

УДК 674.028.9

## К ВОПРОСУ О СОЗДАНИИ КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПОВЫШЕННОЙ ПРОЧНОСТИ

В.М. Попов, А.П. Новиков

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный  
лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова»

В последние несколько десятилетий при создании металлических конструкций в различных областях техники широкое применение находят клеевые соединения [1 ... 3]. Это связано, во-первых, с достижениями в области химии полимеров, позволяющими создавать полимерные клеи, отвечающие требованиям, предъявляемым к неразъемным соединениям, и во-вторых, с явными преимуществами соединений на клеях по сравнению с такими традиционными видами соединений, как сварка, пайка, клепка.

Основным критерием качества клеевого соединения является его прочность, поэтому большинство исследований по технологии создания клеевых соединений посвящено мероприятиям по повышению прочности соединений на клеях. Создаются новые марки клеев, совершенствуются технологии склеивания. Однако, перечисленные мероприятия уже не дают заметного повышения прочностных характеристик создаваемых в условиях производства клеевых соединений. Таким образом, на повестку дня ставится вопрос разработки новых технологических приемов по созданию клеевых соединений повышенной прочности.

Более перспективными в этом плане представляются технологии, позволяющие изменять структурное построение полимерной матрицы клея в сторону упорядочения и уплотнения макромолекул. Ранее проведенными исследованиями установлен эффект повышения когезионной прочности полимерных клеев, подвергнутых воздействию магнитным полем [4]. Исследованиями, результаты которых представлены в работе [5], установлено повышение адгезионной прочности полимерного покрытия, подвергнутого воздействию ультразвука, с металлической подложкой.

Основываясь на приведенных результатах исследований по влиянию физических полей на прочностные характеристики клеев и покрытий, можно ожидать более высокого эффекта повышения этих характеристик при воздействии комбинированных физических полей.

Для реализации способа модифицирования клеев путем их обработки в комбинированных полях проведена серия экспериментов по влиянию ультразвукового поля на прочность клеевых соединений. Для магнитной обработки клеев использовали стенд, состоящий из электромагнитного индуктора [6]. На обмотку катушки электромагнита подается ток силой до  $12A$ . Напряженность поля  $H$  регулируется величиной подаваемого тока или расстоянием между полюсами электромагнита за счет перемещения подвижных башмаков.

Стенд позволяет создавать постоянное магнитное поле напряженностью до  $30 \cdot 10^4 A/m$ . Для ультразвукового облучения клеев используется ультразвуковой излучатель в комплекте с ультразвуковым генератором *ИЛ10-0,63*, позволяющим создавать рабочую частоту до 22 кГц. Кювета из фторопласта с клеем или полимерным компонентом клея помещается в рабочую ячейку с нагревательным элементом, расположенную между полюсами электромагнита.

В начальной стадии обработки образец подвергается в течение 5 минут воздействию ультразвуком, а затем в течение 20 минут магнитным полем заданной напряженности. Разовая ультразвуковая обработка образцов производилась при частотах  $16$  кГц и  $20$  кГц. Воздействие магнитным полем осуществлялось при напряженности от 0 до  $24 \cdot 10^4 A/m$ .

В качестве объектов исследований применялись клеи марок *BK-9* и *K-153*, а также клеевая композиция на основе эпоксидной смолы ЭДП и полиэтиленполиамина (ПЭПА) как отвердителя.

После обработки образцов ультразвуком и магнитным полем клей наносился на поверхности субстрата из стали 20. Отверждение клеевых прослоек осуществлялось в термошкафу при давлении  $0,3$  МПа и температуре  $60$  °С в течение суток.

После этого образцы подвергались испытаниям на предел прочности при сдвиге на стенде *ИР-50-3*. Осуществлялось трехкратное повторение опытов. Полученные в процессе испытаний результаты представлены в таблице.

Таблица 1 – Зависимость предела прочности при сдвиге для клеевого соединения на основе клеев, модифицированных обработкой в магнитоультразвуковом поле

Марка клея	Частота колебаний $\nu$ , КГц	Предел прочности клеевого соединения на сдвиг $\tau$ , МПа при напряженности магнитного поля $H \cdot 10^{-4}$ , А/м					
		0	6,4	10,7	15,4	20,2	24
ЭДП + ПЭПА	0	6,1	6,8	7,2	7,8	8,31	8,56
	16	7,1	7,6	8,5	9,0	9,3	9,6
	20	7,7	8,2	9,1	9,6	10,1	10,5
К-153	0	6,4	7,5	8,4	9,2	9,9	10,6
	16	7,8	8,4	8,9	9,6	10,5	11,6
	20	8,3	9,0	9,4	10,0	11,2	12,1
ВК-9	0	12,8	13,9	14,2	19,5	21,4	24,3
	16	13,4	14,6	15,0	21,0	22,3	25,6
	20	14,0	15,1	15,8	21,7	24,1	26,8

Анализируя приведенные в таблице опытные данные, можно сделать следующие выводы. Для всех исследованных клеев воздействие на них постоянным магнитным полем повышает прочность клеевого соединения. При этом прочность растет с увеличением напряженности поля вплоть до напряженности  $H = 20 \cdot 10^4 \text{ А/м}$ . При комбинированном же воздействии полей на клей прочность клеевого соединения превосходит прочность соединения, обработанного только магнитным полем.

Механизм процесса повышения прочности клеевых соединений при воздействии комбинированным полем можно объяснить по результатам электронномикроскопических исследований и рентгеноструктурному анализу на образцах отвержденного клея. Данные таких исследований свидетельствуют о том, что в модифицированной клеевой прослойке происходит перестройка структуры полимерной матрицы клея в сторону упорядочения и уплотнения. Применение ультразвукового облучения приводит к исчезновению пустот, трещин и глобул, которые, как правило, являются концентраторами напряжения, способствующего снижению когезионной прочности клеевого соединения.

Есть основания также считать, что воздействие комбинированными физическими полями положительно влияет на процессы смачивания и растекания клея по поверхности субстрата, что повышает адгезионную прочность клеевого соединения [4].

Основываясь на полученных результатах исследований, можно сделать вывод, что обработкой полимерных клеев в комбинированных физических полях достигается заметное повышение прочности клеевых соединений. Отсюда следует полагать, что можно найти внедрение на предприятиях, производящих клеи и на предприятиях, использующих клеи для создания клеевых соединений.

#### Библиографический список

- 1 Вильнав, Ж. Ж. Клеевые соединения. – М. : Техносфера, 2007. – 384с.
- 2 Кейгл, Ч. Клеевые соединения. М. : Мир, 1971. – 205 с.
- 3 Попов, В. М., Влияние магнитной обработки полимерных клеев на прочность клеевых соединений на их основе / В. М. Попов, А. П. Новиков, А. В. Иванов // Механика композиционных материалов и конструкций. 2012. – Т. 18. – №3. – С. 414-421.
- 4 Негматов, С. С. Технология получения полимерных покрытий. Ташкент : изд-во Узбекистан. 1975. 232 с.
- 5 Пат. 2328788 МПК H01F13/00. Устройство для намагничивания. В. М. Попов, А. В. Иванов, В. С. Мурзин, А. П. Новиков, В. В. Шестакова, А. В. Латынин; заяв. и патентообл. ВГЛТА. № 20077115746/09; заявл. 25.04.2007; опубл. 10.07.2008. Бюл.№19-4с.