

УДК 678.644

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОВИБРАЦИОННОГО ПОЛЯ НА ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ КЛЕЕВЫХ ПРОСЛОЕК В СОЕДИНЕНИЯХ НА КЛЕЯХ

Новиков А. П., Попов В. М., Кондратенко И. Ю.

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

Исследовано влияние комбинированного, электровибрационного поля на процесс формирования из частиц металлического наполнителя цепочечных структур в клеевых прослойках соединений на наполненных клеях в неотвержденном состоянии. Показано, что при воздействии на неотвержденную клеевую прослойку электровибрационным полем за счет образования цепочек из частиц наполнителя повышается теплопроводность прослойки. Повышение напряженности электрического поля, частоты механических колебаний, концентрации наполнителя и его дисперсности приводит к росту приведенной теплопроводности клеевых прослоек. За счет повышения массы отдельных частиц наполнителя растет сила их взаимодействия под влиянием электрического поля, что приводит к увеличению теплопроводности наполненной клеевой прослойки. Воздействие электровибрационным полем на клеевые прослойки из дисперснонаполненных клеев также повышает прочность клеевых соединений. Предлагаемая технология может найти применение в наукоемких областях современной техники.

Ключевые слова: электрическое, вибрационное поле, наполнитель, концентрация, напряженность поля, теплопроводность.

INFLUENCE OF ELECTRIC –VIBRATION FIELD ON THE THERMAL CONDUCTIVITY OF GLUE LAYERS IN ADHESIVE JOINT

Novikov A. P., Popov V. M., Kondratenko I. Y.

FSBEI HPE “Voronezh State Academy of Forestry and Technologies”, 394087, Voronezh, 8, Timiryazeva str., e-mail: etgvglta@mail.ru.

The effect of the combined, electric-vibrating field on the formation of the particles of metallic filler of chain structures in adhesive interlayers of compounds on filled adhesives in the uncured state is examined. It is shown that at influence on the uncured adhesive layer by electric-vibrating field due to the formation of chains from filler particles the thermal conductivity of the interlayer increases. Increasing the electric field stress, frequency of mechanical oscillations, the filler concentration and its dispersion results in increase of given thermal conductivity of adhesive layers. Due to the increased mass of the individual filler particles their strength under the influence of the interaction of the electric field increases, which leads to an increase in thermal conductivity of filled adhesive layer. Exposure to by electric-vibrating field of on the adhesive layer of dispersed-filled adhesive also increases the strength of adhesive joints. The proposed technology can be used in high-tech fields of modern technology.

Key words: electric, vibration field, filler, concentration, field strength, thermal conductivity.

В последние несколько десятилетий в индустрии строительных материалов, электротехнической промышленности, автомобилестроении, авиационной и ракетно-космической технике широкое применение находят клеящие материалы на основе синтетических полимеров [5]. Широкое применение синтетических клеев объясняется рядом существенных преимуществ, которые соединения на клеях обеспечивают по сравнению с такими традиционными видами соединений, как сварка, клепка, пайка [2, 6]. Условия эксплуатации технических систем с клеевыми соединениями в каждом конкретном случае предъявляют свои требования, решение которых позволяет продлить срок эксплуатации систем.

Из практики применения клеевых соединений в металлических конструкциях перед проектировщиками в ряде случаев ставится задача обеспечить хорошую теплопередачу через клеевые прослойки, которые в силу малой тепловой проводимости полимерного клея, могут создавать значительные термосопротивления на пути тепловых потоков, что приводит к перегреву отдельных узлов и в целом системы. До настоящего времени проблему снижения термосопротивлений в области клеевых швов решали, применяя клеи с металлическими порошкообразными наполнителями. Однако, во-первых, даже при высокой концентрации наполнителя коэффициент теплопроводности λ не превышает 0,7...0,8 Вт/м·К, и, во-вторых, клеевые соединения на основе клеев с дисперсным наполнителем отличаются пониженной прочностью [1].

Ранее был предложен способ направленного образования в полимерных прокладках и клеевых прослойках цепочек из частиц металлических порошков под воздействием магнитного или электрического полей [7, 9]. Образовавшиеся цепочечные структуры в полимерной матрице создают теплопроводящие каналы, которые способствуют повышению теплопроводности прослоек или прокладок. Вместе с тем микроструктурный анализ фотографий, подвергнутых воздействию физических полей наполненных полимерных прокладок, показывает, что даже при достаточно высокой напряженности полей в образовавшихся цепочках имеют место разрывы, снижающие теплопроводность прокладки или прослойки. Отсюда встаёт вопрос о создании более плотноупакованных цепочечных структур. Для реализации такой задачи предлагается метод, основанный на воздействии на неотвержденную клеевую прослойку комбинированным физическим полем – вначале вибрационным, а затем электрическим.

Для проведения операции по модификации клеевых прослоек на основе дисперснонаполненных клеев путем воздействия на прослойку в неотвержденном состоянии электровибрационным полем использовалась высоковольтная установка, принципиальная схема которой представлена на рисунке.

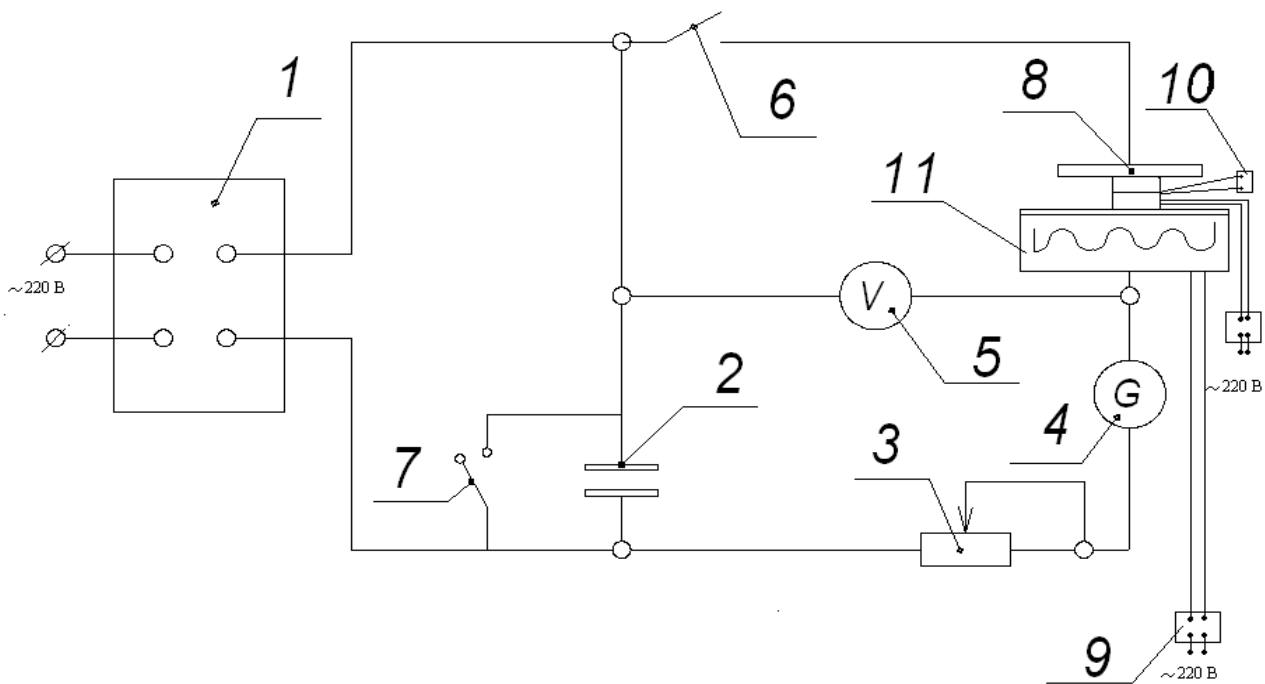


Рисунок. Принципиальная схема установки для обработки в электровибрационном поле образцов с клеевыми прослойками: 1 – высоковольтный выпрямитель; 2 – батарея конденсаторов; 3 – магазин сопротивлений; 4 – гальванометр; 5 – вольтметр; 6 – выключатель; 7 – разрядник; 8 – рабочая ячейка с образцом и нагревательным устройством; 9 – источник питания нагревательного устройства; 10 – потенциометр; 11 – вибростенд с источником питания.

В состав установки входят: высоковольтный выпрямитель, батарея конденсаторов и магазин сопротивлений, позволяющие получаемый от электросети ток напряжением в 220В преобразовывать в рабочей ячейке между электродами до напряженности порядка 2000 В/см. Конструктивно рабочая ячейка выполнена таким образом, что за счет изменения расстояния между электродами можно изменять напряженность поля. Вибрационное воздействие на образец осуществлялось с помощью виброгрохота марки ПЭ-6800. Частота колебаний рабочего стола виброгрохота изменялась в пределах от 15 до 70 Гц с амплитудой колебаний от 0,25 до 1,5 мм.

В качестве объектов исследований использовалась клеевая композиция на основе эпоксидного клея марки ВК-9 (олигомер ЭД-20 + отвердитель полиамид ПО-300). В качестве наполнителя в полимерную матрицу вводились алюминиевая пудра с приведенным диаметром частиц $d \approx 1,5 \dots 1,8$ мкм и латунный порошок с $d \approx 2,1 \dots 2,4$ мкм.

Образцы для обработки в электровибрационном поле приготавливались следующим образом. На склеиваемые поверхности субстратов в виде пластин из стали 30 толщиной 2

мм и диаметром 30 мм, подвергнутых обработке на плоскошлифовальном станке, наносилась исследуемая композиция, затем пластины соединялись с усилием прижима до 0,2 МПа. Между пластинами за счет специальных ограничителей формировалась клеевая прослойка толщиной 1...1,5 мм. После этого образец помещался в рабочую ячейку установки и при температуре 40 °С осуществлялась обработка вначале в течение 20 мин электрическим полем заданной напряженности, а затем в течение 5 мин вибрационным полем. Обработанные таким образом образцы для полной полимеризации клеевых прослоек выстаивались в термощкафу при температуре 60 °С в течение суток.

Готовые образцы в дальнейшем исследовались на теплопроводность на модернизированном варианте установки, в основу функционирования которой заложен метод двух температурно-временных интервалов [3]. Полученные в процессе проведенных исследований результаты представлены в табл. 1.

Как видно из табл.1, воздействие электровибрационным полем на наполненные клеевые прослойки на основе клея ВК-9 повышает их теплопроводность, причем особенно заметно для поля, когда вибрационное воздействие увеличивалось от 10 Гц до 20 Гц. Повышение коэффициента теплопроводности с увеличением вибрационного воздействия можно объяснить более плотной упаковкой частиц наполнителя в цепочках. Это согласуется с приведенным в работе [4] положением о влиянии вибрационного поля на такие многофазные гетерогенные системы, как дисперсионные полимеры. Образующиеся под воздействием вибрационного поля однородные композиции способствуют при одновременном воздействии и электрическим полем формированию равномерно распределенных цепочечных образований с плотной упаковкой частиц.

Таблица 1

Зависимость коэффициента теплопроводности обработанных в электровибрационном поле неотвержденных клеевых прослоек на основе клея ВК-9 с порошками из алюминиевой пудры и латунного порошка от напряженности электрического поля, частоты механических колебаний и концентрации наполнителя.

Концентрация наполнителя К, % от объема полимера	Частота колебаний n, Гц	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/м·К при напряженности электрического поля E, В/см				
		100	300	820	1600	2000
а) латунный порошок						
10	0	0,32	0,4	0,46	0,55	0,59
10	10	0,37	0,45	0,51	0,61	0,63
20	10	0,44	0,55	0,6	0,74	0,77
30	10	0,47	0,62	0,64	0,77	0,82
40	10	0,51	0,66	0,74	0,83	0,92

10	20	0,45	0,5	0,57	0,68	0,74
20	20	0,52	0,57	0,64	0,71	0,83
30	20	0,57	0,63	0,72	0,79	0,86
40	20	0,63	0,7	0,78	0,84	0,95
б) алюминиевая пудра						
10	0	0,38	0,42	0,54	0,6	0,65
10	10	0,45	0,55	0,64	0,74	0,82
20	10	0,52	0,6	0,68	0,78	0,88
30	10	0,56	0,65	0,77	0,89	0,95
40	10	0,63	0,75	0,85	0,93	1,14
10	20	0,55	0,64	0,72	0,84	0,92
20	20	0,58	0,68	0,77	0,86	0,94
30	20	0,61	0,72	0,84	0,91	1,13
40	20	0,56	0,79	0,9	0,99	1,27

О дополнительном положительном влиянии вибрационного поля свидетельствуют приведенные в табл.1 сравнительные данные опытов, проводимых только в электрическом и комбинированном полях для клеевых прослоек на основе клея с 10 % по объёму наполнителями.

Определенный практический интерес представляет информация о влиянии дисперсности наполнителей, вводимых в клей, в случае обработки клеевых прослоек в электровибрационном поле. Для изучения этого вопроса проводились специальные исследования. В клей ВК-9 вводилось 20 % по объёму от объёма полимера латунного порошка. При этом изменялся приведенный диаметр наполнителя d от 2,3 мкм до 162 мкм. Напряженность электрического поля поддерживалась на уровне 100, 300, 820 и 1600В/см при частоте колебаний $\nu=20$ Гц. Полученные образцы затем исследовались на теплопроводность. Результаты опытов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Зависимость коэффициента теплопроводности обработанных в электровибрационном поле клеевых прослоек на основе клея ВК-9 с латунным порошком от дисперсности наполнителя

Приведенный диаметр частиц наполнителя d , мкм	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/м·К при напряженности электрического поля E , В/см			
	100	300	820	1600
2,3	0,52	0,59	0,67	0,72
8,8	0,54	0,61	0,7	0,74
17,6	0,58	0,64	0,74	0,76
72,5	0,72	0,78	0,85	0,92
96,4	0,74	0,8	0,84	0,93
127,5	0,7	0,81	0,86	0,95
162	0,74	0,83	0,92	0,98

Из данных табл. 2 можно сделать следующий вывод. С ростом размеров частиц наполнителя растёт теплопроводность прослойки и особенно интенсивно для частиц приведенного диаметра до 70 мкм. Механизм повышения теплопроводности прослойки с ростом размера частиц можно объяснить, во-первых, тем, что с повышением массы частиц увеличивается сила их взаимодействия под влиянием электрического поля, то есть они более плотно прикасаются друг к другу и, во-вторых, за счет уменьшения числа микроконтактов снижается влияние контактного термосопротивления на приведенную теплопроводность прослойки [8].

Поскольку для клеевых соединений одним из наиболее существенных критериев надежности является их прочность [2], проведены исследования по влиянию электровибрационного поля на прочность при равномерном отрыве и на сдвиг. Испытаниям подвергался клей марки ВК-9 с наполнителем в виде никелевого порошка ПНК. При испытаниях на равномерный отрыв использовались стальные цилиндрические стержни диаметром 16 мм и длиной 25 мм с клеевой прослойкой между ними. Для исследования предела прочности на сдвиг применялись образцы из склеенных внахлестку стальных пластин толщиной 4 мм, длиной 45 мм и шириной 43 мм. Полученные в процессе исследований результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

Зависимость пределов прочности клеевых соединений на равномерный отрыв и сдвиг от напряженности электрического поля, частоты механических колебаний и концентрации наполнителя при воздействии электровибрационным полем на клеевую прослойку

Марка клея	Концентрация наполнителя К, % от объема полимера	Напряженность электрического поля E, В/см	Частота механических колебаний, Гц	Прочность на равномерный отрыв σ , МПа	Прочность на сдвиг τ , МПа
ВК-9	0	0	0	16,3	13,0
ВК-9	0	300	10	19,5	14,2
ВК-9	0	1600	10	23,4	18,9
ВК-9	0	2000	10	25,1	19,4
ВК-9	10	0	0	14,8	11,8
ВК-9	20	0	0	14,2	11,1
ВК-9	10	300	10	18,9	13,4
ВК-9	10	1600	10	22,6	18,0
ВК-9	10	2000	10	24,2	18,4
ВК-9	20	300	10	17,8	12,6
ВК-9	20	1600	10	21,2	17,4
ВК-9	20	2000	10	22,1	17,8
ВК-9	20	300	20	18,3	13,1
ВК-9	20	1600	20	21,8	17,9

ВК-9	20	2000	20	22,4	18,3
------	----	------	----	------	------

По результатам исследований, приведенных в табл. 3, можно сделать однозначный вывод о позитивном влиянии электровибрационного поля на прочность клеевых соединений. Механизм повышения прочности клеевых соединений на основе обработанного в электровибрационном поле клея объясняется протекающими в его структуре процессами по упорядочению микроэлементов полимерной основы клея.

Подводя итоги проведенных исследований, можно сделать следующие выводы. Предлагаемая технология физического модифицирования клеевых прослоек соединений на клеях имеет явные преимущества перед применяемыми в настоящее время способами повышения теплопроводности клеевых швов. Данная технология может быть реализована непосредственно на предприятиях, изготавливающих теплонапряженные системы с клеевыми соединениями.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (код проекта №10-08-00087).

Список литературы

1. Айбиндер С. В. Влияние наполнителей на теплофизические, механические и антифрикционные свойства полимеров / С. В. Айбиндер, Н. Г. Андреева // Изв. АН Лат. ССР. Сер. физ. и техн. наук . – 1983. – № 5. – С.3-18.
2. Вильнав Ж. Ж. Клеевые соединения. – М.: Техносфера, 2007. – 384 с.
3. Волькенштейн В. С. Скоростной метод определения теплофизических характеристик материалов. – Л.: Энергия, 1971. – 145 с.
4. Ганиев Р. Ф. О влиянии волновых эффектов на полимерные композиционные материалы / Р. Ф. Ганиев, А. А. Берлин, В. Н. Фомин // Докл. РАН. Химическая технология. – 2002. – Т. 385. – № 4. – С.517-520.
5. Кардашов Д. А. Полимерные клеи / Д. А. Кардашов, А. П. Петрова. – М.: Химия, 1983. – 256 с.
6. Кейгл И. Клеевые соединения. – М.: Мир, 1971. – 205 с.
7. Остроушко М. Н. К вопросу повышения теплопроводности полимерных прослоек клеевых соединений // М. Н. Остроушко, В. М. Попов //Матер. 15-й школы молодых ученых и специалистов «Проблемы газодинамики и тепломассообмена в энергетических установках». – Калуга, 2005. – Т. 1. – С.382-384.
8. Попов В. М. Теплообмен в зоне контакта разъемных и неразъемных соединений. – М.: Энергия, 1971. – 214 с.
9. Попов В. М. Теплообмен через соединения на клеях. – М.: Энергия, 1974. – 304 с.

Рецензенты:

Мозговой Н. В., д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», г. Воронеж.

Шитов В. В. д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой промышленной энергетики ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», г. Воронеж.