

Технология и технологические машины



ИГНАТОВ
Алексей Владимирович
кандидат технических
наук, доцент
кафедры «Технологии
машиностроения»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

УДК 621.792

Новые тенденции развития сборки клеевых соединений в машиностроении

А.В. Игнатов

Рассмотрены современные тенденции развития сборки клеевых соединений в машиностроении. Предложены новые технологические направления сборки. Приведены актуальные особенности проектирования средств автоматизации сборки клеевых соединений.

Ключевые слова: технологический процесс сборки, клеевые композиции, клеевое соединение, средства автоматизации.

The article describes current tendencies of the glue junctions assemblage process development in the mechanical engineering. The new technological ways of the assemblage have been proposed. The actual features of the glue junctions assemblage process automation development have been presented.

Keywords: engineering process of assemblage, glue, glue junctions, automation.

В современном машиностроении востребованы технологии клеевой сборки и восстановления изношенных деталей. Трудно представить проектирование новой техники без использования клеевых композиций. Они успешно заменяют традиционные неподвижные соединения, такие как сварку, пайку и клепку. Применение клеевых композиций в реновации изделий открыло новое передовое направление науки и мотивировало выпуск авангардных клеевых композиций с комплексом направленных свойств.

По сравнению с другими методами получения неразъемных соединений — клепкой и сваркой, склеивание имеет ряд очевидных преимуществ: равномерное распределение напряжений по площади соединения; возможность склеивать разнородные материалы и материалы, которые нельзя соединить другими способами, например, металл и стекло (такие соединения широко применяются в машиностроении); снижение массы и габаритов сотовых конструкций по сравнению со сварными или клепаными; гашение вибрации и шума клеевым швом; герметичность клеевого соединения под воздействием давления и вакуума; отсутствие больших температурных колебаний при сборке клеевых соединений в отличие от сварки; коррозионная защита клеевого соединения; экономическая эффективность процесса склеивания, который можно использовать в непрерывном и автоматизированном производстве; возможность склеивать детали различной конфигурации и толщины. Кроме того, применение клеев совместно с другими методами улучшает качество соединения. Например, использование клеесварных соединений позволяет повысить прочность соединения на 20%, а долговременную прочность — с 106 циклов нагрузки (у сварного) до 1 010 при том же количестве сварных точек. Такие результаты получают благодаря распределению нагрузки по всему клеевому шву. Применение инструмента с клеевыми соединениями позволяет снизить шероховатость обработанных поверхностей на тех же режимах обработки за счет того, что клеевой шов «гасит» вибрации. В зависимости от эксплуатационных требований к клеевому соединению клеевой шов можно за счет введения наполнителей из диэлектрического сделать токопроводящим.

В последние годы наметился явно возрастающий интерес к клеевым технологиям в машиностроении. Этому есть ряд объяснений. Во-первых, экономические преимущества клеевых конструкций. Проведенные исследования ряда зарубежных компаний подтверждают, что применение клеевых технологий позволяет в 2—2,5 раза снизить трудоемкость сборки по сравнению с клепкой и сваркой, высвободить

до 34 000 человеко-часов в производственном процессе, понизить материалоемкость конструкций до 10%. Следует также отметить, что внедрение рассматриваемых технологий не требует привлечения высококвалифицированных рабочих, процесс обучения сводится к небольшому циклу вводных занятий. Во-вторых, медицинская сторона вопроса — гигиенический сертификат для работы с подавляющим большинством клеевых композиций, используемых в машиностроении, не имеет ограничений, т. е. работа с такими материалами производится в обычных заводских условиях. В-третьих, тенденции к вступлению России в ВТО, активный выход на внешний рынок, требует применения передовых технологий, основанных на использовании современных материалов, повышающих качество, эргономику и дизайн изделия. К таким материалам безусловно относятся клеевые композиции. В-четвертых, рост влияния малого и среднего бизнеса в экономике страны вызывает дополнительный интерес к рассматриваемым вопросам. В настоящее время существует достаточное количество новых предприятий, создающих ощутимую конкуренцию советским монополистам, которые значительно расширили номенклатуру спроса и предложения на внутреннем рынке страны и рынке ближнего зарубежья.

Наиболее современным течением в области применения клеев в последнее время стало направление «клеи предварительного нанесения». Этот термин пришел от потребителей клеевых материалов. Все особенности использования таких материалов заключаются в технологии применения. Классическая технология применения клеев предусматривает шесть основных этапов: подготовка поверхностей под склеивание; выбор и (или) приготовление клея; нанесение клея; монтаж соединения; отверждение клея; контроль качества склеивания. Новое направление предусматривает следующий порядок работы — после нанесения на поверхность следует этап отверждения, который в некоторых случаях ограничивается лишь сушкой таких материалов. Этап монтажа соединения происходит со значительной разни-

цей во времени по сравнению с перечисленными этапами.

Наиболее правильно говорить, наверно, не о клеях предварительного нанесения, а о технологиях предварительного нанесения. Клеи, используемые в таких технологиях, хорошо известны и апробированы в различных условиях. Интересом к развитию рассматриваемых технологий стало несколько причин, часто встречающихся в машиностроении и приборостроении:

1) особенности сборки некоторых узлов требуют довольно длительного времени перед заключительным монтажом изделия. Обусловлено это чаще всего регулировочными и настроечными работами. При заключительном монтаже возможность попадания клея в рабочую зону объекта не допускается. Клеевые материалы здесь чаще всего используют в качестве герметичных уплотнений. Клей (герметик) наносится и отверждается на поверхности предварительно, а после монтажа действует как упругая прокладка;

2) поточное производство предъявляет свои требования к автоматизации процессов сборки. Нанесение клеев в автоматическом режиме не всегда оказывается рентабельным и удобным. Самый яркий пример — стопорение стандартных резьбовых элементов (болтов, винтов, шпилек). Подача таких деталей производится из вибробункера. Установка мобильного дозирующего клей устройства в месте сборки резьбовых соединений менее удобна, чем подача резьбовых элементов с уже нанесенным клеем. Однако реализация такой идеи требует специальных технологических решений. Нанесение жидкого клея вызовет слипание резьбовых элементов в вибробункере и неизбежную остановку поточной линии;

3) широко развивающиеся в настоящее время ремонтные технологии требуют привлечения новых подходов и материалов. Ремонтные работы ведутся в различных погодных и климатических условиях, часто под открытым небом и в труднодоступных местах.

Предварительное нанесение клеев наиболее востребовано в сборочных технологиях стопорения и герметизация резьбы, а также гермети-

зация плоских стыков. Химическая природа клеев предварительного нанесения различна и определяется требованиями эксплуатации. Для стопорения и герметизации резьбовых соединений, в настоящее время, наиболее широко используют эпоксидные композиции, клеи на основе каучуков, анаэробные клеи-герметики.

Эпоксидные композиции применяют лишь для стопорения, их наносят и отверждают на резьбовой поверхности завинчиваемого элемента. Таким образом, используя стандартные резьбовые элементы, можно отказаться от резьбы с гарантированным зазором в ответственных соединениях и создать резьбовое соединение с переходной посадкой или с гарантированным натягом, что с высокой вероятностью предохраняет резьбу от самооткручивания. Эпоксидную композицию здесь можно наносить как по окружности витка, так и по оси резьбового соединения узкой полосой. Эпоксидные материалы относительно недороги, но их применение ограничено количеством разборок, очевидными сложностями по нанесению, обеспечению требуемой толщины и равномерности клеевого слоя.

Применение клеев на основе каучуков позволяет стопорить и герметизировать резьбовые соединения. Такой клей наносят и отверждают по окружности витков резьбы широкой сплошной полосой. Здесь стопорение происходит за счет увеличения трения по резьбе, а герметизация — за счет упруго-пластического заполнения отвержденным клеем возможных каналов утечки. Клеи на основе каучуков стали применять относительно недавно, когда появились материалы, не подверженные быстрому истиранию.

Анаэробные клеи, наиболее востребованные и технологически сложные из клеев «предварительного нанесения», позволяют одновременно стопорить и герметизировать резьбовые соединения. Такие соединения представляют собой капсулированные анаэробные фиксаторы, которые не обладают липкими свойствами. При сборке микрокапсулы раздавливаются, и из них выливается активатор, посредством которого происходит анаэробная реакция по-

лимеризации, подобно жидкому анаэробному адгезиву, с теми же прочностными, антивибрационными и химически-стойкими свойствами. Основным недостатком, сдерживающий широкое применение анаэробных клеев предварительного нанесения на поточных линиях, — высокая стоимость. В настоящее время капсулированные герметики активно завоевывают позиции на поточной сборке в автомобильной промышленности.

Для герметизации плоских стыков наибольшее распространение получили силиконовые герметики. Силиконовые герметики классифицируют по верхнему пределу температуры эксплуатации и по химической стойкости к герметизируемой среде. Их наносят на одну из поверхностей герметизируемого стыка и проводят отверждение. Обычно это корпусные детали. После общей сборки производят монтаж клеевого соединения. Герметизация достигается за счет упруго-пластического заполнения отвержденным клеем возможных каналов утечки по периметру соединения. Для качественной герметизации к рассматриваемым материалам предъявляют требование тиксотропии.

На кафедре «Технологии машиностроения» МГТУ им. Н.Э. Баумана разработан и апробирован метод герметизации плоских стыков термопластичными клеями, которые остаются одними из самых дешевых [1]. Этот новый метод обладает всеми преимуществами предварительного нанесения клея.

Долгое время считалось, что все клеевые соединения относятся к неразборным. Прогрессивное развитие клеевой индустрии, разработка новых технологий сборки клеевых соединений позволяет говорить о необходимости значительной модернизации такой классификации, введения новых понятий, отражающих современную действительность. Современные исследования, в том числе проведенные на кафедре «Технологии машиностроения» МГТУ им. Н.Э. Баумана, показывают стабильную возможность создания разборных герметичных клеевых соединений. Это соединения, выполненные по специальному технологическому процессу сборки с традиционными клеевыми составами, позволяющему создавать раз-

борные конструкции. Реализация подобных технологических процессов обычно требует разработки специальной оснастки.

Оригинальные технологические решения были предложены на основе применения термопластичных силиконовых каучуков, которые мало используют в машиностроении. Суть новой технологии сборки сводится к тому, что этап монтажа соединения выполняется после этапа отверждения клея. При этом была разработана оригинальная технологическая оснастка, позволяющая формировать, по сути, клеевую прокладку по любой пространственной траектории в ручном или автоматизированном режиме. Отличительной особенностью рассматриваемой технологии нанесения и формирования клеевой прокладки по контуру детали является то, что она формируется в безотходном режиме с фасонным в поперечном сечении профилем. В случае выхода рассматриваемой герметизирующей прокладки из строя, достаточно удалить лишь поврежденный участок и произвести на нем формирование новой прокладки, не подвергая ремонтным работам остальную поверхность детали.

Передача силовых нагрузок рассмотренными соединениями основана на привлечении дополнительных элементов крепления, обычно это резьбовые соединения. Важно отметить, что качество герметизации рабочей среды в таких соединениях зависит от силы сжатия деталей соединения, что приводит к деформации клеевой прокладки.

Графики, отображающие зависимости герметизируемого давления жидкой рабочей среды от шероховатости поверхности ответной детали разъемного соединения, на которую не наносился термопластичный клей, представлены на рисунке. Проанализировав эти графики, можно сделать вывод, что если поверхности ответной детали обработаны методом точения, то такие соединения показывают более высокие показатели качества герметизации, чем соединения, где поверхности ответной детали обработаны методом торцевого фрезерования. Объясняется это тем, что микрорельеф поверхностного слоя детали, полученный после обработки точением, имеет спи-

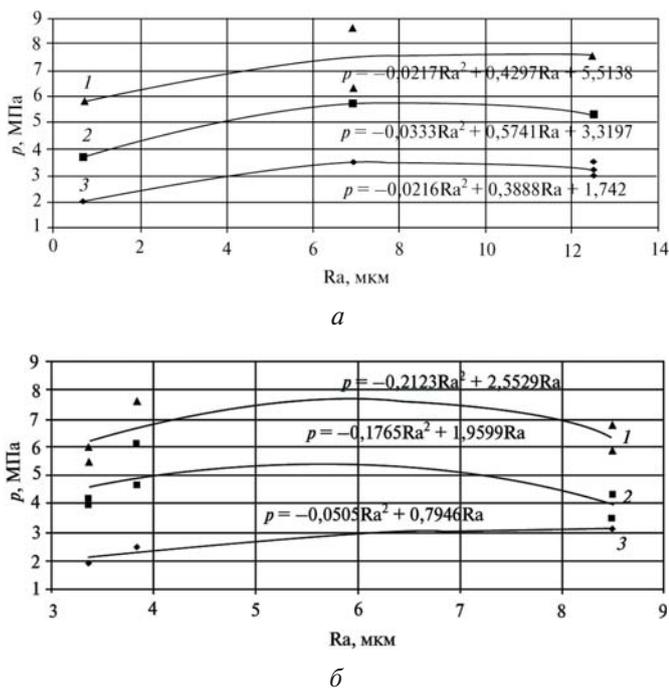


Рисунок. Зависимость давления масляной рабочей среды от шероховатости поверхности разъемного стыка, обработанного методом точения (а) и методом торцевого фрезерования (б) при герметизации термопластичной прокладкой из клея марки СТЕК высотой 0,5 мм, при контактном давлении на прокладку:

1 — 7,8 МПа; 2 — 5,2 МПа; 3 — 2,6 МПа

релевидный замкнутый контур. Внедряясь в поверхность клеевой термопластичной прокладки, он выстраивает своеобразные лабиринтные барьеры на пути проникновения герметизируемой рабочей среды от центра соединения к его периферии. После обработки поверхности методом торцевого фрезерования на поверхности детали остается микрорельеф в виде дугообразных лучей, направленных от центра герметизируемого соединения к его периферии. По таким лучам герметизируемая рабочая среда под действием избыточного давления быстрее найдет путь для образования утечек. Опыты показывают, что изменением микропрофиля поверхностного слоя детали, за счет выбора метода обработки, можно значительно увеличить качество герметизации соединения.

Новые тенденции в сборке клеевых соединений широко распространяются на автоматизацию технологического процесса. В современном машиностроении используется множество

клеевых соединений, сборка большого числа из которых требует автоматизации. Автоматизация клеевых соединений производится в трех случаях: при необходимости обеспечения большой производительности сборки, при применении опасных для здоровья человека клеевых композиций и их отдельных компонентов, при необходимости обеспечения точности сборки, которую нельзя достичь в ручном режиме. В связи с этим особое внимание уделяется средствам автоматизации — технологической оснастке, устройствам для дозирования и нанесения клеевых композиций, к которым значительно возросли требования, основанные на экономических, эргономических и качественных показателях их эксплуатации. Следует отметить довольно внушительный задел средств автоматизации низковязких жидкотекучих клеевых композиций. Напротив, значительным сдерживающим фактором на пути автоматизации высоковязких композиций является большое отставание в производстве для них средств автоматизации, отвечающих современному уровню развития производства.

Проектирование автоматизированных устройств нанесения клеевых композиций повышенной вязкости вызывает наибольшие трудности. Связано это с рядом проблем, возникающих в основном при транспортировке этих клеевых композиций к месту сборки. Среди таких проблем можно назвать склонность к образованию воздушных пузырей в высоковязких составах, которые усложняют процесс точного дозирования и трудно удаляются из клеевого шва, что является причиной возникновения концентраторов напряжений. Перемещение пастообразных и высоковязких композиций по транспортной системе к месту сборки требует применения значительных сил, поскольку необходимо задействовать силовые установки, увеличивающие громоздкость оборудования и себестоимость процесса нанесения, что сказывается на конкурентоспособности изделия. К тому же, следует отметить, что и в этом случае не всегда удается обеспечить стабильное перемещение клеевой композиции по транспортной системе, а если и удастся, то этой системе часто требуются регламентные работы,

что также сказывается на себестоимости. Другая проблема при использовании силовых установок для транспортировки высоковязких композиций — их повышенная энергоемкость, а в настоящее время машиностроительное производство нуждается в сокращении подобных расходов.

Высоковязкие клеевые композиции, особенно пастообразные, весьма чувствительны к различным изменениям траектории перемещения. Любой перегиб транспортной системы приводит к заметному изменению скорости течения композиции, а это чревато тремя серьезными последствиями:

1) требуются еще большие силы для преодоления такого препятствия на пути следования клеевой композиции к месту сборки;

2) возможность расслоения многокомпонентного клеевого состава с потерей его эксплуатационных характеристик и соответствующим снижением качества собранного изделия;

3) застойные явления в местах перегиба транспортной системы, способствующие образованию затвердевших клеевых пробок. Образование пробок может полностью блокировать транспортировку клеевых композиций, при этом ремонтные работы часто заканчиваются необходимостью полного демонтажа и замены части оборудования. Необходимо отметить, что образование пробок может возникнуть не только в местах перегибов трубопроводов, но и на их ровных участках: из-за незначительных посторонних предметов внутри системы; изменения условий транспортировки, например, близости к источнику локального нагрева или наоборот охлаждения и др.

Высоковязкие и пастообразные клеевые композиции требовательны к постоянству сечения трубопровода, особенно в местах его перегибов. Уменьшение сечения трубопровода приводит к застойным явлениям со склонностью к образованию пробок, а утолщение — к изменению скорости потока. Последствия рассмотренных проблем описаны выше. К тому же, изготовление трубопроводов с постоянным сечением — технологическая задача, требующая привлечения специального оборудо-

вания, что конечно приводит к повышению себестоимости производства изделия.

У различных клеевых композиций своя химическая природа процесса отверждения. Некоторые из них отверждаются в присутствии кислорода воздуха, а какие-то, наоборот, при его отсутствии, другие — при добавлении отвердителя, третьи — при повышении температуры и т. д. Очевидно, что все эти условия могут возникнуть в процессе транспортировки клеевой композиции внутри замкнутой системы. Особенно учитывая, что к месту сборки часто транспортируются уже перемешанные композиции, в частности с добавленным отвердителем. Все это говорит о том, что внутри транспортной системы возникают условия, благотворно влияющие на процесс отверждения. Если этот процесс запускается, то возможно два пути его развития. Первый — клеевая композиция затвердевает внутри автоматизированной установки по ее нанесению. В этом случае требуется, как правило, полная замена вышедших из строя узлов установки. Второй — клеевая композиция доходит до места сборки, однако уже запущенный внутри полимера процесс отверждения, приводит к резкому изменению эксплуатационных характеристик клеевого соединения. Прежде всего, это сказывается на прочности соединения и его долговечности.

Учитывая указанные трудности при транспортировке высоковязких и пастообразных клеевых композиций, проектировщики систем их нанесения вынуждены использовать ряд конструкторских приемов. Так, например, стараются минимально сокращать путь транспортировки, что конечно не всегда приемлемо для реального производства, особенно в условиях автоматизации технологического процесса сборки клеевого соединения. Другой прием — склонность к увеличению сечения подающего трубопровода. Это приводит к своим сложностям по обеспечению технологических режимов процесса сборки. Так, например, особенности клеевой сборки отличаются тем, что при создании соединения не нужна подача большого объема композиции. Большие сече-

ния трубопроводов, как правило, усложняют точное дозирование, особенно малых объемов.

Необходимо привести еще одну причину, усложняющую точное дозирование высоковязких и пастообразных клеевых композиций, — их инертность. Трудность управления таким составом требует применения дополнительных устройств слежения за порцией клея, подаваемой на позицию сборки. Недостаточно точные порции, подаваемые на позиции сборки, как правило, не сказываются на прочностных характеристиках качества соединения. В этом случае система настраивается на избыточную дозировку порции клея. Однако такой прием приводит к перерасходу клеевой композиции и потере дизайнерских и эргономических показателей, а иногда к привлечению ручного труда на автоматизированной линии, где производится удаление излишков клеевой композиции, вытесненных из соединения.

Как правило, когда речь идет о пастообразных и высоковязких клеевых композициях, говорят о многокомпонентных составах, а не о гомогенных однородных жидкостях. Это выдвигает дополнительные требования к автоматизированным устройствам нанесения их в автоматизированном режиме. Неоднородность композиции не допускает длительного ожидания в системе до начала работы дозирующего устройства. В композиции могут начаться процессы оседания компонентов, что меняет химическую структуру состава по его объему, а, следовательно, свойства клеевой композиции, влияющей на качество соединения. Для поддержания композиции в рабочем состоянии

в устройства по автоматизированному дозированию и нанесению вводят функциональные узлы по ее перемешиванию. В ряде случаев такая функция необходима даже при условии кратковременного хранения композиции в устройстве.

Несмотря на принимаемые меры и известные трудности при проектировании устройств автоматизированной сборки клеевых соединений с высоковязкими и пастообразными клеевыми композициями, не всегда удается избежать повышенной вибрации при работе этих устройств. Вибрация проявляется в результате очевидных физических особенностей этих композиций. Последствия вибрации сказываются на долговечности устройств и сроках регламентных работ в сторону их уменьшения.

Вывод

Описанные новые тенденции развития сборки клеевых соединений подчеркивают наметившееся возрастание интереса к применению рассматриваемых соединений в машиностроении в изделиях различного назначения независимо от типа производства.

Литература

1. *Игнатов А.В.* Пат. 2198741 РФ. Способ нанесения клеевого слоя на поверхность детали и установка для его осуществления // Изобретения. 2003. № 5.

Статья поступила в редакцию 01.09.2011 г.