

ЛИТЕРАТУРА

1. Зенкевич, О. Конечные элементы и аппроксимация: пер. с англ. / О. Зенкевич, К. Морган. – М.: Мир, 1986. – 312 с.
2. Кудинов, В.А. Динамика станков / В.А. Кудинов. – М.: Машиностроение, 1967. – 359 с.
3. Металлобетонные базовые конструкции металлорежущих станков / М.И.Браиловский, А.Г.Воскобойник, А.А.Воскобойник. – Коломна, Воентехиздат. – 2010. – 76 с.
4. Study of improving static rigidity on machine tool structure using concrete component / Simon M., Grama A L., Ganea M. // The 6th edition of the Interdisciplinarity in Engineering International Conference “Petru Maior” University of Tîrgu Mureş, Romania, 2012, pp. 26-29.
5. Lopez de Lacalle, L.N. Machine Tools for High Performance Machining // L.N. Lopez de Lacalle, A. Lamikiz. – Springer. – 2009. – 442 p.
6. Machine design / Khurmij R.S., Gupta K. // Eurasia Publishing House (PVT), 2005.
7. Туромша, В.И. Анализ жесткости подвижного портала продольно-фрезерного станка типа «Ген-три» / В.И. Туромша, С.С. Довнар, А.С. Трусовский, Туми Эль-Мабрук Абужафер Али // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П.О.Сухого. – 2011. – №3(46). – С.15–28.
8. Василевич, Ю.В. Модальный анализ несущей системы тяжелого горизонтального многоцелевого станка с помощью МКЭ / Ю.В.Василевич, С.С.Довнар, И.И.Шумский // Наука и техника. 2014. - № 4 . С.14 - 24.
9. Довнар, С.С. Гармонический анализ порталов тяжелых продольно-фрезерных станков типа «Генри» с помощью МКЭ / С. С. Довнар, А.М. Якимович, И.Л. Ковалева, И.И. Шумский. // Вестник ПГУ. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. 2014. - №11 . С. 25 - 36 .
10. Довнар, С.С. МКЭ-анализ эффективности полимербетонного усиления токарного инверторного станка. Гармонический анализ и повышение жесткости / С.С.Довнар, А.А.Сметанко, И.О.Соколов, И.Л.Ковалева // Машиностроение. 2016. - № 30 . С.. В печати.

УДК 621.88

Калиниченко М.Л., Александров В.М.

АСПЕКТЫ НАДЕЖНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Потребителей клеевых материалов интересуют не столько возможные теоретические значения прочности, сколько реальная прочность клеевых соединений в конкретных условиях нагружения. Для этих целей разработаны стандартные методы испытаний, которые позволяют определить нагрузку, при которой происходит разрушение клеевого соединения. Для более точного определения прочности клеев, кроме испытаний на лабораторных образцах, проводят стендовые испытания, а так же натуральные испытания, которые приближены к реальным условиям эксплуатации клеесборной конструкции.

При проведении стендовых испытаний клеевых соединений исследователи сталкиваются с проблемами использования стандартных лабораторных образцов. При данных испытаниях определяется не только прочность клеевого соединения, но и оценивается характер разрушения клеевого шва, который может быть:

- адгезионным, при котором разрушение соединения происходит по границе раздела клей - склеиваемая поверхность;
- когезионным, т.е. непосредственно по клеевому шву;
- смешанным;
- может иметь место разрушение склеиваемых деталей.

При лабораторных испытаниях партии образцов всегда имеет место разброс данных. Его величины зависят от погрешностей измерений, которые подразделяются на систематические (ошибок данного типа при грамотном проведении эксперимента можно избежать) и случайные (существуют всегда и относятся к погрешностям измерения). Для увеличения достоверности

результатов экспериментальных исследований требуются проведение большого числа опытов и грамотная обработка полученных результатов [1].

Результаты экспериментальных исследований на стандартных образцах не всегда позволяют прогнозировать прочность клеевых соединений в реальных конструкциях, что связано с большим влиянием технологии склеивания. В производственных цехах, где проводятся операции склеивания, например в авиационной промышленности, существует строгая методика контроля не только за температурой воздуха в помещении, но и регулируется чистота рабочих помещений [2].

Важнейшими характеристиками свойств клеевых соединений являются также показатели надежности. Для ее определения проводят специальные длительные испытания, моделируют эксплуатационные условия в камерах искусственного старения, проводят длительные испытания на ползучесть и усталость. Все это позволяет прогнозировать длительную прочность клеевых соединений [1].

В отличие от элементов и соединений, выполняемых из металлов, пластмасс, керамики и других материалов, адгезионные соединения обладают специфическими свойствами, наличие которых требует разработки специальных методов оценки надежности клеевых соединений.

В данных соединениях использование даже одного и того же типа клея может реализовать отказы различной физической природы, описываемые различающимися в зависимости от сочетания факторов внешнего воздействия, длительности их действия, отклонениями в технологии изготовления и пр. В противовес этому положению отказы изделий из других материалов имеют практически идентичную физическую природу и однозначно определяемые закономерности, описывающие возникновение отказов.

Напряженное состояние в клеевых прослойках даже в случаях простейших соединений, например, внахлестку или встык, существенно неоднородно. Эта особенность клеевых соединений связана с влиянием масштабного фактора, краевых эффектов, концентраторов напряжений, наличием пограничных слоев и многочисленными другими факторами. В номенклатуре клеесборных конструкций присутствуют весьма сложные соединения, такие как клеезаклепочные, клеесварные и другие, которые необходимо рассматривать как сложные системы, состоящие из взаимосвязанных и взаимозависимых элементов, свойства которых находятся в весьма сильных корреляционных соотношениях. В силу этого обстоятельства методы и принципы расчетов надежности механических систем при расчетах надежности клеевых соединений не могут быть непосредственно использованы в прямом образе или приближении. Наиболее важными реализациями отказа применительно к теории надежности является потеря работоспособности или ее ухудшения по причинам скачкообразного изменения или монотонной деградации качества соединения.

Обе эти реализации в виде отказов функционирования в первом случае рассматриваются как случайные явления, независимо от причин, приведших к их возникновению, а во втором описываются параметрически, поскольку их наступление характеризуется только выходом определяющего работоспособность параметра за пределы, установленные ТУ.

Для оценки характеристик средних значений статической прочности адгезионного соединения, таких как прочность при сдвиге [3], прочность при отрыве [4], достаточно располагать статистическим рядом наблюдений, по которому получают среднее значение прочности и его СКО (среднее квадратичное отклонение), которые имеют достоверность всего 50 %.

В подавляющем большинстве случаев в клеевом соединении реализуются параметрические отказы, характерные тем, что вероятность их возникновения в заданный момент времени зависит от длительности и интенсивности эксплуатации клеевого соединения в предыдущий период.

Соответствующие изменения свойств клеевого соединения в это время называют деградацией; они могут проявляться в виде старения, накопления повреждений, изменения структуры, появления трещин, расслоения адгезива и др. Деградация свойств адгезива может происходить и по причинам насыщения влагой, маслами, топливом, что также приводит к ухудшению качества клеевого соединения.

Важную роль при оценке параметров долговечности привносит классификация причин ведущих к отказам.

Изменения параметров клеевого соединения возникают под влиянием внешних воздействий различной физической природы (рис. 1).

В ходе быстропотекающих процессов реализуются, главным образом, механические нагрузки с малыми амплитудами напряжений, возникающие в начальные моменты эксплуатации

изделий. Ввиду малой длительности этих процессов, воздействия которых состоят всего из нескольких сотен циклов нагружения, их влияние относительно невелико [5].

Существенно большее значение в этих процессах играют тепловые удары и комбинированные воздействия типа «иней — роса», приводящие к раскрытию трещин и к общему снижению прочности.



Рис. 1. Классификация процессов деградации

Одновременно с механическими воздействиями успевают реализоваться длительно действующие тепловые нагрузки, климатические факторы и активно действующая рабочая среда.

Медленно протекающие процессы деградации реализуются в течение многих лет эксплуатации и длительного хранения, например в виде изменений деформационно-прочностных свойств материалов. Это может происходить под влиянием диффузии или за счет насыщения поверхности различными газообразными компонентами, чаще всего агрессивными. Перечисленные явления могут реализовываться без интенсивного внешнего воздействия, например в виде естественного старения.

В результате выше изложенного, возникают вопросы прогнозирования долговечности. Как известно [1, 5-8], клеевые соединения со временем изменяются, однако причины, по которым это происходит, неизвестны и также неизвестно и точное время, когда произойдет разрушение.

Проблема точного прогнозирования сроков службы клеевых материалов является одной из наиболее сложных и интересна специалистам самых различных отраслей. Не следует относить проблему обеспечения долговечности только к таким отраслям промышленности, как транспорт, авиация, космонавтика. Проблемы долговечности не менее актуальны в строительстве и во всех отраслях, где используются клеевые материалы. Каждому потребителю продукции целесообразно предвидеть сроки, когда эта продукция выйдет из строя. К показателям, которые позволяют количественно оценить сроки службы изделий, относятся: вероятность безотказной работы и ресурс (срок службы до отказа).

Для оценки долговечности проводятся такие же испытания, как для оценки прочности склеенных конструкций: разрушающие напряжения при сдвиге, отрыве, изгибе, кручении и отслаивании. Используются те же образцы и условия нагружения. Основное отличие заключается в том, что получаемая при таких испытаниях точность (погрешность составляет 20—30%) является очень низкой и приводит к еще большим погрешностям при оценке показателей надежности. Именно по причине большого разброса результатов экспериментальных исследований

при оценке показателей надежности достаточно редко используются результаты испытаний на ползучесть. По этой же причине не используют результаты испытаний на усталость.

В настоящее время для оценки клеевого состава часто используется метод ускоренных испытаний. Целью испытаний ускоренного старения, независимо от программы этих испытаний, является определение зависимостей изменения показателей механической прочности от времени выдержки в климатических камерах. Однако небольшие значения в изменении прочностных свойств измеряемых параметров плюс недостаток точности измерений могут привести к необходимости проведения дополнительной серии испытаний.

Возможны два вида прогнозирования: первый вид - приблизительный, второй - точный. Приблизительное прогнозирование выполняют, как правило, только на основании собственного опыта, имеющегося при разработке (или эксплуатации) аналогичных клеевых конструкций. В основе таких прогнозов лежит методика использования коэффициентов, с помощью которых определяют, в каких соотношениях находятся между собой ускоренные и реальные условия эксплуатации. Точное прогнозирование основано на знании точных значений скорости изменения свойств клеевых соединений. Методика экспериментальных исследований в этом случае, основана на использовании нескольких режимов ускоренного старения. Для каждого из режимов определяют скорость старения и далее, сравнив между собой результаты нескольких режимов испытаний, строят корреляционные зависимости, которые позволяют более точно рассчитать значения долговременной прочности.

При решении задач обеспечения долговечности на определенный период времени используется понятие «отказ», которое является одним из базовых в теории надежности и очень редко применяется в технологии склеивания. Методика определения надежности заключается в следующем:

- определить значение выходных параметров, которые характеризуют свойства клеевого соединения и выход которых за установленные пределы приведет к отказу;
- определить степень риска, составив диаграмму отказов, базовая схема которой показана на рис. 2. На этой схеме по одной оси отложена вероятность возникновения отказа, подругой — возможные последствия отказа;
- расположить по степени значимости последствия отказа;
- определить мероприятия, позволяющие уменьшить или свести до минимума риски возникновения отказа.

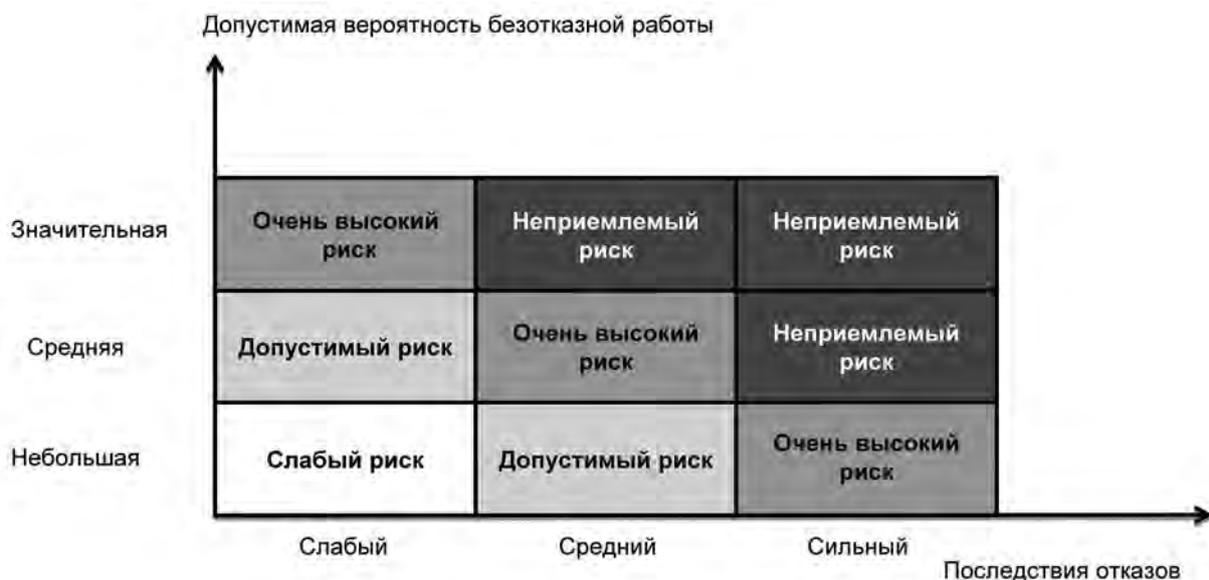


Рис. 2. Пример графической схемы оценки последствий отказа

Рассматривая разрушение клеевых соединений или наличие дефектов клеевого материала или клеевого соединения в качестве критерия отказа, можно подойти к управлению долговеч-

ностью клеесборных конструкций и причины образования дефектов и вероятности их влияние на долговечность клеевого соединения показаны на рис. 3.

Известно [1, 5-8], что причины можно разделить на три группы: первая группа относится к ошибкам, возникающим при проектировании конструкции (1), вторая связана с технологией (2), третья — с неправильно выбранными условиями эксплуатации (3). Первая группа факторов оказывает влияние на скорость распространения трещин, тогда как вторая и третья группы факторов относятся к причинам, по которым происходит возникновение дефектов клеевого материала.

В результате анализа описываемых фактов можно приблизиться к способам уменьшения вероятности возникновения отказов. Данный факт зависит от вероятности возникновения дефектов от конструкторских, технологических и эксплуатационных факторов позволяет прогнозировать и предупредить разрушение клеевых соединений. Поэтому задачи прогнозирования должны решаться на стадии разработки на этапах:

- составления технических требований, которые должны включать подробный перечень условий эксплуатации, в том числе и внештатные, экстремальные случаи;
- создания клея, способного удовлетворить большую часть технических требований и разработку оптимальной технологии склеивания;
- выбора средств контроля материалов и технологического процесса при обучении технического персонала;
- разработки технологических операций, способных обеспечить качественное склеивание и воспроизводимость результатов.

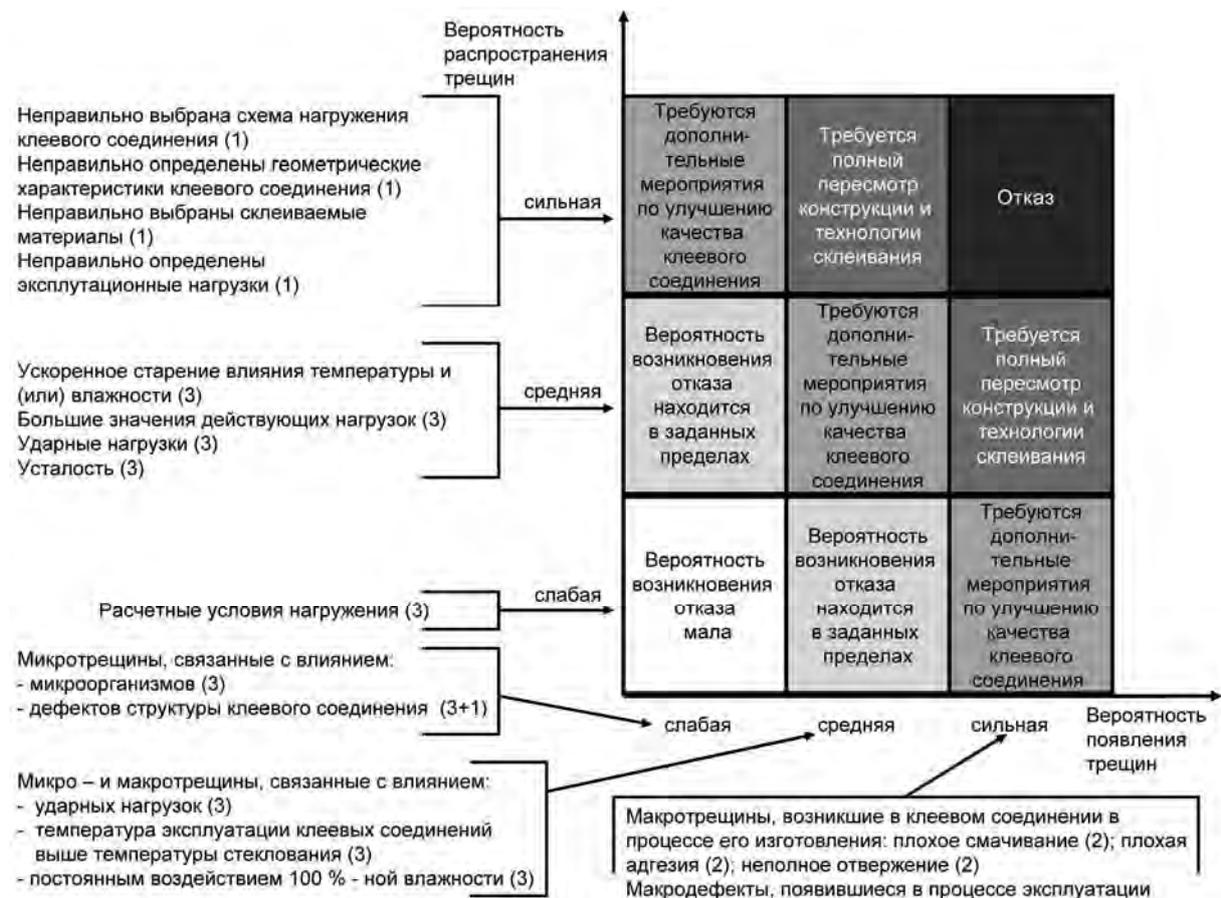


Рис. 3. Зависимость вероятности возникновения дефектов от конструкторских, технологических и эксплуатационных факторов

При выявлении всех возможных проблем могут быть найдены решения для их своевременного устранения. В таком случае вероятность возникновения отказа также будет сведена к минимуму. Это также будет способствовать уменьшению вероятности повреждения склеенной

конструкции при случайных (экстремальных) нагрузках. К традиционным способам обеспечения высокой долговечности клеевого соединения относятся требования:

- правильное проектирование клеевого соединения;
- использование клеевого материала должны быть работоспособно при воздействии эксплуатационных нагрузок;
- хорошая смачиваемость и растекание клеев;
- использование интеллектуальных клеев, способных восстанавливать свои свойства.

На основании выше изложенного были подготовлены чертежи и технологические карты сборки (рис. 4) для образцов щелевого фильтра с целью замены сварных работ по соединению деталей на клеевые.



Рис. 4. Сборочная схема щелевого фильтра

Выбор клея основывался на ранее проведенных экспериментальных данных [9-11], применимого к влажным условиям эксплуатации и для соединения нержавеющей стали с использованием адгезива компании 3М марки DP 8805NS.

Подготовка поверхности проводилась в соответствии со стандартными методиками разработанными компанией 3М для склейки металла [9,10].

Виды процесса склеивания и сам склеенный образец можно увидеть на рис. 5.



Рис. 5. Поэтапный процесс склеивания фильтра

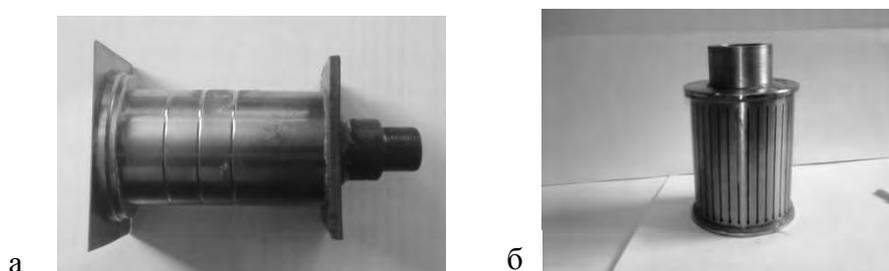


Рис. 6. Образцы для последующих испытаний

В результате были получены ряд испытательных образцов (рис 6) для проведения гидродинамических испытаний на базе участка водоподготовки ОАО «Белэнергоремналадка» (рис. 6, а) и последующих промышленных испытаний на базе ОАО «Минскводоканал» (рис. 6, б).

ЛИТЕРАТУРА

1. Ж.-Ж. Вильнав. Клеевые соединения. Перевод с французского Л.В. Синегубовой. — М.: Техносфера, 2007. — 385с.
2. Постановление Совета Министров РБ № 85 от 08.07.2016 г. «Требования к условиям труда».
3. ГОСТ 14759-69. Клеи. Метод определения прочности при сдвиге. — М.: Издательство стандартов. 1970.
4. ГОСТ 14760-69. Клеи. Метод определения прочности при отрыве. — М.: Издательство стандартов. 1970.
5. Склеивание в машиностроении. Справочник в 2 томах. Т.1 / Д. А. Аронович [и др].; Под общ. ред. Г. В. Малышевой. — М.: Наука и технологии, 2005. — 544с.
6. Pocius A.V., Adhesion and Adhesive Technology, Hansen Gardner Publications, New York, 2c ed. 2002.
7. Petit J.A., Vieillissement et durabilite des assemblages colles, Sessions de formation JADH, SFA-SFV, Paris, 2003.
8. Г. Эпштейн. Склеивание металлов. Авторизованный перевод с английского канд. техн. наук Б.И. Паншина. Под общей редакцией А.Т. Туманова. М.: Государственное издательство оборонной промышленности. 1956. — 212 с.
9. М.Л. Калиниченко, В.А. Калиниченко. Новые методы крепления пористых и компактных материалов. Сборник научных трудов X МНТК. Современные методы и технологии создания и обработки материалов. Минск: ФТИ. 16-18.09.2015. Кн. 1. С.72-79.
10. Калиниченко В.А., Калиниченко М.Л., Григорчик А.Н. Новые методы крепления пористых и компактных материалов на основе титана Веснік ГрДУ імя Янкі Купалы. Сер 6. Тэхніка. — 2015. — № 1(198). — С.24–30.
11. Ю.К. Кривошеев, М.Л. Калиниченко. Сборник научных трудов X МНТК. Анализ процессов при синтезе композиционных материалов. Минск: ФТИ. 16-18.09.2015. Кн. 2. С. 196-199.

УДК 621.88

Калиниченко М.Л., Александров В.М.

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Эксплуатация механических соединений напрямую связана с качеством их соединений, которые в свою очередь анализируются различными методами контроля позволяющими выбраковывать некондиционные изделия, а так же вносить корректировки в существующий технологический процесс, обеспечивая необходимый уровень качества получаемых изделий.

Все существующие методы контроля можно условно разделить на три группы: методы разрушающего контроля, неразрушающего и методы оценки долговечности склеенных изделий в процессе их эксплуатации.

Преимуществом методов разрушающего контроля, является их простота и информативность. Именно на основании результатов экспериментальных исследований определяют перечень клеев, рекомендуемых к применению.

Известно [1-5], что все методы контроля можно условно разделить на три группы: методы разрушающего контроля, неразрушающего и методы оценки долговечности склеенных изделий в процессе их эксплуатации.

Независимо от целей испытаний и методов испытаний их объединяет необходимость получения информации:

- качественной, т.е. требуется достоверно оценить, действительно ли соответствует испытанный клей техническим требованиям;
- надежной, что подразумевает воспроизводимость полученных результатов в аналогичных условиях;
- объективной, т.е. полученные данные должны соответствовать истинным характеристикам свойств.