

УДК 693.814.23

КЛЕЕВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ, СОВРЕМЕННЫЙ СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ



ADHESIVE JOINTS OF METAL STRUCTURES, A MODERN WAY TO INCREASE STRENGTH

Сурина Анна Дмитриевна

студент,
Кубанский Государственный Технологический университет
qazdr1322.@gmail.com

Леонова Анна Николаевна

кандидат технических наук,
доцент кафедры строительных конструкций,
Кубанский Государственный Технологический университет
lan.75@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены области применения клеящих составов для соединения элементов металлических конструкций. Проанализирован инновационный прием повышения прочности клееных соединений посредством воздействия постоянного магнитного поля на полимер клея.

Ключевые слова: металлические конструкции, клеевые соединения, прочность, магнитное поле, напряжённость поля.

Surina Anna Dmirtievna

Student,
Kuban State University of Technology
qazdr1322.@gmail.com

Leonova Anna Nikolaevna

Ph. D., Associate Professor of
Building Structures,
Kuban State University of Technology
lan.75@mail.ru

Annotation. The article discusses the areas of application of adhesives for connecting elements of metal structures. An innovative method of increasing the strength of glued joints by means of the action of a constant magnetic field on the adhesive polymer is analyzed.

Keywords: metal structures, adhesive joints, strength, magnetic field, field strength.

В последние годы поиск новых, более экономичных методов, позволяющих соблюдать условия эксплуатации металлических конструкций, обеспечил клеевым соединениям широкое распространение в различных сферах промышленности.

Неразъёмное соединение элементов конструкций с помощью клея, образующего между ними тонкую прослойку (клеевой шов), называется клеевым [1, с. 173].

Такой способ соединения при решении многих производственных задач сможет конкурировать с общепринятыми на данный момент механическими соединениями. Тонкий клеевой шов не ослабляет металл, в отличие от сварки и сверления отверстий при болтовом или заклёпочном соединении. При работе на срез клеевые соединения лучше нивелируют деформации за счет большей площади контакта поверхностей в сравнении с точечным контактом, характерным для традиционных крепежных элементов. В соединяемых элементах дополнительные внутренние напряжения незначительны. Клеи обеспечивают высокую коррозионную стойкость в агрессивных средах, герметичны, обладают хорошей сопротивляемостью к ударным и вибрационным нагрузкам. Цена клеевого сырья и простота технологии склеивания позволяет снизить стоимость производства, вес конструкций и сэкономить металл.

Технология склеивания металлических конструкций содержит в себе следующие этапы:

- Подготовка поверхностей к склеиванию: поверхности должны быть очищены от пыли и жира, обеспечена необходимая шероховатость.
- Нанесение клея: клей следует наносить в одну сторону во избежание попадания в него пузырьков воздуха, наиболее рациональны клеящие пленки, не допускающие изменение толщины клеевого слоя.
- Сборка и склеивание деталей: в сборочном приспособлении детали с нанесенным клеем устанавливают во взаимно правильное положение и фиксируют зажимными устройствами.
- Отчистка шва от подтеков и контроль качества соединения: наиболее совершенным методом является применение ультразвука, в ряде случаев контроль выполняется визуально, с помощью лупы [2].

Ввиду того, что надежное соединение деталей малой толщины возможно обеспечить, как правило, только склеиванием, самым целесообразным методом применения клеевых соединений в строительстве является изготовление деталей из тонких листов.

Из-за возможности соединять разнородные материалы, актуальным направлением также представляется создание новых конструкций - сотовых и слоистых, которые используются в качестве отделочного слоя навесных вентилируемых системах (рис. 1)

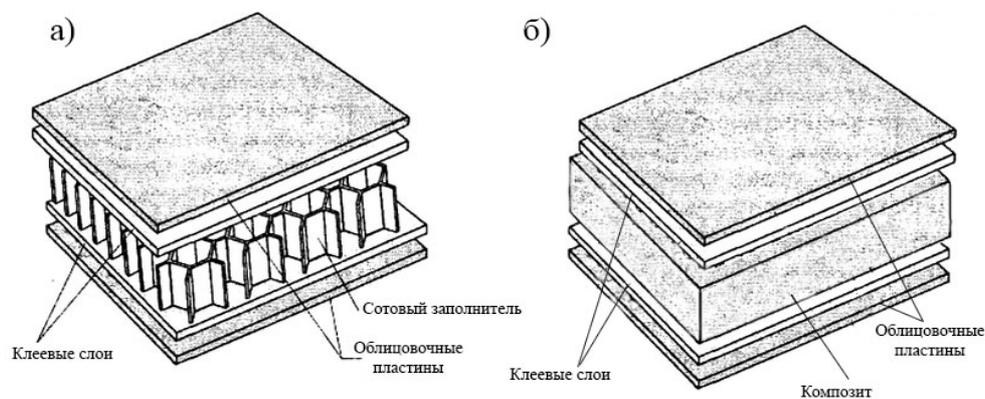


Рисунок 1 – Аллюминиевые панели фасада:
а) сотовые; б) слоистые.

Прогрессивным приемом становится использование комбинации клеевого соединения и механического. Так, например, в ЦНИИпроектстальконструкции разработан метод, при котором к стыкуемым элементам эпоксидным клеем с корундовым наполнителем приклеиваются стальные накладкИ и стягиваются высокопрочными болтами. Таким образом удаётся добиться увеличения несущей способности соединений в два раза (44 т на один болт вместо 21 т) и заменить болты на более дешёвые из стали марки Ст.3, без потери несущей способности соединения.

Ещё один комбинированный способ соединения элементов конструкций – клеесварной, когда при точечной сварке в промежутках находится клей. Так как прочность сварных точек при отрыве относительно небольшая (5–10 Мпа), а клеевого соединения – 30–40 Мпа [3, с. 433], Такой способ соединения рационально использовать в каркасных системах, работающих на сжатие, или конструкций в виде листов или профилей. Важно, чтобы клеевой шов таких соединений был равномерным, и в нём отсутствовали поры. Ниже представлены рациональные типы клеесварных конструкций (рис. 2).

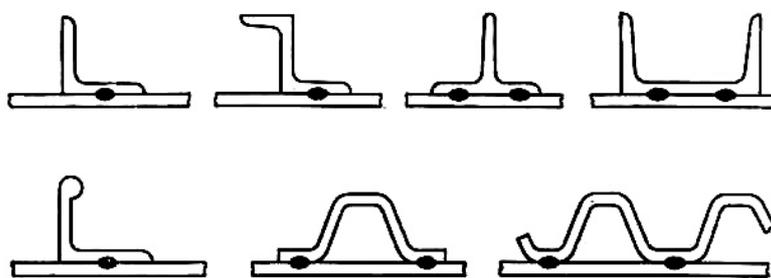


Рисунок 2 – Рекомендуемые конструкции клеесварного соединения

Недостатками клеевых соединений являются:

- затруднительный контроль качества швов;
- значительное снижение прочности в процессе старения;
- уменьшение предела прочности на сдвиг в 10–13 раз при повышении температуры от 30 до 140° С;
- недопустима работа при многократно повторяющихся ударных нагрузках;
- повышенные трудозатраты при подготовке поверхностей под склеивание.

Ключевым требованием, предъявляемым к клеевым соединениям, является их прочность. Как было сказано ранее, соединения на основе клея имеют большой потенциал, поэтому технологии повышения прочностных характеристик таких соединений непрерывно совершенствуются. Отдельные испытания [4] и практика эксплуатации конструкций на основе клеевых соединений показали, что изменение состава клея для повышения прочности клеевого шва малоэффективно, поэтому современные приемы основаны на совершенствовании микроструктуры или полимерной матрицы клеев. Одним из таких методов является обработка клеевой композиции постоянным магнитным полем перед нанесением на элементы конструкции. Такой способ основан на исследованиях [5], которые показали увеличение микротвердости расплавленного полимера после его отверждения, что может говорить и о возрастании прочности всего клеевого шва.

Обработку полимерного компонента проводили на стенде (рис. 3).

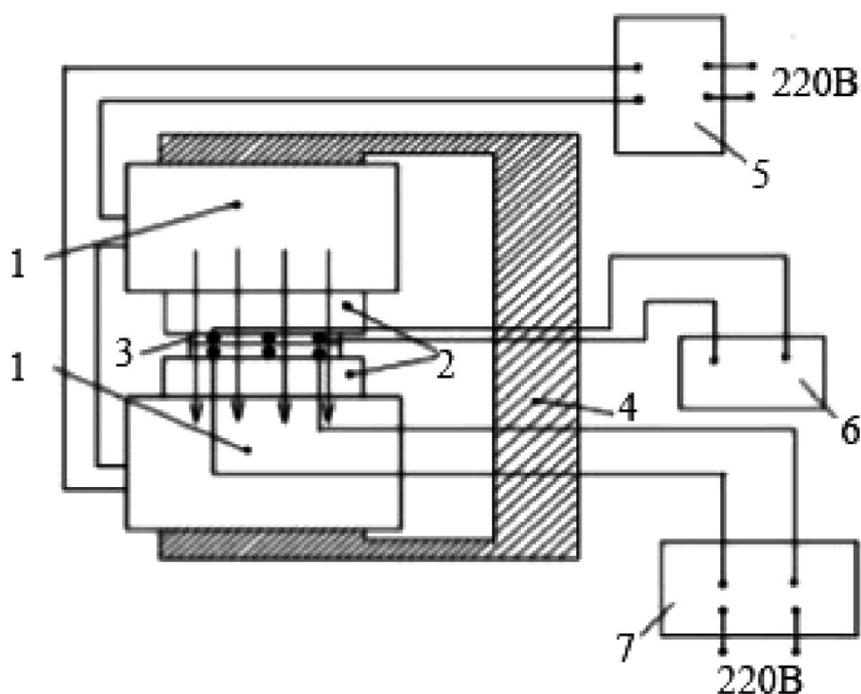


Рисунок 3 – Стенд для обработки полимера постоянным магнитным полем:

1 – обмотка электромагнита; 2 – башмаки электромагнита; 3 – нагревательное устройство с образцом; 4 – ярмо; 5 – блок питания; 6 – потенциометр; 7 – источник питания нагревательного устройства.

Принципиальная схема работы стенда состоит в следующем: на обмотку катушки электромагнита подается постоянный ток, создающий постоянное магнитное поле, напряженность поля регулируется силой тока и расстоянием между подвижными башмаками электромагнита. Полимер клея в кювете помещается между двух полюсов электромагнита, где на него осуществляется воздействие магнитным полем с напряженностью до $3,0 \cdot 10^5$ А/м при температуре около 60°C , которую поддерживает специальное нагревательное устройство. Обработку проводят в течение 30 минут, после этого полимер смешивается с отвердителем. В ходе опыта полученную композицию нанесли на поверхности специальных образцов в форме блоков для дальнейшего определения предела прочности соединений на равномерный отрыв и сдвиг при сжатии. Соединённые блоки выдерживали при давлении в $0,2\text{--}0,3$ Мпа и температуре 500°C в термошкафу в течение 10 часов, после чего поместили в разрывную машину МИ-20.

В качестве испытательных образцов выступали: эпоксидно-полисульфидный клей К-153, эпоксидный клей ВК-9 и блоки из стали Ст.3. Результаты проведенных испытаний приведены в таблице 1. Необходимо отметить, что у 90 % образцов разрушение носило когезионный характер.

Таблица 1 – Зависимость прочности клеевого соединения от напряжённости постоянного магнитного поля

Марка клея	Напряжённость магнитного поля $H \cdot 10^{-4}$, А/м	Предел прочности на равномерный отрыв σ , Мпа	Предел прочности на сдвиг при сжатии τ , Мпа
ВК-9	0	16,5	13,2
	7,2	18,2	14,1
	12,4	24,3	15,2
	21,2	25,4	22,2
	24,6	26,1	22,9
	27,4	26,4	23,4
К-153	0	10,6	6,3
	7,2	12,2	7,4
	12,4	12,7	8,3
	21,2	14,6	9,8
	24,6	14,9	10,2
	27,4	15,3	10,6

По данным таблицы можно сделать следующие выводы:

- предел прочности на сдвиг при сжатии возрос в 1,8 раза у обеих марок;
- предел прочности на равномерный отрыв увеличился в 1,6 и 1,4 для ВК-9 и К-153 соответственно;
- изменение пределов прочности носит линейный характер.

Согласно [6] полученные результаты можно объяснить явлением, при котором макромолекулы полимера клея под воздействием магнитного поля ориентируются в направлении одного вектора, что обуславливает упорядоченную микроструктуру клея и, как следствие, бóльшую прочность соединений.

Чтобы проверить вышеизложенное предположение, на растровом электронном микроскопе с увеличением 3нм были сделаны фотографии микроструктуры данных клеев до и после обработки постоянным магнитным полем с напряжённостью $2,4 \cdot 10^5$ А/м (рис. 4). На снимках видно, как уплотнилась микроструктура клея, что должно свидетельствовать и о повышении механических свойств.

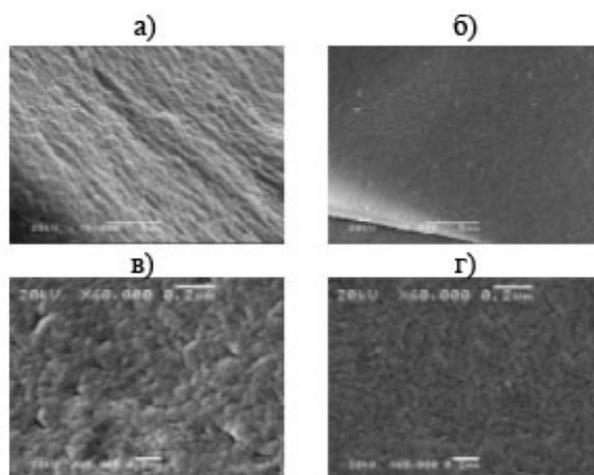


Рисунок 4 – Микрофотографии клея:
 а) клей К-153 до обработки; б) то же, после обработки;
 в) клей ВК-9 до обработки; б) то же, после обработки.

Подводя итоги, нужно отметить, что клеевые соединения благодаря вышеизложенным преимуществам перспективны для использования в строительной отрасли и поиска путей улучшения состава, структуры, прочностных характеристик и расширения

областей эксплуатации. Ощутимую выгоду можно извлечь из применения клееных соединений в комбинации с механическими, так как такой тип позволяет нивелировать недостатки и использовать преимущества каждого типа. Важным аспектом должен стать поиск способов увеличения прочности клеевых соединений, основанный на изменении структуры последних, так как имеющиеся исследования показывают большой потенциал. Рассмотренный метод может быть реализован на предприятиях, изготавливающих клеевые соединения и производствах, использующих их для создания металлических конструкций с клеевыми соединениями.

Литература

1. Тюняев, А.В., Звездаков В.П., Вагнер В.А. Детали машин: учебник, 2-е изд., испр. и доп. – СПб. : Лань, 2013. – 736 с.
2. Шавырин В.Н., Рязанцев В.И. Клеесварные конструкции [Текст]. – М. : Машиностроение, 1981.
3. Молотников В.Я. Техническая механика: учебное пособие. – СПб. : Лань, 2017. – 476 с.
4. Айбиндер С.Б. Андреева Н.Г. Влияние наполнителей на теплофизические, механические и антифрикционные свойства полимеров // Изв. АН ЛАТ. ССР. Сер. физ. и техн. наук. – 1983. – № 5. – С. 3–18.
5. Молчанов Ю.М., Кисис Э.Р., Родин Ю.П. Структурные изменения полимерных материалов в магнитном поле // Механика полимеров. – 1973. – № 4. – С. 737–738.
6. Электрические и магнитные поля в технологии полимерных композиций / Ю.И. Воронежцев [и др.]. – Минск, 1990. 263 с.

References

1. Tyunyaev A.V., Zvezdakov V.P., Wagner VA Machine Parts: textbook, 2nd ed. – SPb. : Lan', 2013. – 736 p.
2. Shavyrin V.N., Ryazantsev V.I. Kleeswelded structures [Text]. – M. : Mashinostroenie, 1981.
3. Molotnikov V.Y. Technical Mechanics: Textbook. – SPb. : Lan', 2017. – 476 p.
4. Aibinder S.B. Andreeva N.G. Influence of fillers on thermophysical, mechanical and antifriction properties of polymers // Izv. SSR. Ser. of Phys. and Engineering Sciences. – 1983. – № 5. – P. 3–18.
5. Molchanov Yu.M., Kisis E.R., Rodin Y.P. Structural changes in polymeric materials in a magnetic field // Mechanics of polymers. – 1973. – № 4. – P. 737–738.
6. Electric and magnetic fields in the polymer composites technology / Yu.I. Voronezhstsev [et al.]. – Minsk, 1990. 263 p.