому они более устойчивы и исключают перекося при установке.

Цилиндрические шпонки применяют при наличии свободного доступа к торцу соединения. К их недостаткам относят неудобство сборки и разборки. Однако при установке нескольких цилиндрических шпонок повышается несущая способность соединения.

Клиновые шпонки применяют в тихоходных передачах низкой точности и в неподвижных соединениях. Соединения с клиновыми шпонками выдерживают осевые нагрузки и хорошо работают при переменных и ударных нагрузках. Но в таких соединениях создаются радиальные усилия, а, следовательно, происходит нарушение центрирования (ступицы относительно оси вала), появляется перекося ступицы и возникают радиальные биения.

Чтобы восстановить изношенные шпоночные соединения и минимизировать вышеперечисленные недостатки различных видов шпонок, используют разнообразные методы восстановления. На данный момент в производстве используют в основном два способа: установка новых шпонок увеличенного размера и заварка шпоночных пазов с последующей механической обработкой.

В большинстве случаев шпоночные канавки фрезеруют до выведения следов износа и устанавливают новые шпонки увеличенного размера, а в ряде случаев устанавливают ступенчатые шпонки или шпонки с расширением паза ступицы. При большом износе шпоночный паз ремонтируют наваркой грани с последующим фрезерованием или заваривают старый паз и изготавливают новый под углом 90–120° к старому. Если на чертеже не указывают определённого положения шпоночного паза, допускают изготовление его заново без заделки старого паза. Новый паз фрезеруют параллельно старому пазу под углом 90, 135 или 180°.

Величину зазора в шпоночном соединении определяют с помощью специального щупа, и если ширина канавки больше предельной, то её восстанавливают наплавкой с последующей механической обработкой. При восстановлении используется вибродуговая наплавка, наплавка в среде защитных газов или ручная дуговая наплавка покрытыми электродами.

Восстановление вибродуговой наплавкой проводят на модифицированном токарном станке (в суппорт станка устанавливают виброголовку с продольной и поперечной подачей). Поверхности, которые не подлежат наплавке, обрабатывают изолирующим материалом. При наплавке электроду сообщаются колебания с амплитудой 4 мм и частотой 50–100 Гц, а в зону дуги подаётся охлаждающая жидкость, которая увеличивает скорость охлаждения металла, уменьшает тепловое воздействие дуги на деталь и служит своеобразной защитой от кислорода. Данным способом можно наращивать металлический слой на детали до 4 мм. Поверхности, которые не подлежат наплавке, обрабатывают изолирующим материалом. Основным преимуществом вибродуговой наплавки является низкая температура нагрева детали, которая не приводит к снижению твёрдости детали и не вызывает деформаций. Но этот способ имеет и существенные недостатки: низкая производительность; из-за прерывистого характера наплавки структура и твердость наплавленного слоя неоднородна, а на его поверхности могут образовываться мелкие газовые поры и раковины; в процессе вибродуговой наплавки все детали намагничиваются и после восстановления необходимо их размагничивать.

Наиболее распространенным способом восстановления является наплавка плавящимся электродом в среде углекислого газа. Данный способ позволяет наплавливать слои толщиной от 0,5 до 3,5 мм. Хорошее качество наплавленного металла, низкая себестоимость и высокая производительность являются главными достоинствами этого способа наплавки. Существенным его недостатком является разбрызгивание металла при высоких значениях силы тока.

Одним из простых способов восстановления остаётся ручная дуговая наплавка покрытыми электродами. В зависимости от марки электрода определяют температуру предварительного подогрева и вид последующей термообработки. Достоинствами данного способа являются возможность работы во всех пространственных положениях, простота и удобство использования. Недостатками являются нестабильность качества наплавленного слоя, сильное проплавление основного материала, низкая производительность, необходимость высокой квалификации персонала. При этом качество наплавленного слоя напрямую зависит от степени очистки и подготовки детали.

Перечисленные выше способы восстановления на данный момент пользуются большой популярностью, но они экономически нецелесообразны и трудозатратны, получаемый наплавленный слой неоднороден по структуре, наблюдается нестабильность его качества, требуются либо дорогостоящее оборудование, либо средства защиты для рабочих.

Поэтому предлагается инновационный способ восстановления изношенных шпоночных соединений – использование полимерных материалов, которые обладают высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами. Полимеры характеризуются хорошей износостойкостью, достаточной статической прочностью, хорошими антифрикционными и диэлектрическими свойствами. Ими заделывают трещины и пробоины, устраняют раковины, поры и следы коррозии, соединяют (склеивают) детали. В соответствии с данными ГОСНИТИ применение полимерных материалов в ремонтном производстве даёт возможность снизить себестоимость ремонта на 15 – 20 %, трудоёмкость работ на 20 – 30 %, а расход материала на 40 – 50 % [3].

Для восстановления полимерными материалами шпоночных соединений предлагается применять анаэробные клеи и составы холодного отверждения на основе эпоксидных смол.

Анаэробные составы полимеризуются в условиях отсутствия контакта с кислородом, обеспечивая надёжную фиксацию и герметизацию соединений. Их можно применять для соединений, работающих в условиях ударных нагрузок и вибраций. Наиболее широкое применение они получили для восстановления соединений типа «вал-втулка» и резьбовых соединений. Их основными преимуществами являются возможность увеличения в 3–4 раза долговечности работы соединения и возможность исключения коррозии [4].

При большом износе используют двухкомпонентные составы холодного отверждения на основе эпоксидных смол. Они обладают устойчивостью к коррозии, стойкостью к агрессивным средам и абразивному износу. Чаще всего их применяют для устранения больших трещин, пробоин и для восстановления геометрических размеров соединений. Рабочая температура таких составов находится в диапазоне от -30 до +120 °С.

В данный момент существует множество компаний, производящих полимерные составы. На российском рынке широкое распространение получили отечественные (Анатерм, Унигерм, Анакрол, Полирем, ЛЕО) и зарубежные полимерные составы (Loctite (США), Diamant metallplastic GMBH (Германия), "THREE BOND" (Япония)). Каждая

компания предлагает свои уникальные продукты и постоянно улучшает свойства и повышает качество полимеров.

Улучшенные свойства полимерам придаются благодаря вариации их структуры. Она может быть линейной, линейно – разветвлённой, пространственной с большими молекулярными группами и лестничной. При линейной структуре полимеры имеют закрученные в спираль цепи, а в макромолекулах наблюдается повторение участков структурных групп. Макромолекулы таких полимеров удлинённые и гибкие, что приводит к высокой эластичности и отсутствию хрупкости в твёрдом состоянии у полимера. В полимерных материалах с пространственной структурой образуются прочные химические связи. Они характеризуются сетчатой структурой. Благодаря такой пространственной «сетке» материалы с данной структурой приобретают достаточную теплостойкость и жёсткость. Материалы данного типа часто являются основой многих конструкционных неметаллических веществ. Полимеры с лестничной структурой состоят из молекул, которые содержат две цепи, соединённые прочной химической связью. Полимеры данного вида не взаимодействуют с органическими растворителями, характеризуются повышенной жёсткостью и термостойкостью.

Существует несколько способов восстановления шпоночных соединений полимерными материалами. При использовании анаэробных составов технология восстановления заключается в следующем. Сначала изношенное соединение разбирают и подбирают шпонку следующего стандартного размера, шлифуют шпоночный паз до размеров новой шпонки. Поверхности, на которые будет нанесён полимер, зашкуривают, очищают и обезжиривают специальными средствами. Затем на поверхности шпоночного паза наносят анаэробный клей, устанавливают шпонку, удаляют лишний состав и после этого собирают весь узел. После полной полимеризации клея узел снова может функционировать.

Новые шпоночные соединения в процессе эксплуатации изнашиваются, соединение разбалтывается и выходит из строя. Чтобы предотвратить данное явление, применяют другую технологию. Шпонку и шпоночную канавку предварительно очищают и обезжиривают, затем наносят анаэробный фиксатор на поверхность шпоночного паза, устанавливают шпонку в шпоночный паз, удаляют лишний состав, и только после полимеризации собирают узел. Анаэробный фиксатор является тиксотропным (не подвержен к растеканию после нанесения на восстанавливаемую деталь), полимеризуется в условиях отсутствия воздуха и обеспечивает фиксацию соединения при высоких нагрузках.

При использовании двухкомпонентных составов холодного отверждения на основе эпоксидных смол, технология восстановления состоит из следующих этапов. Разъединённые детали очищают и обезжиривают, затем в шпоночные пазы вала и втулки, не оставляя пустот, закладывают полимерный состав. Далее устанавливается шпонка и удаляются излишки полимера, затем происходит сборка всего соединения. Иногда для улучшения качества соединения после установки шпонки на вал, посадочные места под втулку наносят восковую мастику или масло. После полимеризации в течение 24 ч соединение можно эксплуатировать [6].

Двухкомпонентными составами можно также восстановить и посадочные места валов со шпоночными пазами. Восстановление в данном случае осуществляется по технологии, аналогичной предыдущей. Для этого вначале производится проточка посадочного места со шпоночным пазом до диаметра $d = d_{\text{ном}} - (1,5-2,0)$ мм, где $d_{\text{ном}}$ – диаметр, до которого восстанавливается участок вала. Затем на вал наносят полимерный состав. Нанесение состава возможно двумя способами. Первый способ предполагает, что в шпоночную канавку вставляют шпонку (предотвращение попадания состава внутрь), полимер наносят по всей проточенной поверхности. Затем шпонка удаляется, а после отверждения производится механическая обработка вала. При втором способе полимером заделывается не только подготовленная (проточенная) поверхность, но и шпоночный паз. После полимеризации состава фрезеруется новый паз, который смещают на 90° или 180° относительно старого.

Использование полимерных материалов не требует дорогостоящего оборудования, обладает низкой трудоемкостью, относится к наиболее экономически выгодным, обеспечивает полную защиту от фреттинг-коррозии, исключает тепловое воздействие на восстанавливаемое соединение и обеспечивает высокую его долговечность. Но эти материалы склонны к старению и деформированию под нагрузкой (ползучесть), они могут изменять свои свойства под действием агрессивных сред и солнечной радиации, а их прочностные характеристики зависят от режимов нагружения. Полимеры обладают большим температурным коэффициентом линейного расширения и невысокой теплостойкостью [7].

Для исключения этих недостатков, улучшения механических, деформационных и эксплуатационных свойств в полимер вводят наполнители, которые подразделяют на активные и неактивные. Активные наполнители влияют на физико-механические свойства, а неактивные меняют цвет материала и замещают частицы основного полимера [4]. Но следует отметить, что обычные наполнители, повышая одни свойства,

одновременно могут ухудшать другие. Поэтому в настоящее время широкое распространение получили в качестве наполнителей наночастицы, которые благодаря высокой поверхностной энергии способствуют повышению смачиваемости и адгезии [5], прочности и эластичности материала, устойчивости полимерных материалов к износу, коррозии, истиранию и старению.

Существует большое количество нанонаполнителей, и у каждого из них особенная структура. Нанотрубки представляют собой удлинённые цилиндрические молекулы, фуллерены – молекулы со сложным расположением атомов углерода, нанопластины – имеют хлопьевидную структуру. Существуют также нанонити, нанопорошки и наночастицы.

Нанонаполнители любого типа оказывают существенное влияние на свойства материала. Они повышают теплопроводность и теплостойкость материалов, их прочность, химические свойства, модуль упругости, пластичность, адгезионные и вибропоглощающие свойства, понижают коэффициент теплового расширения. Опытным путём подтверждается, что введение наночастиц в полимер позволяет повысить модуль упругости материала и варьировать механические свойства в широких пределах. Посредством введения наночастиц улучшают адгезионные свойства материалов до 35 %. В работе [5] показано, что, варьируя сочетания нанонаполнителей, можно снизить интенсивность фреттинг – коррозии до 47 %, повысить стойкость к рабочим жидкостям до 49 %, а стойкость к воздействию вибрационных нагрузок до 27 %.

Заключение

Таким образом, шпоночные соединения – это одни из самых ответственных элементов, от качества сборки и эксплуатации которых зависит надёжность и долговечность всего узла. К тому же возможность восстановления шпоночных соединений во многом определяет и его ремонтпригодность. Предлагаемый способ восстановления шпоночных соединений полимерными материалами позволит снизить расход материалов, трудоёмкость и стоимость ремонтных работ, а также исключить микроперемещения деталей, приводящие к износу соединяемых поверхностей и предотвратить фреттинг-коррозию. Введение в ремонтные полимерные материалы наполнителей позволит улучшить одни свойства, порой за счет ухудшения других. Поэтому в качестве наполнителей для полимерных ремонтных материалов наиболее эффективно использовать наночастицы.

Список литературы

- [1]. Воронкин Ю.Н., Поздняков Н.В. Методы профилактики и ремонта промышленного оборудования: Учебник для студ. Учреждений сред. проф. образования. 2-е изд., стер. М.: Издательский центр «Академия». 2005. 240 с.
- [2]. Схиртладзе А.Г., Скрябин В.А., Пименова О.В., Репин А.С., Карасёв Н.Я., Зверовщиков А.В. Ремонт технологических машин и оборудования: учебное пособие. Пенза: Информационно-издательский центр ПензГУ. 2009. 328 с.
- [3]. Руководство по применению полимеров при ремонте машин. М.: Изд-во ГОСНИТИ. 1988. 30 с.
- [4]. Кононенко А.С., Кузнецов И.А. Восстановление посадочных мест под подшипники качения в корпусных деталях машин полимерными нанокompозитами. // Труды ГОСНИТИ. 2016. Т. 124. № 2. С. 81–85.
- [5]. Кононенко А.С., Дмитраков К.Г. Адгезионная прочность составов холодного отверждения и нанокompозиций на их основе. // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2016. № 11. С. 10–14.
- [6]. Кононенко А.С., Гайдар С.М. Адгезионная прочность герметиков и нанокompозиций на их основе. // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2011. № 6. С. 38–42. ISSN 1684-2561.
- [7]. Баурова Н.И. Полимерные материалы для ремонта машин: методические указания. М.: Изд-во МАДИ (ГТУ). 2009. 46 с.