

УДК 674.028

ТЕПЛООБМЕН В КОНТАКТНЫХ ПАРАХ ИЗ ГОМОГЕННЫХ
И ГЕТЕРОГЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Попов В.М., Дорняк О.Р., Попов Д.В., Лазебный М.Д.

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования «Воронежский государственный
лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

E-mail: ordornyak@mail.ru

Аннотация: Предлагается метод направленного изменения свойств соединений на клеях путем совместного воздействия на клей или клеевую прослойку гетерогенной природы постоянным магнитным полем и ультразвуком. Установлено, что за счет уплотнения структуры клея воздействием комбинированным физическим полем растет прочность клеевого соединения на основе этого клея. При обработке этим полем расплава клея с дисперсным металлическим наполнителем в клеевом слое формируются теплопроводящие мостики, состоящие из мелкодисперсного наполнителя. Такие мостики из частиц наполнителя значительно повышают теплопроводность клеевого слоя.

Ключевые слова: клеевая прослойка, теплопроводность, частота колебаний, напряженность поля, магнитное поле, ультразвук, прочность, металлический наполнитель.

HEAT EXCHANGE IN CONTACT VAPORS FROM HOMOGENEOUS
AND HETEROGENEOUS MATERIALS

Popov V.M., Dorniyak O.R., Popov D.V., Lazebny M.D.

Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Voronezh State
University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov»

E-mail: ordornyak@mail.ru

Summary: The method of directed change of properties of connections on glues by joint influence on glue or an adhesive layer of heterogeneous nature by a constant magnetic field and ultrasound is offered. It is established that due to the compaction of the glue structure under the combined physical field, the strength of the adhesive joint based on this glue increases. When this field is used to process a melt of glue with a dispersed metal filler, heat-conducting bridges consisting of a fine filler are formed in the adhesive layer. Such bridges of filler particles significantly increase the thermal conductivity of the adhesive layer.

Keywords: adhesive layer, thermal conductivity, frequency of vibrations, field strength, magnetic field, ultrasound, strength, metal filler.

В настоящее время редко можно найти отрасль современной отечественной и зарубежной техники, где бы не находили применение соединения на клеях [1, 2]. Особенно широко представлены они в таких наукоемких областях техники как энергетика, электроника, авиация, космонавтика, системы военного назначения [3, 4]. Такой большой интерес к клеевым соединениям работников современных предприятий связан с целым рядом их преимуществ по сравнению с традиционными методами крепления конструкций.

Вместе с тем в целом ряде случаев дальнейшее расширение диапазона внедрения способов склеивания отдельных деталей и узлов сдерживается предельными значениями прочности клеевых соединений и теплопроводности клеевых прослоек. Эта проблема еще более усложняется для теплонапряженных систем, требующих одновременной хорошей теплопередачи через клеевые прослойки при сохранении высокой прочности соединений.

Повышение теплопроводности клеевых прослоек в основном достигается введением в полимерную матрицу клея металлических порошков [5].

Ранее проведенными исследованиями было установлено, что введение в состав полимера металлических наполнителей неизбежно приводит к изменению его эксплуатационных характеристик [6]. Прочность таких материалов заметно понижается. Следовательно, дисперсно-наполненные полимерные материалы имеют ограниченную область применения.

На сегодня одним из известных способов решения данной проблемы является физическое модифицирование полимеров в магнитном или электрических полях [7].

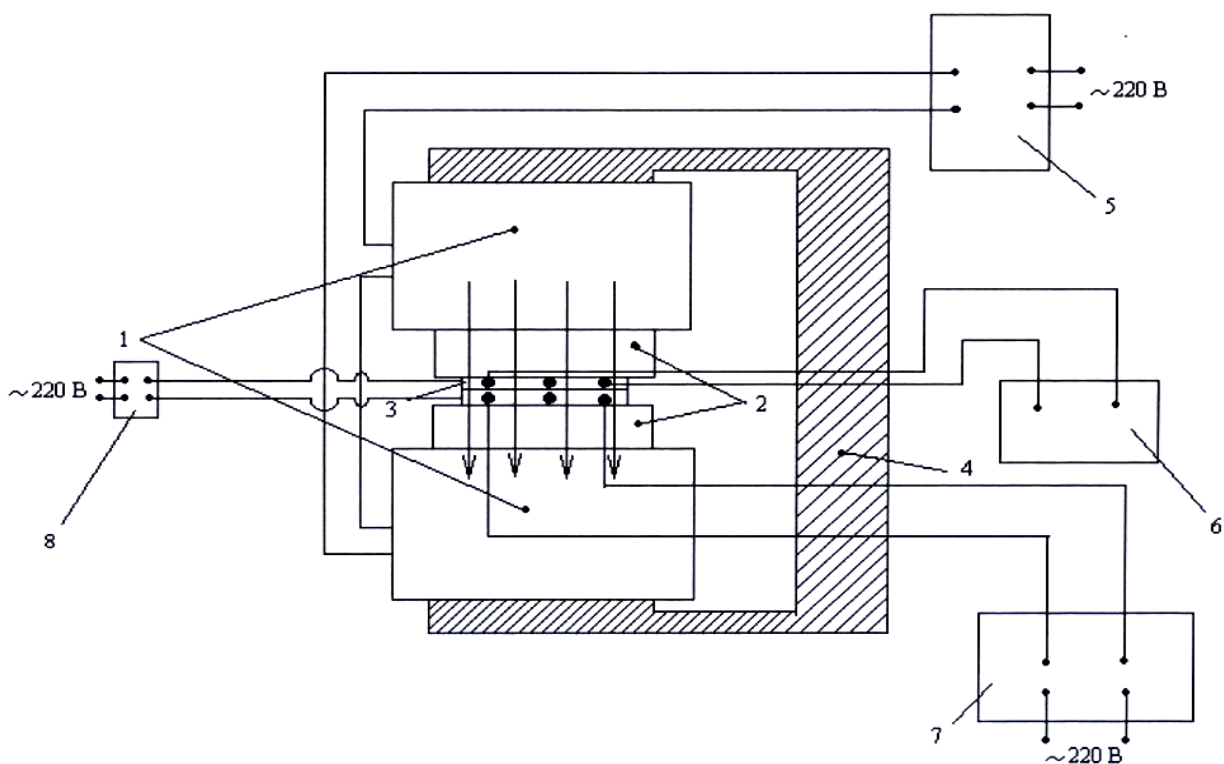
Основываясь на теоретических данных физики полимеров можно предположить, что формирование в клеевой прослойке цепочечных структур из частиц наполнителя оказывает процесс взаимодействия полимера и наполнителя [8]. Исходя из данных работ [7, 8] увеличение прочности представляется возможным достичь дополнительным воздействием физического и особенно комбинированного поля (магнитное поле + ультразвук).

Даже воздействие на полимерную прослойку одиночным, скажем, магнитным полем сопровождается тем, что частицы наполнителя ориентируются в полимерной матрице согласно линиям магнитного поля [9], образуя теплопроводящие цепочки из частиц наполнителя. При этом даже при воздействии одиночным физическим полем растет прочность клеевого соединения [10], что связано с увеличением молекулярных и диффузионных связей. Физическое по-

ле улучшает также смачиваемость субстрата, повышает ионизацию и ускоряет процесс адсорбции и диффузии.

Совместное воздействие магнитным полем и ультразвуком повышает энергетический потенциал комбинированного поля, что содействует еще большему уплотнению структуры клеевой прослойки и соответственно сопровождается дополнительным ростом прочности соединений и теплопроводности наполненной клеевой прослойки.

Для подтверждения высказанных положений проведены натурные исследования на установке, принципиальная схема которой на рисунке 1.



1 – обмотка электромагнита; 2 – башмаки электромагнита; 3 – ультразвуковая головка и нагревательное устройство с образцами; 4 – ярмо; 5 – блок питания электромагнита; 6 – потенциометр; 7 – источник питания нагревательного устройства; 8 – генератор ультразвуковой установки

Рисунок 1 – Принципиальная схема установки для воздействия на образец магнитоультразвуковым полем

Основными элементами установки для создания магнитного поля являются электромагнитный индуктор, исполненный в мобильной конфигурации и ярмо, представляющее собой два подвижных башмака. Обмотки электромагнита соединяются последовательно между собой. Ток силой 12 А подается на

установку через специально подобранный блок питания. Межполюсным расстоянием обмоток электромагнита и величиной подаваемого тока осуществляется регулирование напряженности магнитного поля. Взаимосвязь напряженности магнитного поля от межполюсного расстояния и величины подаваемого тока выявлено специально проведенными тарировочными испытаниями.

Созданная установка подвергалась испытаниям на однородность магнитного поля в горизонтальной и вертикальной плоскости.

Обработка ультразвуком осуществлялась ультразвуковым генератором марки ИЛ 10-0,63 с подключенным излучателем. Частота ультразвуковых колебаний не превышала 22 кГц.

Неотвержденный полимерный состав клея, наполненный мелкодисперсным металлическим порошком, в специальной фторопластовой кювете помещался в рабочее пространство электромагнита. Также в рабочем пространстве электромагнита подогрев клеевого состава осуществлялся нагревателем размещенным под кюветой. При этом действие силовых линий магнитного поля и ультразвука было сонаправлено.

Для получения образцов, подвергаемых в дальнейшем воздействию магнитного поля и ультразвука, создана установка, ранее приведенная на рисунке 1, использовали два варианта. В первом случае исследуемый клей К-153 помещался во фторопластовую кювету, куда вводилось заданное количество никелевого порошка марки ПНК. Дисперсность порошка составляла 0,4-0,6 мкм. Кювету с клеем затем помещали в рабочей ячейке установки по обработке клеев в магнитном поле и ультразвуке. После обработки в течение 15-20 мин клеевую композицию использовали для нанесения на поверхности пластин субстратов из стали марки 30. Склеенные пары затем подвергались нагреву до 40⁰С в течение 4 ч. Изготовленные таким образом образцы испытывались на предел прочности при сдвиге τ на разрывной машине марки ИР-50-3. Для получения образцов, испытываемых на теплопроводность проведены следующие операции. Наполненную клеевую композицию наносили на поверхности субстратов из стали марки 30, изготовленные в форме дисков, толщиной 1,5-2 мм и диаметром 30 мм. После соединения дисков с клеем толщиной до 1 мм последние помещали в рабочую ячейку и подвергали обработке 15-20 минут.

Коэффициент теплопроводности клеевой прослойки после её обработки находили согласно метода двух температурно временных интервалов [11]. Общий вид установки представлен на рисунке 2.

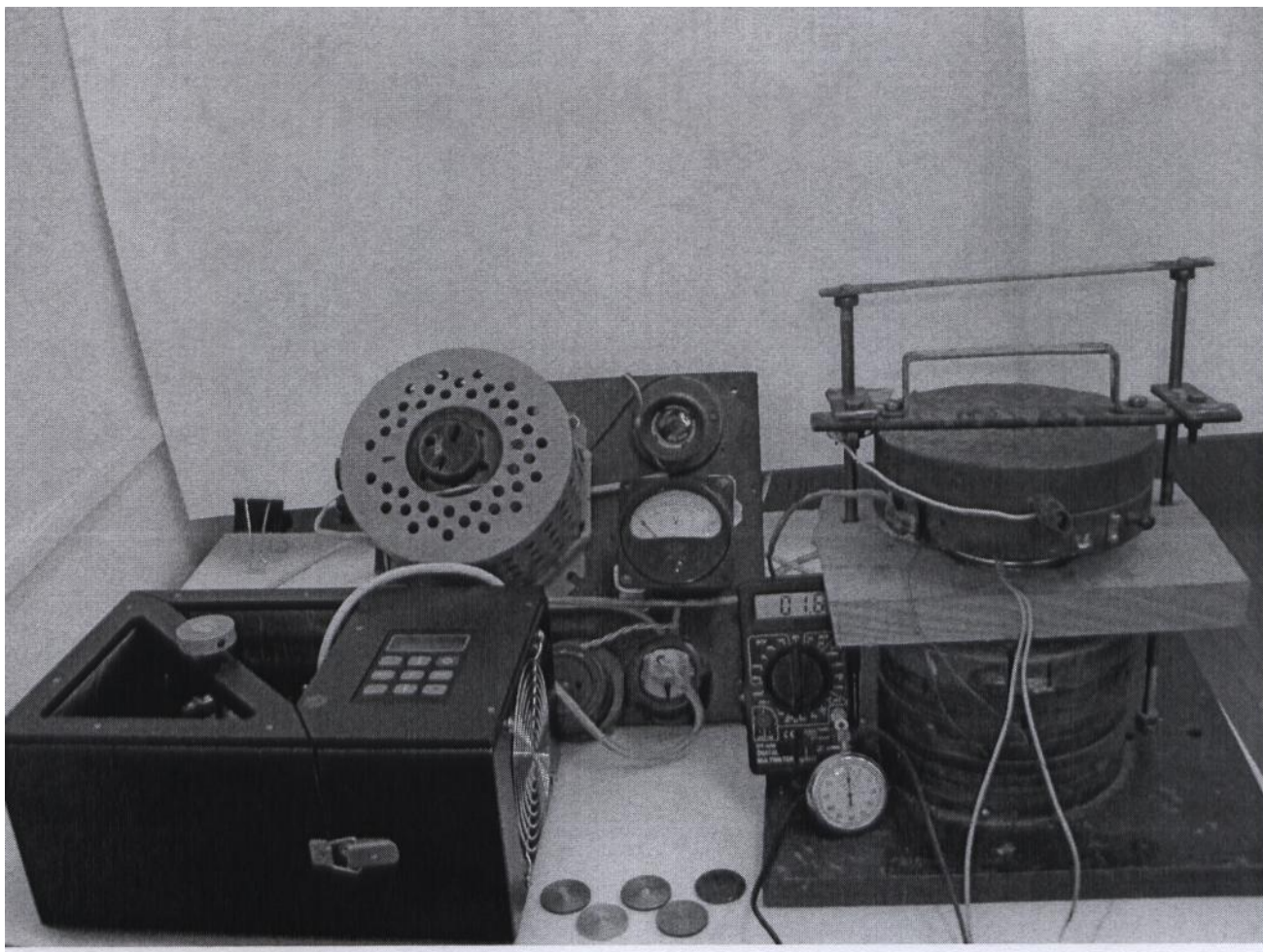


Рисунок 2 – Общий вид установки для определения коэффициента теплопроводности клеевых прослоек

Полученные в процессе проведенных экспериментов результаты приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Зависимость коэффициента теплопроводности клеевой прослойки на основе клея К-153 при различной концентрации наполнителя от напряженности магнитного поля и частоты ультразвуковых колебаний

Концентрация наполнителя ПНК С, %	Частота колебаний ультразвука n , кГц	Коэффициент теплопроводности клеевой прослойки λ , Вт/м·К при напряженности магнитного поля $H \cdot 10^4$ А/м				
		0	4	10	16	24
10	20	0,24	0,31	0,46	0,51	0,53
20	20	0,26	0,33	0,58	0,7	0,73
30	20	0,29	0,47	0,54	0,72	0,79
40	20	0,35	0,65	0,79	0,95	1,12
40	15	0,32	0,59	0,75	0,9	0,98

Таблица 2 – Предел прочности клеевых соединений на основе клея К-153 при сдвиге с обработанными в комбинированном поле клеевыми прослойками при различной концентрации наполнителя от напряженности поля и частоты ультразвука

Концентрация наполнителя ПНК С, %	Частота колебаний ультразвука n , кГц	Предел прочности при сдвиге τ , МПа в зависимости от напряженности магнитного поля $H \cdot 10^{-4}$ А/м				
		Без обработки	4	10	16	24
0	20	18,1	19,8	21,3	24,6	26,1
20	20	15,1	18,0	18,6	19,6	23,1
40	20	12,78	16,11	17,42	18,1	19,8
60	20	10,29	14,21	14,8	15,6	17,1
40	15	12,11	15,69	16,71	17,41	18,49

Из анализа приведенных в таблицах 1 и 2 опытных данных видно, что обработка клеев в комбинированном поле повышает теплопроводность клеевых соединений с металлическими наполнителями. Растет также и такой существенный для клеевых соединений показатель как прочность. Повышение энергетического воздействия на клеевые соединения сопровождается более плотной упаковкой частиц наполнителя в прослойке, что ведет к росту коэффициента теплопроводности в целом клеевой прослойки. Кроме этого совместное воздействие магнитного поля и ультразвука уплотняет структуру клеевого шва и соответственно повышает прочность соединения.

Рассмотренный выше способ модифицирования клеевых соединений решает актуальную на сегодняшний день задачу создания полимерных композиционных материалов с заданными механическими и теплофизическими свойствами. Предлагаемую технологию отличают новизна решения наукоемкой задачи и практическая значимость.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 20-08-00165).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Кардашов, Д. А. Полимерные клеи / Д. А. Кардашов, А. П. Петрова. // М. : Химия, 1983. – 256 с.
- 2 Вильнав, Ж. Ж. Клеевые соединения / Ж. Ж. Вильнав // М. : Техносфера, 2007. – 384 с.

3 Cognard J. Science et technologies du collage, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes Lausanna, 2000.

4 Cartlach D., Hemmery Y. Developpement et Conseil, Etudes prospective surle collagen France, <http://www.industries.gouv.fr/pdf/collage.pdf>, [http/Synthsool.pdf](http://Synthsool.pdf), DJG TjIP/ Sunhese-Ministere del' Economic and Finances of deJ' Jdustrie 2003. (raceport) et 2004 (syntese).

5 Попов, В. М. Теплообмен через соединения на клеях. М. : Энергия, 1974. – 340 с.

6 Айбиндер, С. В. Влияние наполнителей на теплофизические, механические и антифрикционные свойства полимеров / С. В. Айбиндер, Н. Г. Андреева // Известия АН Лат. ССР. Сер. физ. и техн. наук. 1983. – № 5. – С. 3-18.

7 Попов, В. М. К вопросу повышения теплопроводности тонкослойных полимерных материалов / В. М. Попов, А. П. Новиков // Вестник ВГТУ. Сер. Энергетика. 2002. Вып. 7.2. – С. 120-122.

8 Липатов, Ю. С. Физико-химические основы наполненных полимеров / Ю. С. Липатов // М. : Химия, 1991. – 259 с.

9 Молчанов, Ю. М. Структурные изменения полимерных материалов в магнитном поле / Ю. М. Молчанов, Э. Р. Киссис, Ю. П.Родин // Механика полимеров, 1973. – № 4. – С. 737-738.

10 Попов, В. М. Соединения на клеях, модифицированных воздействием физических полей / В. М. Попов, О. Р. Дорняк // Воронеж : ВГЛТУ, 2016. – 128 с.

11 Волькенштейн, В. С. Скоростной метод определения теплофизических характеристик материалов / В.С. Волькенштейн // Ленинград: Энергия, 1971. – 145 с.