

ВЛИЯНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НА ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

Попов В.М., Новиков А.П., Тиньков А.А., Черников Э.А.

ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Россия, e-mail: etgvglta@mail.ru.

Полимерные клеи находят широкое применение при склеивании металлических конструкций. Условия эксплуатации таких конструкций зачастую требуют повышенной прочности клеевых соединений и высокой теплопроводности клеевых прослоек. Предлагается метод создания таких клеевых соединений, в основу которого заложен эффект от воздействия на клей и клеевую прослойку магнитоультразвуковым полем. Исследованиями для трех разновидностей клеев установлено значительное повышение прочности клеевых соединений, сформированных на основе обработанных в комбинированном физическом поле клеев. Для повышения теплопроводности клеевых прослоек проводится обработка в комбинированном поле клеевого шва на основе наполненного порошком ферромагнитной природы клея. Образовавшиеся в клеевой прослойке цепочки из контактирующих частиц металлического наполнителя повышают ее теплопроводность. Предлагаемая технология позволяет создавать конструкции с высокопрочными клеевыми соединениями и клеевыми прослойками повышенной теплопроводности.

Ключевые слова: клеевые соединения, клеевая прослойка, магнитное поле, ультразвук, напряженность поля, частота ультразвукового облучения, прочность, теплопроводность.

INFLUENCE OF COMBINED PHYSICAL FIELDS ON THE FORMATION PROCESS OF ADHESIVE JOINTS IN METALL CONSTRUCTIONS

Popov V.M., Novikov A.P., Tinkov A.A., Chernikov E.A.

Voronezh State Forestry Academy, Voronezh, Russia (394 087 Voronezh, Timiryazev str., 8), e-mail: etgvglta@mail.ru

Polymer adhesives are widely used for gluing of metal constructions. Terms of use of such designs often require higher strength of adhesive joints and high thermal conductivity of adhesive layers. We propose a method of creating such adhesive joints, which founded on the effect of exposure on adhesive and adhesive layer by magnetic ultrasound field. The studies for three types of adhesives found a significant increase in the strength of adhesive joints formed on the basis of the adhesives processed in combined physical field. To increase the thermal conductivity of adhesive layers treatment in the combined field of adhesive seam based on the nature of glue filled with the ferromagnetic powder is carried out. Formed in the adhesive layer chains of contacting particles of the filler metal increase its thermal conductivity. The proposed technology allows to create constructions with high-strength adhesive joints and adhesive layers of high thermal conductivity.

Key words: adhesive joints, adhesive layer, magnetic field, ultrasound, field intensity, frequency of ultrasonic irradiation, strength, thermal conductivity.

Введение

Во многих областях современной техники для соединения отдельных деталей и узлов широко применяются клеевые соединения. К последним в процессе эксплуатации в ряде случаев предъявляются такие требования, как высокая прочность соединений [1] и повышенная теплопроводность клеевых прослоек [2]. Как показывают специальные исследования [3], реализовать технологически эти требования проблематично. Так, широко применяемый в настоящее время метод повышения теплопроводности путем насыщения полимерной матрицы клея металлическими порошками, во-первых, недостаточно

эффективен и, во-вторых, приводит к резкому снижению прочности клеевых соединений. Поэтому требуется разработка метода, основанного на изменении наноструктуры клеев.

Ранее проведенными исследованиями [4] установлено, что при воздействии на расплав эпоксидного полимера постоянным магнитным полем он приобретает более упорядоченную структуру и соответственно становится в отвержденном состоянии более прочным. Еще более эффективным представляется ультразвуковая обработка расплава полимера. С другой стороны, для повышения теплопроводности клея может быть применен способ, в основу которого заложен эффект от воздействия на неотвержденную клеевую композицию с дисперсным наполнителем ферромагнитной природы магнитным полем [5]. Под воздействием магнитного поля в клеевой прослойке формируются цепочки из близко расположенных относительно друг друга или непосредственно касающихся частиц наполнителя. Однако, как показывают увеличенные снимки микроструктуры магнитообработанных пленок, частицы наполнителя не всегда непосредственно касаются друг друга. Для интенсификации этого процесса целесообразно клеевые прослойки подвергать воздействию ультразвуком [6].

Для изучения вопроса комплексного воздействия на клеевую композицию или клеевую прослойку ультразвуком и магнитным полем проведены специальные исследования. Для получения клеевых соединений повышенной прочности полимерный компонент подвергался вначале обработке ультразвуком, затем магнитным полем, после чего соединялся с отвердителем и, если необходимо, с наполнителем. Полученная клеевая композиция наносилась на поверхности исследуемых на прочность образцов. Для создания клеевых соединений с прослойками повышенной теплопроводности обработанную ультразвуком клеевую композицию с наполнителем и отвердителем помещали в формовочную кювету и подвергали обработке в магнитном поле до образования цепочечных структур в пленке из клея. Таким образом проводилась подготовка образцов для исследования прочности клеевых соединений и теплопроводности клеевых прослоек.

Для реализации данной программы создан стенд для магнитной обработки исследуемых образцов. Основным элементом стенда является электромагнитный индуктор с подвижными башмаками и блоком питания. Между полюсами электромагнита располагается рабочая ячейка с ультразвуковой головкой. В рабочую ячейку помещается фторопластовая кювета с полимерной композицией, которая располагается на нагревательном элементе, температура которого через две хромель-копелевые термопары фиксируется потенциометром. Напряженность магнитного поля изменяется от 0 до $27 \cdot 10^4$ А/м путем варьирования межполюсного расстояния или силы подаваемого на электромагнит тока. Обработка композиции ультразвуком осуществлялась в течение 5 минут при частоте 12 и 20 кГц.

Температура в области рабочей ячейки поддерживалась на уровне 50 °С. Продолжительность магнитной обработки образцов не превышала 20 минут.

Для исследования теплопроводности клеевой прослойки изготавливались образцы в виде пленок из эпоксидной смолы ЭДП, отвердителя – полиэтиленполиамин (ПЭПА) и наполнителя ПНК (порошок никелевый карбонильный) с частицами приведенного диаметра 3,5 ÷ 4,2 мкм различной концентрации. Для изготовления образцов клеевая композиция помещалась в формовочную кювету, из которой после обработки ультразвуком и магнитным полем и отверждения выпрессовывались образцы в виде пленок диаметром 30 мм и толщиной 1 мм.

Полученные таким способом образцы исследовались затем на теплопроводность на установке, функционирующей в режиме нестационарности по методу двух температурно-временных интервалов [7].

Для испытаний прочности клеевых соединений на основе клеев ЭДП+ПЭПА+ПНК, К-153 и ВК-9 обработанные ультразвуком и в магнитном поле полимерные компоненты исследуемых клеев соединялись с отвердителем и клей наносился на поверхности гостированных пластин из стали 20, которые соединялись внахлест. После выдержки при температуре 30 °С в течение двух суток образцы подвергались испытаниям на машине ИР-50-3. В процессе испытаний определялся предел прочности на сдвиг при сжатии.

Результаты проведенных теплофизических и механических исследований приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Зависимость коэффициента теплопроводности обработанных ультразвуком и в магнитном поле полимерных пленок на основе ЭДП+ПЭПА+ПНК от частоты ультразвукового облучения и напряженности магнитного поля при различной концентрации наполнителя

Концентрация наполнителя С, % от объема полимера	Частота ультразвукового облучения, кГц	Коэффициент теплопроводности $\lambda, \text{Вт/м} \cdot \text{К}$ при напряженности поля $H \cdot 10^{-4}, \text{А/м}$						
		0	1,4	4,3	10	15,6	21,4	23,8
10	0	0,2	0,26	0,41	0,57	0,61	0,67	0,72
20		0,33	0,46	0,56	0,6	0,68	0,72	0,81
40		0,37	0,51	0,62	0,71	0,77	0,8	0,89
50		0,41	0,57	0,7	0,76	0,82	0,9	0,98
10	12	0,22	0,29	0,46	0,61	0,64	0,71	0,78
20		0,38	0,5	0,62	0,65	0,73	0,77	0,85
40		0,41	0,56	0,69	0,77	0,8	0,86	0,95

50		0,45	0,61	0,75	0,81	0,88	0,95	1,1
10	20	0,25	0,35	0,55	0,68	0,72	0,81	0,88
20		0,4	0,57	0,6	0,71	0,8	0,88	0,97
40		0,45	0,67	0,73	0,88	0,92	0,97	1,21
50		0,58	0,72	0,77	0,91	0,96	1,08	1,32

Таблица 2 – Зависимость предела прочности клеевых соединений на основе ЭДП+ПЭПА+ПНК на сдвиг при сжатии от частоты ультразвукового облучения и напряженности магнитного поля при различной концентрации наполнителя

Концентрация наполнителя С, % от объема полимера	Частота ультразвукового облучения, кГц	Предел прочности на сдвиг при сжатии τ , МПа при напряженности поля $H \cdot 10^{-4}$, А/м						
		0	1,4	4,3	10	15,6	21,4	23,8
10	0	5,8	6,2	6,5	7,3	8,1	8,3	8,6
20		5,2	5,7	6,1	6,8	7,4	7,8	8,2
40		4,8	5,2	5,5	6,1	6,5	6,8	7,1
50		4,5	4,8	5,1	5,6	5,9	6,3	6,6
10	12	6,4	6,8	7,2	7,9	8,6	8,9	9,2
20		5,9	6,2	6,5	7,1	7,7	7,9	8,2
40		5,3	5,6	6,0	6,6	7,1	7,4	7,7
50		5,1	5,3	5,7	6,2	6,6	6,9	7,2
10	20	7,1	7,4	7,7	8,6	9,5	9,8	10,2
20		6,6	6,8	7,1	7,8	8,5	8,8	9,2
40		5,9	6,2	6,4	7,0	7,6	7,9	8,1
50		5,6	5,8	6,1	6,7	7,2	7,4	7,7

Из анализа опытных данных, приведенных в табл. 1 и 2, можно сделать следующие выводы. Во-первых, магнитная и ультразвуковая обработка клеевой композиции или клеевой прослойки сопровождается ростом теплопроводности прослойки и прочности клеевого соединения. Во-вторых, повышение напряженности магнитного поля и частоты ультразвукового облучения сопровождается увеличением прочности клеевых соединений и теплопроводности клеевых прослоек. В-третьих, суммарное воздействие ультразвуком и магнитным полем более эффективно, чем воздействие одним из этих физических полей.

Исходя из интересов предприятий, производящих клеевые металлические конструкции, испытывающие в процессе эксплуатации повышенные механические нагрузки, произведены

исследования по влиянию комбинированных физических полей на конструкционные клеи. Испытывались эпоксидный клей К-153 и эпоксиполиамидный клей ВК-9 без наполнителей. В табл. 3 представлены данные испытаний предела прочности клеевых соединений на сдвиг для этих клеев, подвергнутых воздействию ультразвуком и магнитным полем.

Таблица 3 – Предел прочности клеевых соединений на сдвиг для клеев, подвергнутых обработке в ультразвуковом и магнитном поле

Марка клея	Напряженность магнитного поля $H \cdot 10^{-4}$, А/м	Частота ультразвукового облучения, кГц	Предел прочности клеевого соединения на сдвиг τ , МПа,
ВК-9	0	0	13,6
ВК-9	1,4	0	13,8
ВК-9	1,4	20	16,5
ВК-9	10	0	14,6
ВК-9	10	20	18,5
ВК-9	16	20	25,2
ВК-9	24	20	26,8
К-153	0	0	6,4
К-153	1,4	0	6,8
К-153	10	0	8,5
К-153	10	20	9,8
К-153	16	20	12,1
К-153	24	20	13,8

Из табл. 3 видно, что наибольший эффект повышения прочности клеевых соединений достигается при комбинированной обработке клеев ультразвуком и магнитным полем.

В заключение следует отметить, что предлагаемый технологический прием может найти применение как в отрасли, специализирующейся на производстве клеев, так и на предприятиях, производящих клееные конструкции.

Список литературы

1. Кейгл Ч. Клеевые соединения. – М. : Мир, 1971. – 295 с.
2. Попов В.М. Теплообмен через тонкослойные прослойки в зоне контакта металлических поверхностей / В.М. Попов, О.Л. Ерин, А.П. Новиков, И.Ю. Кондратенко // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2011. – Т 7. – № 6. – С. 37–39.

3. Айбиндер С.Б. Влияние наполнителей на теплофизические, механические и антифрикционные свойства полимеров / С.Б. Айбиндер, Н.Г. Андреева // Изв. АН ЛАТ. ССР. Сер. физ. и техн. наук. – 1983. – № 5. – С. 3–18.
4. Молчанов Ю.М. Структурные изменения полимерных материалов в магнитном поле / Ю.М. Молчанов, Э.Р. Кисис, Ю.П. Родин // Механика полимеров. – 1973. – № 4. – С. 737–738.
5. Новиков А.П. К вопросу о теплопроводности полимеров, подвергнутых воздействию постоянным магнитным полем / А.П. Новиков, В.М. Попов // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2011. – Т. 7. – № 2. – С. 48–49.
6. Кестельман В.Н. Физические методы модификации полимерных материалов. – М. : Химия, 1980. – 224 с.
7. Волькенштейн В.С. Скоростной метод определения теплофизических характеристик материалов. – М. : Энергия, 1971. – 145 с.

Рецензенты

Никулин С.С., д.т.н., профессор кафедры инженерной экологии и техногенной безопасности Воронежского государственного университета инженерных технологий, г. Воронеж.

Афоничев Д.Н., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой ремонта машин Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I, г. Воронеж.