

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.

Эти критерии, связанные друг с другом, относятся к склеенным поверхностям и не зависят от области, где используется клей.

Для определения качества склеивания используют три группы показателей: технологические (т.е. соответствие используемой технологии техническому заданию), технические (механические и прочие свойства клеевых соединений) и показатели надежности (долговечность и пр.).

Но в любом случае для обеспечения качества склеивания необходимо следовать условиям которые отвечают следующим требованиям:

- являются достоверными и отражают реальные условия нагружения;
- имеют невысокую стоимость, поскольку все затраты, расходуемые на проведение контрольных операций приводят к увеличению стоимости выпускаемой продукции;
- воспроизводимы.

В основе неразрушающих методов контроля лежит идея о сравнении хороших и дефектных образцов и использовать полученные результаты при анализе реальных конструкций. В эти методы входят:

1. Визуальные методы неразрушающего контроля.
2. Звуковые (акустические) методы. Ультразвуковая дефектоскопия. С помощью этого метода можно обнаружить непрочности.
3. Радиоскопические методы. Входной радиосигнал изменяет свою траекторию, если встречает на своем пути дефектные зоны.
4. Оптические методы. На склеиваемые поверхности наносят специальный оптически чувствительный состав, который даже при незначительных деформациях меняет цвет.
5. Инфракрасное излучение (термографические) методы. С использованием сканирующего нагревателя.
6. Рентгенодефектоскопия (используется для обнаружения непрочностей).

Деформационные методы. (Основаны на способности человека хорошо воспринимать звуковые колебания в определенном диапазоне частот. При простукивании металлическим предметом склеенных деталей можно уловить изменение звука, что свидетельствует об обнаружении каких-то изменений непосредственно в клеевом шве.

Как показано на структурной схеме (рис. 1 [1]), разрушающий контроль дает оценку прочности клеевого соединения. Эти результаты являются основанием для составления технического задания по внедрению технологии склеивания на любом предприятии машиностроительной области.

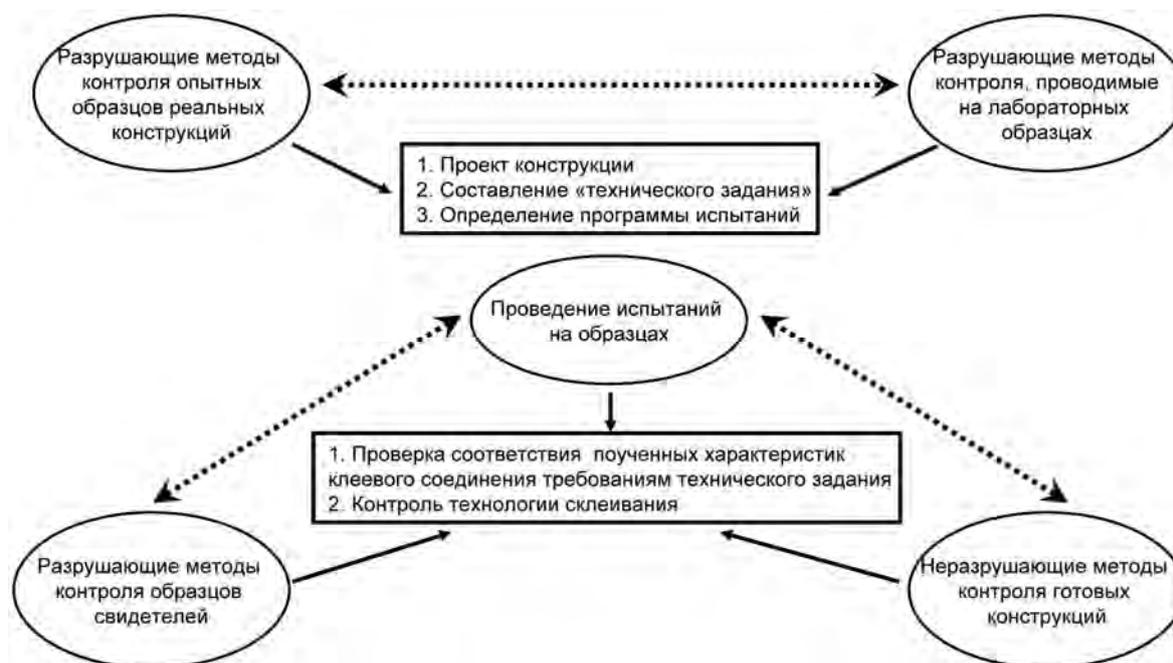


Рис. 1 Области применения методов контроля качества склеивания

Однако исходя из условий эксплуатации, кроме известных методов и методик могут применяться и специальные способы контроля для отдельных отраслей машиностроения, а именно:

- прочность при скручивании и ударе. Применяется для оценки качества склеивания на предприятиях, специализирующихся на изготовлении лыж, санок и прочего для «скользящих видов спорта»;

- прочность при кручении - изгиб - удар. Такие методы используются для определения качества крепления полов транспортных средств;

- циклические нагрузки - кручение. Данные методы применяются для оценки качества склеивания вала рулевого управления и карданной передачи в конструкции автомобилей и в судостроении; сжатие при воздействии воды. Данные методы используются при оценке клеев при изготовлении корпусов кораблей или отсеков подводных лодок.

Однако среди общеизвестных типов испытаний основное место занимают испытания с целью определения механической прочности клеевых соединений. При проведении испытаний такого рода может потребоваться применение специального инструмента или оснастки, например для создания заданных условий нагружения [1].

Все методики испытаний можно условно подразделить на две группы:

1. Стандартные механические испытания, позволяющие определить разрушающие нагрузки. Данные испытания могут проводить как при растяжении (сдвиг, отрыв, скручивание), так и при сжатии (изгиб);

2. Испытания на предварительно поврежденных образцах. В этом случае перед исследователями стоят задачи определить прочность при расслаивающих или отслаивающих нагрузках (рис. 2 [1]). (Как вариант, испытаний под действием расслаивающих нагрузок, в клеевом материале предварительно делают разрез. При таком испытании исследуется скорость распространения трещины).

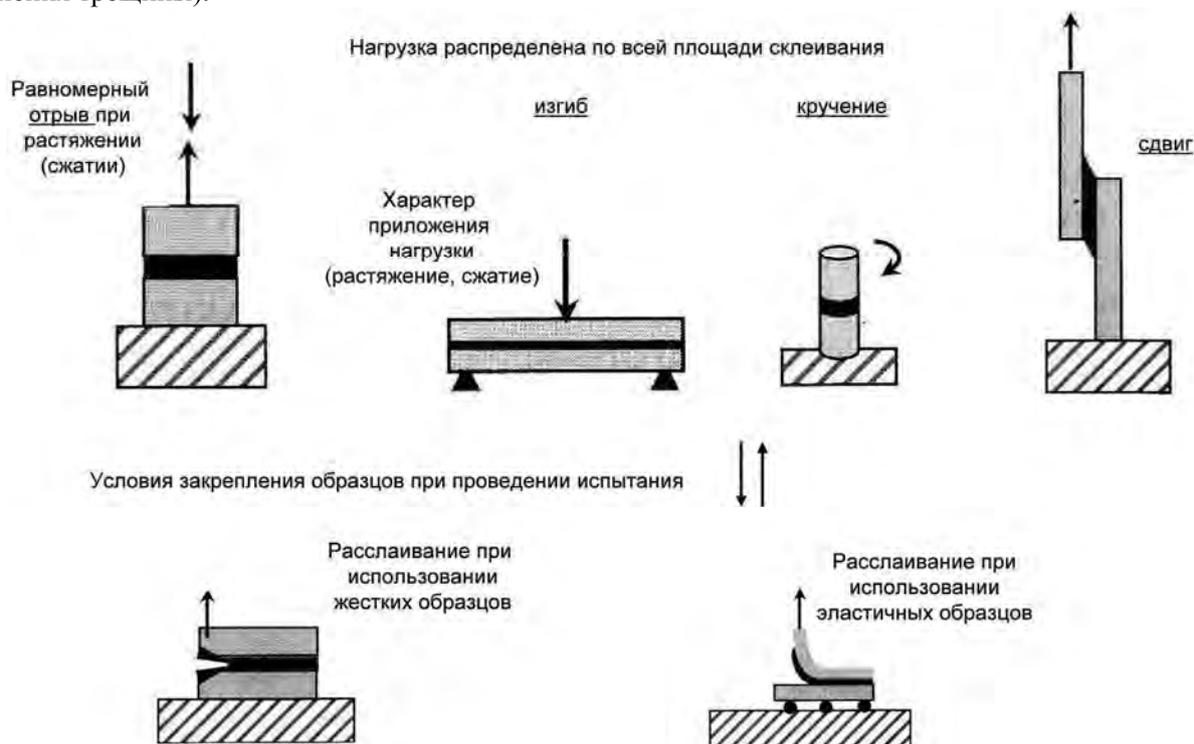


Рис. 2 Стандартные образцы и типовые условия нагружения

Испытания на расслаивание. На рис. 3 [1] показаны три типа образцов, используемых при испытании под воздействием расслаивающихся напряжений и приведена схема приложения нагрузок.

В качестве образцов при проведении испытаний используют две пластины длиной $L = 15-30$ см, шириной $b = 2-2,5$ см и толщиной $t = 1-1,5$ см, которые соединены между собой с помощью прочного (жесткого) клея с модулем упругости E , толщина клеевого шва составляет 50-

150 мкм. Трещину в клеевом материале делают с помощью ножа или специального инструмента. В результате перемещения склеиваемых деталей при действии нагрузки E , как это схематично показано на рис. 3, происходит прорастание трещины на глубину (длину) a .

При таких испытаниях определяют кинетику распространения трещины в зависимости от жесткости склеиваемых поверхностей, начальной протяженности надреза и прочих факторов. Однако, если клей обладает вязкоупругими свойствами, то может иметь место некоторое смещение магистральной трещины и появление дополнительных дефектов, что затрудняет анализ полученных результатов механических испытаний.

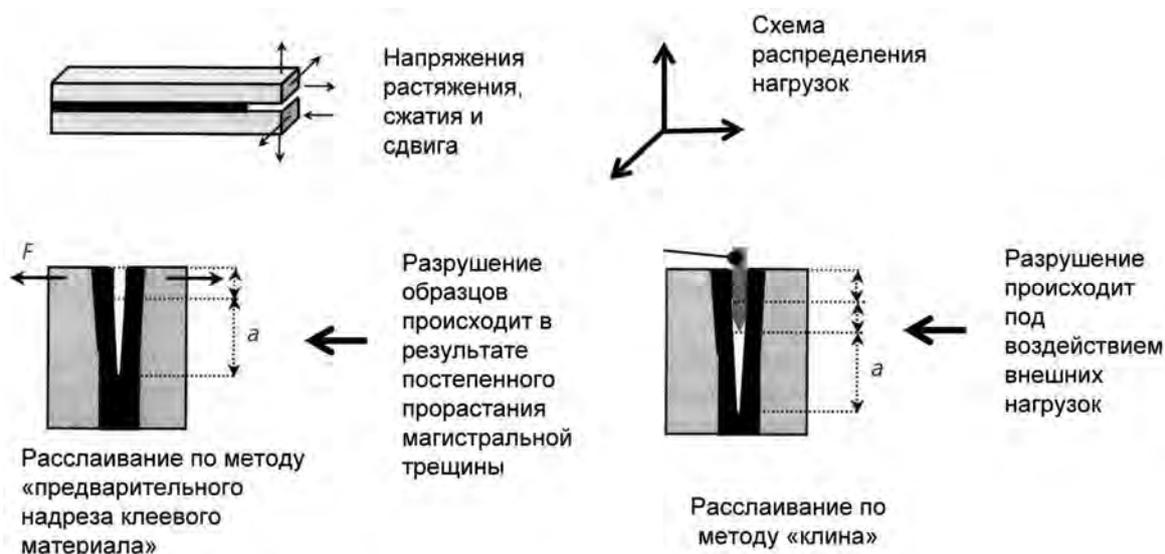


Рис. 3 Образцы для испытаний

Как вариант, проводятся испытания на расслаивания с помощью клина. В ходе испытаний по известной методике, клин устанавливается в надрез, сделанный в клеевом материале с помощью специального инструмента. Нагрузка прикладывается непосредственно к клину, который постепенно углубляется в клеевой шов. Именно под воздействием клина происходит распространение трещины на длину a . Испытание проводят при статических нагрузках.

В обоих случаях принимается допущение, что клеевой материал является упругим телом. Данные испытания стандартизованы и используются в авиационной промышленности (первоначально они назывались «тест Боинга»).

Для обеспечения долговечности склеенных образцов при условии, что они испытывают отслаивающие нагрузки, требуется соблюдение следующих условий:

- если один из склеиваемых элементов является жестким (например, элемент зеркала), то клеевой шов должен быть эластичным, способным релаксировать возникающие напряжения;
- если один из склеиваемых элементов, наоборот, является эластичным, например ткань или бумага, то в этом случае необходимо использовать жесткий клей, способный выдерживать большие пластические деформации.
- В клеевых материалах одновременно развиваются три вида деформаций:
 - упругая;
 - высокоэластическая;
 - вязкотекучая.

Полная деформация является суммой всех трех деформаций. При переходе через температуру стеклования к уже имеющейся упругой деформации добавляется обратимая высокоэластическая деформация, которая превосходит упругую на 2-4 порядка. Выше температуры стеклования добавляется еще одна составляющая деформации, которая приводит к постепенному накоплению остаточной деформации. Таким образом, с теоретической точки зрения анализ результатов испытаний

на отслаивание является достаточно сложным. Именно поэтому данный метод рекомендуется использовать только в тех случаях, если требуется в одинаковых условиях сравнить между собой несколько клеевых материалов. На результаты испытания при отслаивании оказывают влияние:

- толщина клеевого шва;
- толщина склеиваемых материалов;
- угол приложения нагрузок;
- скорость отслаивания.
- При отслаивании в клеевом шве одновременно развивается несколько процессов:
- хрупкое разрушение (адгезионное);
- уменьшение напряжений, связанное с релаксационными явлениями в клеевом шве;
- дальнейшее прорастание трещины на некоторую величину с последующей остановкой, что также связано с явлениями вязкоупругости. Зависимость напряжений от деформации.

В качестве показательных испытаний могут применяться испытания на сжатие, в котором сжимающие нагрузки возникают при эксплуатации большого количества машин и механизмов, например, пол в автомобиле, крышка блока головки цилиндра, витражи, крыши зданий и пр. Геометрия клеевого шва в таких конструкциях является достаточно сложной, и для точного определения возникающих в клеевом шве напряжений используют датчики.

Испытания при растяжении. При разрыве под действием растяжения нагрузка прилагается перпендикулярно клеевому шву. В этом случае разрушающая нагрузка приходится на всю площадь склеивания и определяются значения разрушающих напряжений. В качестве образцов для испытаний используют цилиндрические стержни, которые соединяют между собой с помощью исследуемого клея. Один конец образца крепится к станине, а второй к траверсе. Испытания проводят при заданной скорости движения траверсы до полного разрушения клея.

При проведении испытаний можно варьировать скоростью движения захватов. С увеличением скорости возрастает вероятность хрупкого разрушения клея, при уменьшении скорости нагружения в клеевом шве реализуются релаксационные процессы.

Испытания на разрыв [6]. Определяется общий характер разрыва: если клей обладает высокой прочностью, то происходит быстрое разрушение клеевого шва, и в этом случае говорят о том, что клей обладает очень небольшой липкостью. Другой клеевой материал, наоборот, может вести себя как резина т.е. одновременно с перемещением пуансона происходит деформация клеевого шва без разрушения.

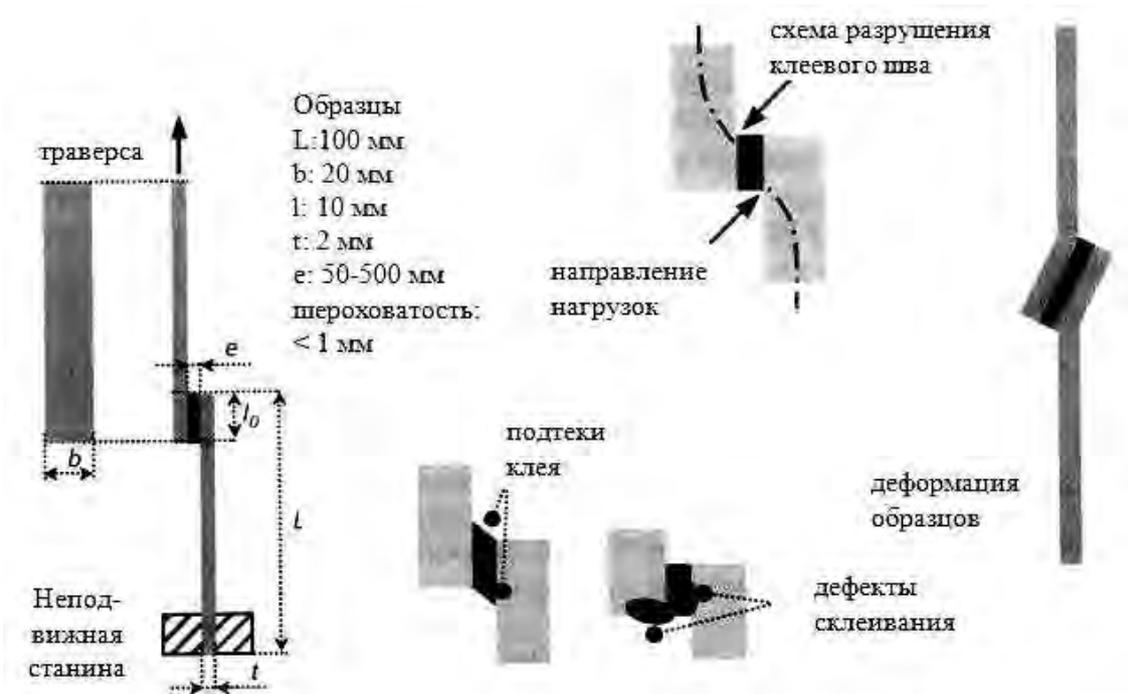


Рис. 4 Способы испытаний на сдвиг

Испытания на сдвиг [7] (рис.4 [1]). Исходя из того, что клеевые материалы хорошо работают в условиях сдвиговых нагрузок, существует большое количество разнообразных методов испытаний клеевых соединений при сдвиге.

При проведении испытаний следует учитывать, что на результаты испытания оказывают влияние многие факторы, важнейшими из которых являются:

- шероховатость склеенных поверхностей: если она превышает нескольких мкм, то в этом случае не удастся получить достоверные значения модуля сдвига;

- толщина шва оказывает большое влияние на прочность клеевого соединения. При малой толщине клея возможно образование «голодного» клеевого шва, и прочность такого соединения будет невысокой. Неравномерность толщины клеевого шва по площади склеивания также приводит к уменьшению прочности склеивания.

Регулировать толщину клеевого шва достаточно сложно. Для обеспечения заданных толщин применяют калибровочные прокладки или стеклянные шарики, которые равномерно распределяют в клеевом шве. Более простым способом обеспечения равнотолщинности является применение прессов (для плоских деталей) или вакуумных мешков (для изделий сложной геометрической формы). При проведении данных испытаний нужно учитывать ряд специфических факторов таких как [1]:

- неравномерность приложения нагрузки приводит к деформации образцов и еще более увеличивает неравномерное распределение напряжения по длине клеевого соединения;

- потеки клея: оказывают положительное влияние на прочность клеевого соединения, особенно если они расположены на краях. Однако если перед исследователями стоит задача провести сравнительный анализ нескольких клеев, то в этом случае наплывы и подтеки клея не позволят получить достоверные результаты о прочности испытываемых клеевых соединений.

Все ранее рассмотренные методы контроля не учитывали процессы старения клеевых материалов при длительном воздействии различных эксплуатационных факторов. Способность сохранять свои свойства характеризуются показателями долговечности. Понятие долговечность разные исследователи трактуют по-разному, как например [1,2]:

- способность клеевого соединения сохранять исходные свойства весь эксплуатационный период изделия;

- незначительно изменять свои свойства в процессе длительной эксплуатации;

- допускается ухудшение исходных характеристик клеевого соединения, но не выше 20—30% от первоначальной величины.

Причины старения клеевого материала. Наиболее значимыми факторами, приводящими к ухудшению свойств клеевого соединения, являются [1-3]:

- нагрузки, статические и динамические. (Статические испытания на ползучесть позволяют определить способность клеевых материалов выдерживать нагрузки при постоянной температуре в течение длительного времени). Если при воздействии таких нагрузок в клеевых материалах начинают происходить процессы пластической деформации (она является необратимой), клеевые соединения теряют свою способность сопротивляться условиям нагружения. В обоих случаях наблюдается постепенное изменение свойств (можно эти процессы назвать старением) и требуется определить скорости протекания этих процессов и предельные величины нагрузок. Динамический тип нагружения характеризуют величиной нагрузки, амплитудой и частотой приложения нагрузок. Даже если величина приложенной нагрузки существенно ниже предела прочности клеевых материалов, происходит постепенное снижение прочности. Эти потери прочности называют усталостью и объясняют нехваткой времени для полной релаксации напряжений при каждом цикле нагружения. Такое объяснение не является точным, поскольку при циклических нагрузках также могут иметь место процессы деструкции и, следовательно, будет происходить необратимое изменение свойств клеевого материала);

- температура и электромагнитные поля. (Температура может рассматриваться как фактор старения (деградации) и как фактор, ускоряющий отрицательное воздействие воды, ультрафиолета и пр). Клеевые материалы разрушаются под воздействием тепла в результате процессов термодеструкции. Для того, чтобы грамотно определить период времени, в

течение которого клеевое соединение не будет разрушаться в заданных температурных условиях, необходимо провести дифференциально термический анализ);

– микроклиматические параметры. (Клеевые соединения могут в течение всего срока эксплуатации изделий находиться под воздействием воды или ее паров). Вода приводит к быстрому изменению свойств клея и в первую очередь оказывает влияние на величину адгезионной прочности клеевого соединения. Влияние воды и влаги на процессы старения клея и ухудшение свойств клеевого соединения. Традиционно в качестве образцов для определения влияния воды на свойства клеев используют диски определенного диаметра, которые погружают в воду и периодически путем взвешивания определяют их массу. Увеличение массы говорит о том, что материал набухает и происходит изменение его свойств. В процессе пластификации водой происходит изменение поверхности клеевого шва. Она становится неровной (шероховатой). Эти дефекты поверхности легко обнаружить при визуальном осмотре. В качестве мер, которые способствуют защите клеевого слоя от дальнейшего воздействия влаги, можно использовать нанесение непосредственно на клеевой шов лакокрасочных защитных покрытий.

Конденсация воды в микронеровностях склеиваемых поверхностей возможна, если относительная влажность окружающей среды равняется 70% и более. Скорость старения клеевых материалов в таких условиях зависит не только от свойств клея, склеиваемых материалов, но и от геометрии клеевого шва. Чем меньше толщина склеивания, тем медленнее происходят процессы диффузии воды (для бездефектных соединений). К дефектам относятся:

- «голодный» клеевой шов;
- на склеиваемых поверхностях присутствует электролит, вызывающий их коррозию;
- низкая адгезионная прочность, связанная с плохой очисткой склеиваемых поверхностей;
- дефекты склеивания, которые могут иметь разное происхождение: неравномерность толщины клеевого шва, неполное отверждение клея и пр.

Диффузия воды в клеевой шов увеличивается, если начинаются процессы коррозии склеиваемых деталей. Процессы коррозионного разрушения имеют место не только при склеивании металлических деталей, но они характерны и для различных сплавов, в том числе и алюминиевых. В результате образования продуктов коррозии происходит изменение структуры деталей, изменяется их плотность, увеличивается гидрофильность. При этом одним из важнейших оценочных факторов является влияние шероховатости склеиваемых поверхностей на стойкость клеевых соединений к воздействию влаги. Вода конденсируется в микродефектах (карманчиках) поверхностных слоев склеиваемых деталей и постепенно диффундирует по границе раздела клей — склеиваемые поверхности. Происходит сольватация, что приводит к постепенному слиянию капель воды и образованию все более увеличивающихся участков сплошной водной пленки. Как правило, потеря прочности клеевого соединения происходит намного раньше, чем заканчиваются процессы сольватации. Чем более грубой является шероховатость склеиваемых деталей, тем скорее происходит потеря прочности склеиваемых соединений.

До сих пор стоит актуальной задача водоподготовки. К основным элементам данного процесса относятся аэраторы и фильтрующие элементы. В связи с тем, что данные устройства работают в воде с применением агрессивных реагентов, то их производят либо из инертных металлов, либо нержавеющей стали. Сварка данных материалов является весьма дорогостоящим процессом и требует специального оборудования и оснастки. В результате для удешевления изготовления данных изделий были рассмотрены варианты замены сварных элементов конструкций на клеевые. Однако, для эффективной замены, необходимо изучить параметры долговечности и прочностные характеристики клеевых конструкций. В результате была предложена методика прочностных испытаний клеевых трехобъемных соединений.

Для проведения данных испытаний [7-9] были подготовлены образцы (№ 1 и № 2 (рис 5а)) с использованием адгезива компании 3М марки DP 8805NS и шайб (№ 3) из нержавеющей стали (рис. 5б). Подготовка поверхности проводилась в соответствии со стандартными методиками разработанными компанией 3М для склейки металла [8,9].

Далее испытания образцов проводились на базе сертифицированного центра структурных исследований и трибо-механических испытаний материалов и изделий машиностроения Объединенного института машиностроения НАН Беларуси (ЦКП – ЦСИМИ

ОИМ НАН Беларуси) с помощью разрывной машины Instron 300LX (рис.6 и рис.7), данные обрабатывались с помощью программы Bluehill 2 (Великобритания) (табл. 1)

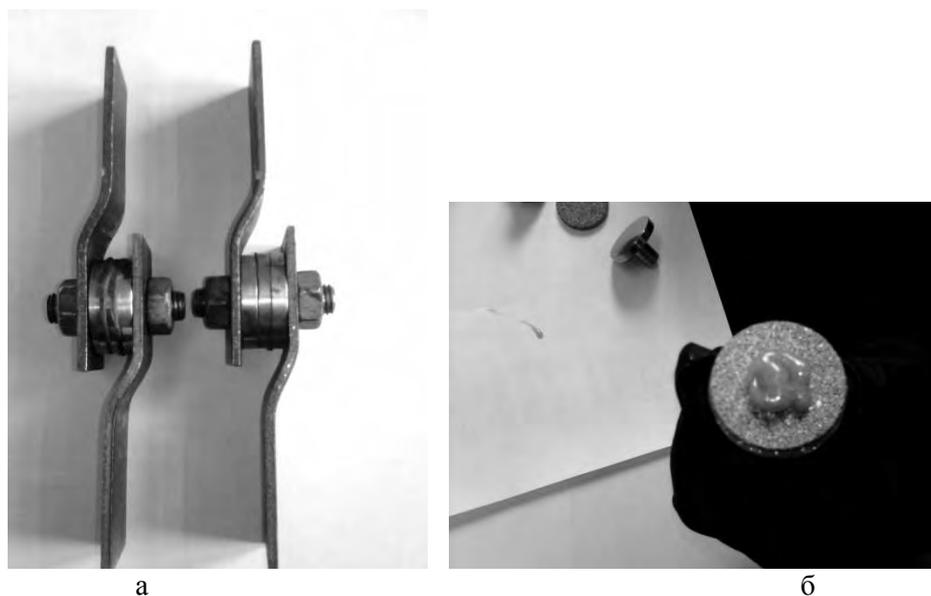


Рис. 5 Подготовленные испытательные образцы на основе клеевого состава марки DP 8805NS для испытаний на сдвиг и на разрыв

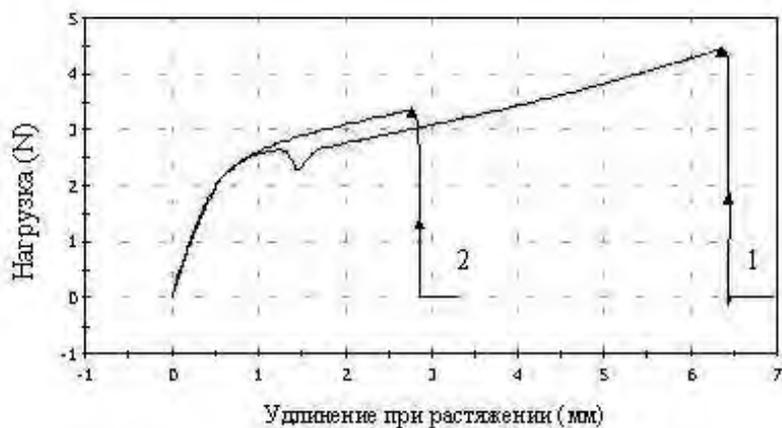


Рис. 6 Прочностные испытания на сдвиг образцов склеенных клеем DP8805NS

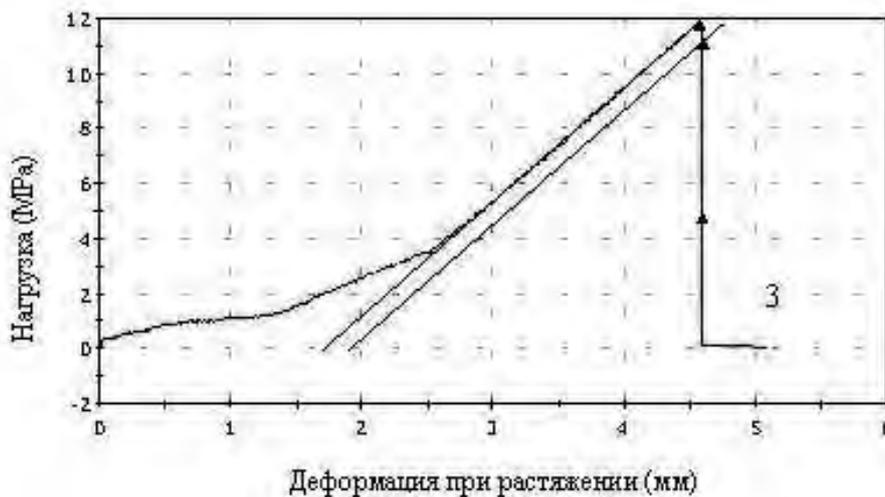


Рис. 7 Прочностные испытания на разрыв образца склеенного клеем DP8805NS

Таблица 1 – Прочностные характеристики образцов

№ образца	Прилагаемые нагрузки	
	kN	МПа
№ 1 без бороздок	4,42	6,25
№ 2 с бороздками	3,33	4,71
	Предел прочности, МПа	Пластичность, %
№ 3	11,8	4,6

Исходя из полученных данных было выявлено, что механические свойства клеенных изделий сопоставима с прочностными характеристиками изделий получаемых методами порошковой металлургии, однако данный процесс требует дальнейшей оптимизации и разработке оптимальных технологических параметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ж.-Ж. Вильнав. Клеевые соединения. Перевод с французского Л.В. Синегубовой. — М.: Техносфера, 2007. — 385с.
2. 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.
3. 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.
4. Pocius A.V., Adhesion and Adhesive Technology, Hansen Gardner Publications, New York, 2nd ed. 2002.
5. Petit J.A., Vieillissement et durabilite des assemblages colles, Sessions de formation JADH, SFA-SFV, Paris, 2003.
6. ГОСТ 14760-69. Клеи. Метод определения прочности при отрыве. — М.: Издательство стандартов. 1970. — 6с.
7. ГОСТ 14759-69. Клеи. Метод определения прочности при сдвиге. — М.: Издательство стандартов. 1970. — 9с.
8. 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.
9. 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.

УДК 621.88

Калиниченко М.Л., Александров В.М.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СКЛЕИВАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Белорусский национальный технический университет,

Минск, Беларусь

В работе рассмотрены общие вопросы и способы подготовки металлических элементов для соединения с помощью клеевой материалов. Рассмотрено, как геометрия поверхности, ее шероховатость и пористость склеиваемых элементов может повлиять на конечный результат. Показаны способы нанесения клеящих материалов, а также влияние температурных режимов на процесс склеивания, а так же целесообразность возможности использования приложения давления во время процесса склеивания. Приведена взаимосвязь толщины клеевого слоя и прочности получаемого соединения. Влияние вязкости клея на время отвержения и качество адгезии склеиваемых материалов. Описаны факторы снижающие качество клеевых соединений, а так же рассмотрен ряд аспектов контроля качества клеевых соединений, включая методы и аппаратную базу.