

УДК 674.028

ПОВЫШЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ СОЕДИНЕНИЙ НА КЛЕЯХ,
ОБРАБОТАННЫХ МАГНИТНЫМ И ВИБРОВОЛНОВЫМ ПОЛЯМИ

Попов В.М., Дорняк О.Р., Тиньков А.А.

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

E-mail: ordornyak@mail.ru

Аннотация: Предложен технологический метод для создания клеевых соединений с повышенными теплофизическими и механическими характеристиками, в основу которого заложен эффект структурных преобразований клеевых прослоек, подвергнутых воздействию магнитного и виброволнового полей. Установлено, что модифицирование дисперснонаполненных клеевых прослоек путем воздействия магнитным и виброволновым полями вызывает образование структур в виде цепочек, состоящих из частиц наполнителей ферромагнитной природы. Теплопроводность и прочность клеевых соединений растет с повышением напряженности магнитного поля и частоты колебаний виброволнового поля.

Ключевые слова: магнитное поле, виброволновое поле, напряженность, частота колебаний, клеевое соединение, прослойка.

IMPROVEMENT OF HEAT CONDUCTIVITY OF COMPOUNDS ON
ADHESIVES PROCESSED BY MAGNETIC AND VIBROWAVE FIELDS

Popov V.M., Dorniyak O.R., Tinkov A.A.

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

E-mail: ordornyak@mail.ru

Summary: A technological method for creating adhesive joints with enhanced thermophysical and mechanical characteristics is proposed. The basis of the proposed method is the effect of structural transformations of adhesive layers under the influence of a magnetic and vibrowave fields. It was found that the modification of dispersed-filled adhesive layers by exposure of magnetic and vibrowave fields leads to the formation of chain structures from particles of fillers of a ferromagnetic nature. The thermal conductivity and strength of adhesive joints increases with increasing of intensity of magnetic field and the frequency of oscillations of the vibrowave field.

Keywords: magnetic field, vibrowave field, intensity, vibration frequency, adhesive bonding, interlayer.

Последние достижения химии в области синтеза полимерных клеев открывают перспективы их широкого применения в наукоемких отраслях техники: космонавтика и авиация, комплексы военного назначения, радиоэлектроника [1-3].

За счет ряда преимуществ соединения на базе полимерных клеев успешно заменяют традиционные методы соединений: клепка, пайка, сварка и болтовые соединения. Эксплуатация соединений на клеях, как правило, требует высокой прочности и высокой теплопроводности клеевых прослоек. Чтобы решить эту задачу используется метод, в основу которого заложен эффект повышения теплопроводности клея путем введения в него металлических порошков [4]. Однако, во-первых, при выполнении этой операции даже при достаточно высокой концентрации наполнителя теплопроводность клея остается недостаточно высокой [5]. И, во-вторых, при этом заметно снижается прочность клеевого соединения.

Коэффициент теплопроводности клеевых прослоек имеет низкие значения вследствие того, что отдельные частицы наполнителя не контактируют между собой, поскольку их разделяют полимерные пленки. Одновременное снижение прочности соединений на клеях связано с ростом локальных внутренних напряжений вокруг отдельных частиц наполнителя [6].

Более перспективным представляется способ модифицирования клеевых прослоек на базе дисперснонаполненных клеев воздействием физическими, в частности, магнитными полями [7]. В последнем случае под воздействием постоянного магнитного поля в структуре клеевой прослойки образуются цепочки из частиц порошка ферромагнитной природы [8]. Такая упорядоченная структура способствует повышению теплопроводности в целом клеевой прослойки [9], а также возрастанию адгезионной прочности [10].

При этом микрофотографии структуры модифицированных клеевых прослоек показывают, что упаковку наполняющих частиц нельзя считать вполне плотной. Отсюда следует вывод, что возможно создание клеевых прослоек с еще более высокой теплопроводностью путем формирования более плотной структуры клеевой прослойки. Очевидно, что в этом случае требуется проводить обработку клеевой прослойки побудителем с более высоким энергетическим потенциалом.

Предлагается использовать в качестве дополнительного побудителя энергии воздействия на клеевую прослойку виброволновое поле. Исходя из поло-

жений, приведенных в сообщении [11], вибрационное резонансное воздействие на композиционные полимерные материалы, имеющие в составе жидкую фазу и дисперсные наполнители, позволяет сделать фазовые превращения в этих многофазовых системах более интенсивными. При этом в обрабатываемой многофазной среде повышается степень дисперсности, однородность и агрегативная устойчивость, о чем свидетельствуют снимки микроструктуры клеевых прослоек на рисунке 1.

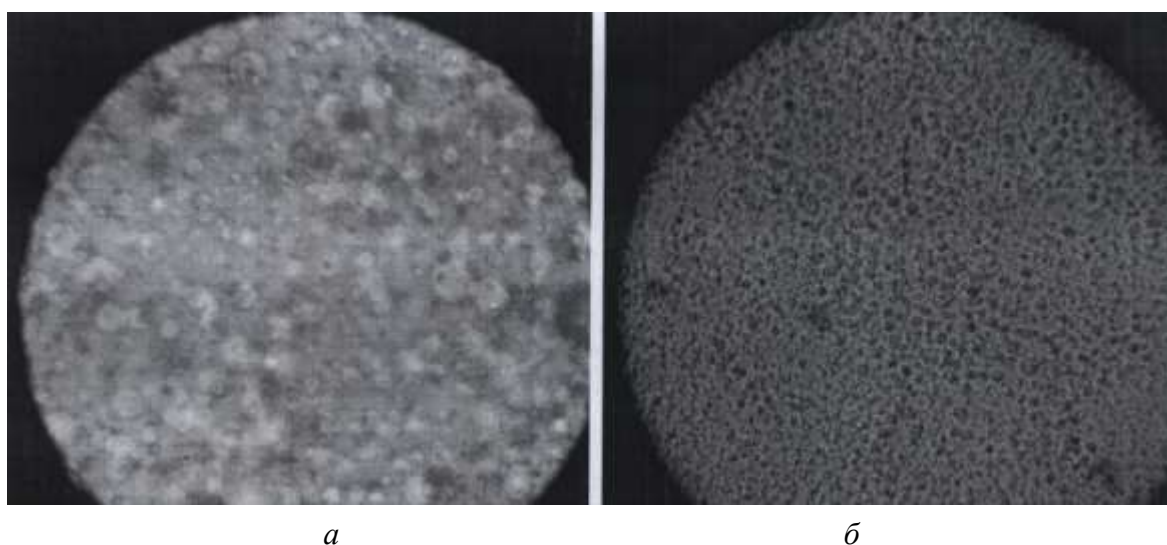
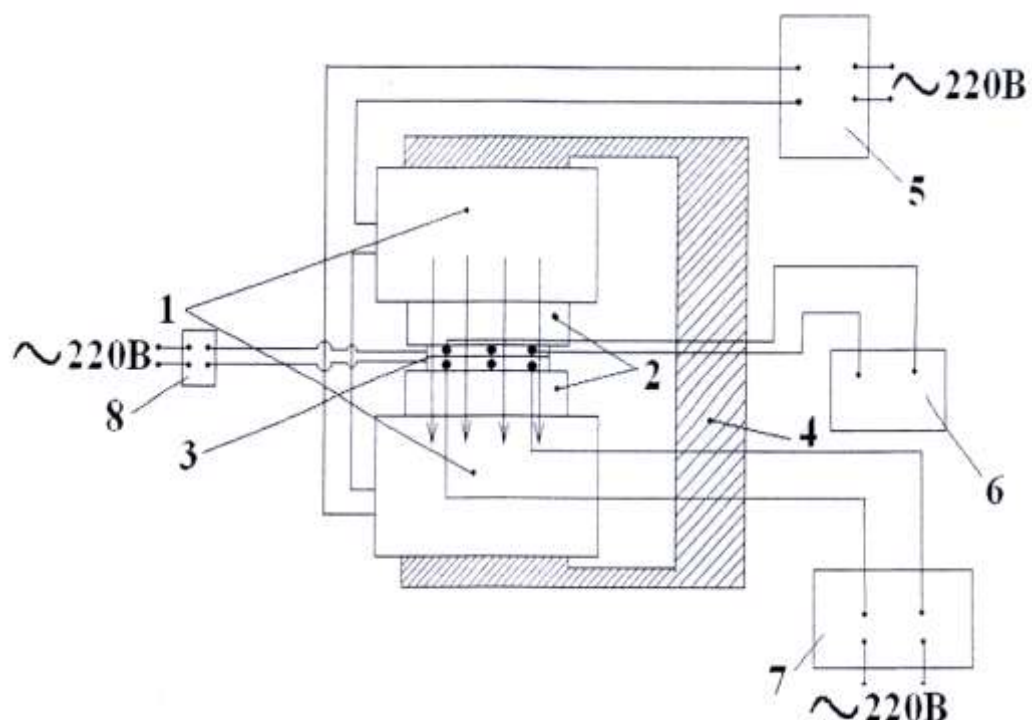


Рисунок 1 – Микрофотографии скола обработанной в постоянном магнитном поле с напряженностью $15 \cdot 10^4$ А/м клеевой прослойки: *a* – без вибраций; *б* – с частотой вибрации 12 Гц

Для реализации поставленной задачи создания клеевых соединений с прослойками повышенной теплопроводности проведен цикл экспериментальных исследований на запатентованной установке, создающей постоянное магнитное поле [12], и вибростенде марки ПЭ-680, формирующем поле с зафиксированной частотой до 30 Гц. Принцип устройства установки для обработки образцов с клеевыми прослойками магнитным и виброволновым воздействием представлен на рисунке 2.

Электромагнитный индикатор (основной элемент установки) выполнен в переносном варианте. Ток силой до 12 А на обмотку катушки электромагнита подавался от специального блока питания. Напряженность магнитного поля H изменялась в пределах от 0 до $27 \cdot 10^4$ А/м путем регулирования величины подаваемого тока или корректировкой расстояния между полюсами электромагнита.

Для создания виброволнового поля в межполюсное пространство под образец устанавливался рычаг от вибростенда. С помощью вибростенда создавалось виброволновое поле с фиксированной частотой до 40 Гц.



1 – обмотка электромагнита; 2 – подвижные башмаки электромагнита; 3 – вибростенд с нагревателем и образцом; 4 – ярмо; 5 – блок питания; 6 – потенциометр; 7 – источник питания нагревателя; 8 – источник питания вибростенда

Рисунок 2 – Схема установки для обработки образцов магнитным и виброволновым воздействием

Для увеличения точности показателей установки проводили градуировку на основе зависимости напряженности магнитного поля от значений тока для различных расстояний между полюсами. Также проводили испытания установки на определения степени однородности магнитного поля в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Полученные отклонения лежали в допустимых пределах и не превышали 0,01 – 0,02 %. Образцы для исследования изготавливались из стали 12Х18Н10Т и представляли из себя круглые заготовки диаметром 30 мм и толщиной 3 мм. Перед началом склеивания поверхности субстратов зачищались до $R_z \approx 3,4..4$ мкм на плоскошлифовальном станке. Клеевая композиция размещалась между пластинками. Необходимая толщина клеевой прослойки лежала в пределах 0,5 – 0,8 мм и задавалась специальными ограничителями. В качестве клеевой композиции использовалась эпоксидная смола марки ЭДП с 10 % по массе полиэтиленполиамином (ПЭПА) в качестве отвердителя. Роль наполнителей выполняли карбонильный ПНК или железный ПЖВ порошки заданной концентрации.

Опыты проводились в следующей последовательности. Клеевая пара с неотвержденной клеевой прослойкой помещалась на установочный элемент

вибростенда. При включенных вибростенде и электромагните с заданными параметрами по напряженности магнитного поля $5 \cdot 10^4$ А/м и частоте колебаний вибростенда порядка 16 Гц в течение 5 минут проводилась обработка клеевой прослойки. В этот момент интенсивно протекал процесс формирования цепочечных структур из частиц наполнителя с одновременным их уплотнением под воздействием виброволнового поля. Через 5 минут вибростенд выключался и функционировал только электромагнит в течение 15 минут. При включенном электронагревателе за весь период обработки поддерживалась температура в зоне рабочей ячейки в пределах 40°C . После окончания операции по комплексному воздействию образец удалялся и остывал в течение 1 часа. Затем проводились исследования приготовленных образцов на теплопроводность с помощью установки, действующей в нестационарном режиме методом двух температурно-временных режимов [12].

Результаты исследования теплопроводности обработанных в магнитном и виброволновом полях клеевых прослоек с наполнителями ПЖВ и ПНК представлены в таблицах 1 и 2.

Из анализа данных таблиц 1 и 2 видно, что магнитное и виброволновое воздействие на клеевые прослойки приводит к заметному росту их теплопроводности. Так, в сравнении со стандартной технологией, когда наполнитель вводится в полимерную матрицу, предлагаемый комбинированный метод модифицирования клеевых прослоек приводит к повышению теплопроводности в 2 ... 3 раза. Этот метод также можно считать более эффективным, чем обработка прослойки только в магнитном поле, о чем свидетельствуют данные, изложенные в работе [9].

Отсюда следует сделать вывод о справедливости выдвинутой гипотезы уплотнения частиц наполнителя при дополнительном воздействии на клеевую прослойку виброволновым полем.

Из сравнения данных, приведенных в таблицах 1 и 2, также следует сделать вывод о влиянии теплофизических свойств наполнителей на теплопроводность прослоек. Никелевый порошок повышает теплопроводность клеевой прослойки больше, чем железный порошок, коэффициент теплопроводности которого ниже, чем у никелевого.

Так как одним из основных показателей надежности клеевых соединений является их прочность, интерес представляет вопрос, как влияют магнитное и виброволновые поля на этот показатель. С этой целью проводились специаль-

Таблица 1 – Зависимость от напряженности магнитного поля коэффициента теплопроводности клеевых прослоек при различной концентрации наполнителя ПНК. Частота колебаний вибростенда 16 Гц

| Напряженность поля $H \cdot 10^{-4}$, А/м | Концентрация наполнителя C , % по массе | | | | |
|--|---|------|------|------|------|
| | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 |
| 0 | 0,18 | 0,28 | 0,36 | 0,40 | 0,42 |
| 2 | 0,18 | 0,6 | 0,64 | 0,71 | 0,73 |
| 5 | 0,19 | 0,68 | 0,75 | 0,79 | 0,83 |
| 13 | 0,19 | 0,76 | 0,82 | 0,89 | 0,96 |
| 17 | 0,19 | 0,81 | 0,84 | 0,91 | 1,13 |
| 24 | 1,19 | 0,82 | 0,84 | 0,91 | 1,2 |

Таблица 2 – Зависимость от напряженности магнитного поля коэффициента теплопроводности клеевых прослоек при различной концентрации наполнителя ПЖВ. Частота колебаний вибростенда 16 Гц

| Напряженность поля $H \cdot 10^{-4}$, А/м | Концентрация наполнителя C , % по массе | | | | |
|--|---|------|------|------|------|
| | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 |
| 0 | 0,18 | 0,26 | 0,32 | 0,38 | 0,39 |
| 2 | 0,18 | 0,28 | 0,41 | 0,47 | 0,49 |
| 5 | 0,18 | 0,38 | 0,5 | 0,58 | 0,65 |
| 13 | 0,19 | 0,51 | 0,65 | 0,68 | 0,78 |
| 17 | 0,19 | 0,68 | 0,72 | 0,76 | 0,82 |
| 24 | 0,19 | 0,76 | 0,76 | 0,82 | 0,96 |

Таблица 3 – Зависимость от напряженности магнитного поля прочности соединений из клея К-153 при различной концентрации наполнителя ПЖВ при магнитном и виброволновом воздействии

| Концентрация наполнителя C , масс. % | Напряженность магнитного поля $H \cdot 10^{-4}$, А/м | Предел прочности на сдвиге τ , МПа |
|--|---|---|
| 0 | 5 | 28,6 |
| | 24 | 37,6 |
| 20 | 5 | 22,3 |
| | 24 | 26,1 |
| 30 | 5 | 19,6 |
| | 24 | 24,3 |
| 40 | 5 | 18,2 |
| | 24 | 21,9 |

ные испытания. Испытывались стандартные образцы для определения предела прочности клеевых соединений на сдвиг. Использовались образцы в форме пластин из стали марки Ст-2, склеенные клеем марки К-153 с наполнителем ПЖВ. Клеевая прослойка с неотвердевшим клеем подвергалась воздействию магнитного поля с напряженностью от $5 \cdot 10^4$ до $24 \cdot 10^4$ А/м и виброволнового поля с частотой виброобработки 16 Гц. Образцы, полученные после полимеризации клея, проходили испытания на разрывной машине ИР-50 на сдвиговую прочность. Результаты испытаний приведены в таблице 3.

Из таблицы 3 видно, что магнитное и виброволновое воздействия суще-

ственно влияют на прочность клеевого соединения.

Таким образом, результаты проведенных исследований говорят о перспективности предложенной технологии для создания клеевых соединений с заданными механическими и теплофизическими свойствами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Кардашов, Д. А. Полимерные клеи / Д. А. Кардашов, А. П. Петров. – Москва : Химия, 1983. – 256 с.
- 2 Вильнав, Ж. Ж. Клеевые соединения / Ж. Ж. Вильнав. – Москва : Техносфера, 2007. – 384 с.
- 3 Кейгл, Ч. Клеевые соединения / Ч. Кейгл. – Москва : Мир, 1971. – 286 с.
- 4 Попов, В. М. Теплообмен через соединения на клеях / В. М. Попов. – Москва : Энергия, 1974. – 302 с.
- 5 Айбиндер, С. Б. Влияние наполнителей на теплофизические, механические и антифрикционные свойства полимеров / С. Б. Айбиндер, Н. Г. Андреева // Известия АН Латв. ССР. Сер. физ. и техн. наук. – 1963. – № 5. – С. 3-18.
- 6 Шрейнер, С. А. Влияние наполнителей на внутренние напряжения в эпоксидных пленках / С. А. Шрейнер, П. И. Зубов, Т. А. Волкова // Коллоидный журнал. – 1964. – Т. 26. – № 5. – С. 629-631.
- 7 Электрические и магнитные поля в технологии полимерных композитов / Ю. И. Воронежцев, В. А. Гольдаде, Л. С. Пинчук, В. В. Снежков. – Минск : Наука и техника, 1990. – 263 с.
- 8 Martl, M. G. Influence of magnetic field on the cross-linking of 1,4-polybutadiene with diacetyl peroxides / M. G. Martl // Macromol Chem Rapid Commun. – 1983. – V. 4. – № 10. – P. 649-652.
- 9 Попов, В. М. Влияние магнитного и электрического полей на теплопроводность клеевых прослоек на основе наполненных полимерных композиций / В. М. Попов // Матер. IV Рос. науч. конф. по теплообмену. – Москва : МЭИ, 2006. – Т. 7. – С. 56-59.
- 10 Schwarz, H. Metallekleben und Glasfaserverstärkte Kunststoffe in der Technik, 3 Aufl / H. Schwarz. – Berlin : VEB Verlag Technik, 1964. – 260 p.
- 11 Некоторые особенности формирования свойств полимерных композиционных материалов при волновом воздействии / Р. Ф. Ганиев, А. А. Берлин, Е. Б. Малюкова, В. Н. Фомин // Докл. АН. Сер. Химическая технология. – 2003. – Т. 391. – № 6. – С. 791-793.
- 12 Патент № 2328788 ЗФ, МПК H01F 13/00. Устройство для намагничивания : № 200711574/09 : заяв. 25.04.2007 : опубл. 10.07.2008 / Попов В. М., Иванов А. В., Мурзин В. С., Новиков А. П., Шестакова В. В., Латынин А. В. ; патентообладатель: Воронежская государственная лесотехническая академия. – 4 с.