

*Сотников А.С. Исследование современных подходов к синтезированию полимеркомпозитных материалов // Академия педагогических идей «Новация». – 2018. – №9 (сентябрь). – АРТ 337-эл. – 0,3 п. л. – URL: <http://akademnova.ru/page/875548>*

**РУБРИКА: ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

**УДК 678.91**

**Сотников Алексей Сергеевич**

магистрант,

Томский политехнический университет

г. Томск, Россия

e-mail: [chief.nauk@yandex.ru](mailto:chief.nauk@yandex.ru)

**ИССЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ К  
СИНТЕЗИРОВАНИЮ ПОЛИМЕРКОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*Аннотация:* Получение высоких и стабильных свойств, соответствующих надежности и долговечности эксплуатации изделий из полимеркомпозитных материалов (ПКМ) требует комплексного подхода и их конструирования, учета таких важных составляющих как целостность и единство системы, совместимость структурных элементов, достижения многофункциональности и стабильности характеристик, создание условий для управляемого функционирования и обретение способности адаптироваться к внешним воздействиям. Автором подчеркнута актуальность данного исследования, проведен сравнительный анализ, описан механизм воздействия, сделаны выводы.

*Ключевые слова:* физические поля, полимеркомпозит, эпоксид, магнитные компоненты, материалы, вяжущее.

**Sotnikov Alexey Sergeevich**  
master student,  
Tomsk Polytechnic University  
Tomsk, Russia

## **STUDY OF MODERN APPROACHES TO SYNTHESIZING POLYMER COMPOSITE MATERIALS**

*Abstract:* The obtaining of high and stable properties, corresponding to the reliability and durability of the operation of products made of polymer-composite materials (PCM) requires an integrated approach and their design, consideration of such important components as integrity and unity of the system, compatibility of structural elements, achievement of multifunctionality and stability of characteristics, controlled functioning and the ability to adapt to external influences. The author underlined the relevance of this study, conducted a comparative analysis, described the mechanism of impact, conclusions were drawn.

*Key words:* physical fields, polymer composite, epoxide, magnetic components, materials, binder.

В последнее время активизировались исследования по получению новых композиционных материалов. Комплекс необходимых функциональных характеристик способных обеспечить эпоксидные композиционные материалы (ЭКМ) - это сложные многофазные системы, в состав которых входят не только смола и отвердители, но и модификаторы, наполнители и растворители. При этом присутствие в их составе различных по природе и признакам ингредиентов порождает различия в физико-

механических, технологических и эксплуатационных свойствах, оставляет поле для варьирования значений соответствующих параметров.

Существует немало современных технологий, позволяющих получить детали из полимерных материалов. Так, в промышленности используют термокамерный метод [1; 4] с конвективным подводом тепла. Данный метод дает возможность получить детали из ПКМ со свойствами, удовлетворяющими заказчиков, но он характеризуется долговечностью и энергоемкостью.

Известны также методы отверждения ПКМ с использованием магнитных полей [12], радиационного облучения [18], ускоренных электронов [30]. В промышленности находят применение методы высокочастотного нагрева для обработки влажных материалов, для сварки термопластичных материалов при склеивании неметаллических материалов.

Наиболее перспективным методом, который дает безусловные преимущества во времени, экологичности и энергосбережении, является утверждение деталей из ПКМ в поле токов высокой частоты [5; 29].

Для использования электромагнитного поля сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ) в составе технологического процесса нагрева полуфабрикатов из ПКМ и отверждения их нужно правильно выбрать режим обработки, который определяется следующими параметрами: частотой колебаний поля; мощностью электромагнитного поля; соответствием быстрого нагрева и времени выдержки химическим процессам, происходящим при твердении.

Особую актуальность имеет исследование нагрева, которое предусматривает прямое поглощение энергии материалом, который нагревается за счет перемещения ионов и вращения диполей с частотой колебаний электромагнитного поля без изменения в структуре молекул.

В случае изготовления изделий из терморезистивных композиционных материалов, в том числе и ЭКМ, используют их свойство размягчаться с повышением температуры, а по достижении определенной температуры синтезироваться, то есть переходить в необратимое устойчивое состояние [7; 13].

В процессе твердения композитов, в зависимости от термовременных режимов между макромолекулами мономеров действуют ковалентные или вандерваальсовы силы, которые вызывают сближение молекул и химическую "усадку" вяжущего. Между молекулами возникают значительные напряжения. Степень завершенности процесса синтеза оценивают по показателям прочности (модуль сдвига, поверхностная прочность и т.п.) или электрофизическими характеристиками (тангенс угла диэлектрических расходов).

Использование ЭМП СВЧ в технологическом процессе твердения изделий обеспечивает существенное ускорение процесса, необходимую плотность и степень структурирования [11]. При этом имеет место повышение механических свойств листовых изделий, отвержденных под влиянием ЭМП СВЧ.

Зависимость адгезионной прочности композитов от частоты электромагнитного поля носит экстремальный характер [2; 15 и др.].

Обработка в переменном электромагнитном поле позволяет получить ориентацию цепей полимера на поверхности наполнителя, что, в свою очередь, позволяет ускорить начало полимеризации композита за счет формирования глобул.

Обработка эпоксидных композиций в переменном электромагнитном поле небольшой частоты (до 20 МГц) существенно не влияет на адгезионную прочность защитных покрытий [6; 24 и др.]. Увеличение

частоты ВЧЕМП с 20 до 60 МГц позволяет повысить адгезионную прочность на 5 - 10% и при этом максимальное значение достигается при обработке с частотой 40 МГц. Дальнейшее увеличение частоты приводит к снижению адгезионно-прочностных характеристик, чем объясняется сшивания молекул композиции вследствие роста температуры в процессе обработки.

При электромагнитной обработке покрытий в течение 2 - 3 мин. адгезионная прочность увеличивается на 4 - 8 МПа, что согласуется с работами Беркгаузена, Ребиндера, Вейса. В углеродной конструкционной стали энергетически выгодным является состояние, в котором ферромагнитное тело делится на большое количество областей микроскопического размера с равномерным распределением направлений магнитных моментов, вследствие чего результирующий магнитный момент субстрата равен нулю.

Согласно эффекту Беркгаузена, при наличии внешнего поля, намагниченность в ферромагнетике растет не медленно, а скачкообразно, что объясняется увеличением объема доменов, векторы намагничивания которых совпадают с направлением поля за счет доменов с противоположными направлениями намагниченности.

Известно [3; 24 и др.], что частицы ферро- и парамагнитных наполнителей дисперсностью 2 - 10 мкм, вследствие воздействия внешнего намагничивая поля, формируют энергетически выгодное однодоменное состояние, и в такой структуре отсутствуют однодоменные слои. Вследствие воздействия внешней ВЧЕМП, усиленное магнитное поле наполнителя взаимодействует с магнитным полем основы доменов, что, в свою очередь, приводит к концентрации частиц в междоменной области рассеяния.

Самоорганизация структурообразования под действием сверхвысоких частот позволяет снизить остаточное напряжение в защитных ЭКМ-покрытиях на 20 - 25% за счет формирования густой пространственной сетки наполнителя, однородной структуры и интенсивного течения релаксационных процессов. Установлено, что наиболее высокими адгезионными показателями и минимальными остаточными напряжениями характеризуются композиции, наполненные МУК (металлоуглеродистая композиция), и комплексно обработанные внешними физическими полями в течение 2 мин.

Таким образом, дополнительное повышение адгезионной прочности на 20% и снижение остаточных напряжений на 30%, в результате комплексной обработки внешними физическими полями, обусловлено изменением структуры эпоксидного связующего, интенсивного диспергирования компонентов, формированием однородной структуры по толщине композита, быстрым течением физико-механических процессов на границе полимер - наполнитель, полимер - основа и наполнитель - основа.

Комплексная обработка полимеркомпозитных покрытий внешними физическими полями, наполненных ферромагнитным наполнителем (МВК), уменьшает интенсивность износа в среднем на 20% [7; 22].

Применение внешних физических полей позволяет регулировать надмолекулярную структуру, плотность и термомеханические свойства ПКМ. Эпоксидный полимер, сформированный под действием внешних физических полей, приобретает способность к аномальному температурному расширению, а также имеет тенденцию к росту плотности.

Для композитов на основе эпоксидного полимера (ЭП) и  $Al_2O_3$ , сформированных во внешних физических полях, характерна способность к температурному расширению в отличие от сложившихся в исходном

состоянии, в то время как композиты на основе ЭП и  $Fe_2O_3$ , сформированные во внешних силовых полях, характеризуются меньшими значениями коэффициента линейного расширения в отличие от сложившихся в исходном состоянии. Это может объясняться тем, что  $Fe_2O_3$  более способен к комплексообразованию, в отличие от  $Al_2O_3$ . Композиты, сформированные во внешних физических полях, имеют тенденцию к повышению плотности; влияние магнитного поля более существенно на композиты на основе ЭП и ферромагнитного наполнителя  $Fe_2O_3$ .

Применение конвективного нагрева приводит к существенному повышению адгезионной прочности [23]. При этом значительного изменения данной характеристики при обработке в течение 4 ч не зафиксировано, поэтому обработка в течение 2 ч при температуре 323 К является вполне достаточной. Увеличение содержания наполнителя приводит к повышению прочности системы из-за образования дополнительных химических узлов между макромолекулами эпоксидной составляющей и поверхностью частиц наполнителя, что подтверждается фактографическими исследованиями.

Твердения эпоксикомпозитов с использованием инфракрасного нагрева (ИК) малоэффективно из-за образования недостаточного количества химических узлов между составляющими системы [16; 28].

Наибольшее значение адгезионной прочности ( $\sigma_a = 27,46$  МПа) при содержании порошка оксида алюминия 10 мас. д. свойственно материалу, сформированному при комбинированном использовании конвективного и ИК-нагрева. При введении в полимерную композицию 50 масс. д. наполнителя значения адгезионной прочности растут на 24%, что связано с увеличением степени структурированности системы.

Введение в эпоксикомпозиты оксида алюминия в количестве до 100 масс. д. приводит к повышению адгезионной прочности независимо от режима термической обработки [17]. Самые низкие значения ( $\sigma = 43,50$  МПа) получены для материала, обработанного конвективным нагревом, а высокие ( $\sigma = 45,43$  МПа) в случае применения ИК-нагрева.

Дальнейшее увеличение концентрации наполнителя приводит к снижению адгезионной прочности ЭКМ при всех исследуемых режимах термической обработки, что связано с избыточным содержанием ингредиента, в результате чего его поверхность не смачивается полимерным вяжущим.

В работах [9; 14 и др.] представлена зависимость, отражающая структурированную часть эпоксиполимера при введении в систему порошка оксида алюминия при различных режимах термической обработки. Содержание гель-фракции в наполненных эпоксикомпозитах, термически обработанных при конвективном и ИК-нагреве, выше, по сравнению с комбинированной термической обработкой (конвективный + ИК-нагрева), и постепенно повышается пропорционально содержанию наполнителя. Это связано с особенностью подачи тепловой энергии к изучаемому материалу.

При использовании отдельно конвективного и инфракрасного нагрева происходит максимальная передача тепловой энергии по воздуху или с помощью электромагнитных волн, что приводит к интенсивному поглощению поверхностью квантов энергии. В результате получим высокую скорость протекания химических реакций, что приводит к росту степени структурирования.

В случае обработки инфракрасными лучами композита наполненного порошком оксида алюминия в количестве 10 мас. д., зафиксировано максимальное значение содержания гель фракции ( $G = 96,1\%$ ), которое

пропорционально снижается при увеличении содержания наполнителя и при количестве 100 масс. д. достигает 90,3%. Это связано с увеличением количества препятствий в виде частиц порошка для проникновения инфракрасных лучей.

Применение комбинированной термической обработки обеспечивает сравнительно низкую степень структурирования системы, определяется недостаточной продолжительностью обработки в течение 2-х часов [20]. Увеличение продолжительности до 4-х ч. обеспечивает существенный рост степени структурированности полимерной системы ( $G = 94,8\%$ ) при содержании наполнителя 100 масс. д. [8] Применение конвективного нагрева, хотя и обеспечивает максимальную степень структурирования полимерного связующего, вместе с тем, приводит к появлению значительных остаточных напряжений ( $\sigma_{\text{вн}} = 0,85 \text{ МПа}$ ), что связано с локальным сшиванием макромолекул матрицы. При этом процесс хаотичен и неравномерен, соответственно, часть системы находится в напряженном состоянии, что приводит к существенному снижению физико-механических характеристик эпоксидного композита.

При увеличении содержания наполнителя происходит рост данной характеристики, который определяется ухудшением однородности системы при введении наполнителя, в результате чего сшивание макромолекул эпоксидного полимера происходит неравномерно [19; 21]. Аналогичные процессы происходят при обработке композиции инфракрасными лучами, однако, значение остаточных напряжений в 1,8 - 2,6 раза ниже, так как при конвективном нагреве тепло передается за счет теплопроводности газовой среды, а затем теплопроводности композита.

Таким образом, в случае обработки ИК-лучами кванты энергии непосредственно воспринимаются материалом, обеспечивающим образование равномерной структурной сетки полимерного вяжущего [25-26].

При использовании комбинированной обработки получаем низкие значения остаточных напряжений ( $\sigma_z = 0,107$  МПа) при содержании наполнителя 100 масс. д., что можно объяснить оптимальным распределением тепловых потоков в объеме материала.

#### Список использованной литературы:

1. Абдрахманов Н.Х., Абдрахманова К.Н., Ворохобко В.В., Абдрахманов Р.Н. Требования к информационному, организационному и техническому обеспечению построения информационно-управляющей системы безопасности для предприятий нефтегазоперерабатывающей промышленности // Экспертиза промышленной безопасности и диагностика опасных производственных объектов. 2016. № 2 (8). С. 14-17.
2. Антошкин Л.В., Лавринов В.В., Лавринова Л.Н., Лукин В.П., Туев М.В. Особенности опережающей коррекции турбулентных искажений по измерениям датчика Шэка-Гартмана // Оптика атмосферы и океана. 2010. Т. 23. № 11. С. 1042-1047.
3. Аскадский А.А., Мацеевич Т.А., Попова М.Н., Кондращенко В.И. Прогнозирование совместимости полимеров, анализ состава микрофаз и ряда свойств смесей // Высокомолекулярные соединения. Серия А. 2015. Т. 57. № 2. С. 162.
4. Балабин В.Н. Альтернативные немеханические системы газораспределения для дизелей // Мир транспорта. 2004. Т. 2. № 2 (6). С. 52-57.
5. Баран Е.Д., Марченко И.О., Полубинский В.Л. Система проектирования интеллектуальных датчиков с электронными таблицами // Актуальные проблемы электронного приборостроения материалы X Международная конференция: в 7 т.. 2010. С. 143-148.
6. Бурков А.Ф. Автоматизированные судовые электроприводы. - Владивосток, 2009. – 240 с.
7. Волынская М.Г. О разрешимости одной нелокальной задачи с интегральным условием // Математическое моделирование и краевые задачи Труды Второй Всероссийской научной конференции. 2005. С. 62-64.
8. Данилов Б.Б., Кондратенко А.С., Смоляницкий Б.Н., Смоленцев А.С. Совершенствование технологии проходки скважин в грунте методом продавливания // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2017. № 3. С. 57-64.

**Всероссийское СММ**

**«Академия педагогических идей «НОВАЦИЯ»**

Свидетельство о регистрации ЭЛ №ФС 77-62011 от 05.06.2015 г.

(выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций)

Сайт: [akademnova.ru](http://akademnova.ru)

e-mail: [akademnova@mail.ru](mailto:akademnova@mail.ru)

9. Денисенко С.Г., Глушко С.П. Оптимизация технологии производства подшипников скольжения из биметалла сталь-бронза // Современные методы наплавки, упрочняющие покрытия и используемые материалы iv украинская республиканская научно-техническая конференция. Тезисы докладов. Харьков., 1990. С. 70-71.

10. Жуков А.А., Постнова А.Д., Немтырев О.В., Березин Д.Т. Коррозионно-стойкая сталь // Патент на изобретение RUS 2193073 15.05.2000

11. Камнев Д.В., Чуклов В.С., Пашенко В.М. Использование СВЧ-волн для обработки биодизеля // Леса России и хозяйство в них. 2012. № 1-2 (42-43). С. 57-58.

12. Кашарин Д.В. Способ возведения гидроэнергетического сооружения // патент на изобретение RUS 2278923 17.03.2003

13. Кришан А.Л. Трубобетонные колонны для многоэтажных зданий // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2009. № 4. С. 75-80.

14. Кудяков А.И., Свергунова Н.А. Зернистый пористый материал из микрокремнезема // Строительные материалы. 2006. № 6. С. 86-87.

15. Кулябин Г.А., Спасибов В.М. Способ формирования осевой нагрузки на долото и устройство для его осуществления // патент на изобретение RUS 2124617

16. Лагунова Ю.А., Контеев О.Ю. Диверсификационный проект "Русский магний" // Горное оборудование и электромеханика. 2010. № 9. С. 44-48.

17. Мустафин М.Г., Санникова А.П., Юшманов П.И. Оценка устойчивости борта карьера // Записки Горного института. 2012. Т. 198. С. 198-201.

18. Нечаев Ю.Б., Зотов С.А., Макаров Е.С. Коррекция амплитудно-фазового распределения электромагнитного поля в задаче радиопеленгации // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. 2009. Т. 52. № 4. С. 60-72.

19. Осокин Б.В., Сгребнев Н.В., Исаков А.В., Бурков А.Ф., Чуев Г.И. Бездуговая коммутация в электроприводах с многоскоростными асинхронными двигателями // Электротехника. 1989. № 5. С. 74-76.

20. Писарев О.А., Кручина-Богданов И.В., Глазова Н.В., Быченкова О.В. Кинетическое регулирование селективности сорбции в жидкостной хроматографии низкого давления // Доклады Академии наук. 1998. Т. 362. № 3. С. 362.

21. Санников В.Г. Устойчивый алгоритм статистической идентификации авторегрессионной модели речевого сигнала // Цифровая обработка сигналов. 2001. № 2. С. 10.

22. Табаков П.А., Соломашкин А.А., Михлин В.М. Новая методика определения допустимого износа деталей при эксплуатации // Международный научный журнал. 2011. № 1. С. 56-60.

23. Тертышная Ю.В., Ольхов А.А., Шибряева Л.С. Механические свойства и структура смесей поли-3-оксибутирата и двойного этиленпропиленового сополимера // Пластические массы. 2002. № 2. С. 10-11.

24. Устынюк Ю.А., Бабин Ю.В., Савченко В.Г., Мышакин Е.М., Гавриков А.В. Теоретическое исследование методом функционала плотности механизма гидроформирования этилена на комплексах платины с гидрофосфорильными лигандами // Известия Академии наук. Серия химическая. 2010. № 4. С. 672.

25. Хасбулатова З.С. Ароматические полисульфоны // Пластические массы. 2009. № 4. С. 20-23.

26. Хостикоев М.З. Способ накатывания резьб: RUS 2058847 16.06.1993
27. Хостикоев М.З. Основы создания адаптивных металлообрабатывающих инструментов // Механизация и автоматизация производства. 1978. № 11. С. 23-26.
28. Krishan A.L., Troshkina E.A., Rimshin V.I., Rahmanov V.A., Kurbatov V.L. Load-bearing capacity of short concrete-filled steel tube columns of circular cross section // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2016. Т. 7. № 3. С. 2518-2529.
29. Lukin V.P., Yu. K.F., Konyaev P.A., Fortes B.V. Numerical model of atmospheric adaptive optical system // Atmospheric and Oceanic Optics. 1995. Т. 8. № 3. С. 409.
30. Polyakova I.V., Pisarev O.A. Influence of polyfunctional interactions between organic zwitter-ion eremomycin and carboxylic cation exchangers on forming concentration front // Journal of Chromatography A. 2005. Т. 1092. № 1-2. С. 135-141.

*Дата поступления в редакцию: 22.09.2018 г.*

*Опубликовано: 23.09.2018 г.*

*© Академия педагогических идей «Новация», электронный журнал, 2018*

*© Чумаков С.А., 2018*