

Исследование эффекта электроимпульсной обработки полимерного связующего во время процесса формования изделия

Investigation of the effect of the polymeric binder electro pulse treatment during the product molding process

О.Ю. ЕРЕНКОВ, Е.П. ДОРОФЕЕВ, Э.Х. РИ

O.YU.ERENKOV, E.P. DOROFEEV, E.KH.RI

Тихоокеанский государственный университет, Россия, г. Хабаровск
Pacific State University, Khabarovsk, Russia
erenkov@list.ru

Представлены результаты экспериментальных исследований влияния электроимпульсной обработки полимерного связующего непосредственно в пресс-форме на прочностные показатели стеклопластика. Приведены результаты исследований надмолекулярной структуры и теплофизических свойств полимерного связующего. Изложена физическая интерпретация полученных в работе результатов.

Ключевые слова: стеклопластик, полимерное связующее, надмолекулярная структура, наносекундные электромагнитные импульсы, электромагнитное поле, механические свойства

The results of experimental studies of the effect of polymer binder electropulse treatment directly in a mold on the strength characteristics of fiberglass are presented. The results of studies of the supramolecular structure and thermophysical properties of the polymer binder are presented. The physical interpretation of the results obtained in the work is presented.

Keywords: glass fiber reinforced plastic, polymer binder, supramolecular structure, nanosecond electromagnetic pulses, electromagnetic field, mechanical properties

DOI: 10.35164/0554-2901-2023-3-4-49-51

Одной из важнейших научно-практических задач при изготовлении изделий из полимерных композиционных материалов (ПКМ) является получение материалов с повышенными физико-механическими свойствами. Один из путей её решения – модификация полимерного связующего. На современном этапе развития науки о ПКМ существует большое многообразие методов модификации эпоксидного связующего [1–3]. В работе [4] научно обосновано применение предварительной электрофизической обработки полимерного связующего электромагнитными импульсами и волнами. Эффективность такого подхода экспериментально подтверждена результатами исследований механических свойств стеклопластика. Установлено, что применение предварительной электрофизической обработки эпоксидного связующего путем совместного воздействия наносекундными электромагнитными импульсами (НЭМИ) и электромагнитным переменным полем (ЭМП) в течение 25 минут позволяет повысить прочностные свойства изделий из стеклопластика Этал Т 210-Т11-ГВС9 на 40–70%.

Цель данной работы – экспериментальное исследование взаимосвязи между временем электроимпульсной обработки эпоксидного связующего непосредственно во время технологического процесса формования, состоянием надмолекулярной структуры связующего, теплофизическими и прочностными свойствами стеклопластика.

Методики исследований

В данной работе электроимпульсная обработка эпоксидного связующего осуществлялась, в отличие от предыдущих исследований, непосредственно в пресс-форме для изготовления лопатки рабочего колеса центробежной компрессорной установки, рис. 1. При проведении экспериментов использовались такие же связующее, замасливатели, стеклоткань и параметры электроимпульсной обработки, как и в работе [4].

Механические испытания образцов стеклопластика проводили в соответствии с положениями ГОСТ 11262-80, при этом из номенклатуры механических характеристик были выбраны предел прочности при растяжении и предел прочности при статическом изгибе.

Из номенклатуры теплофизических свойств стеклопластика выбраны температуропроводность и теплопроводность, для опреде-

ления которых использовалась установка Netzsch LFA-457, принцип действия которой основан на методе лазерной вспышки [5]. Как известно, температуропроводность и теплопроводность являются высокочувствительными индикаторами структурных изменений твердых тел [6, 7].

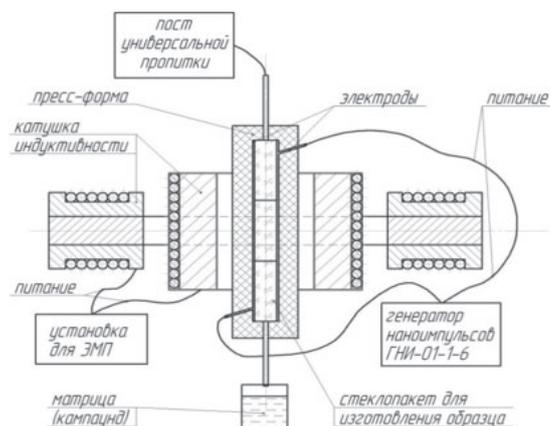


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

В работе проведены микроструктурные исследования образцов отвержденного эпоксидного связующего с целью определения характера изменения надмолекулярной структуры (НДС) полимера после электроимпульсной обработки (совместно НЭМИ и ЭМП) полимерного связующего в процессе формования. Данные исследования проводились с помощью растрового электронного микроскопа марки JSM-6480.

Результаты экспериментальных исследований

На рис. 2 представлены экспериментальные данные, позволяющие оценить взаимосвязь между видом и временем электроимпульсной обработки эпоксидного связующего Этал Т 210 и механическими характеристиками образцов из стеклопластика Этал Т 210-Т11-ГВС9.

Анализ полученных данных позволяет заключить, что совместная обработка НЭМИ и ЭМП (кривая 1 на рис. 2, а, б) эпоксидного

связующего непосредственно в форме позволяет повысить прочность готового стеклопластика. Об этом свидетельствуют более высокие значения механических свойств материала по сравнению с базовыми значениями и полученными при индивидуальных обработках НЭМИ (кривая 3, рис. 2 а, б) и ЭМП (кривая 4, рис. 2 а, б). Максимальные приращения значений механических характеристик стеклопластика происходят после совместной обработки полимерного связующего НЭМИ и ЭМП в течение 25 мин.

Для проведения сравнительного анализа эффективности предложенного технического решения по обработке эпоксидного связующего в процессе формования изделия на рис. 2 а, б представлены данные (кривая 2) по влиянию совместной обработки связующего НЭМИ и ЭМП перед формованием, полученные ранее [4]. На основании сопоставления представленных данных можно сделать заключение о том, что электроимпульсная обработка эпоксидного связующего непосредственно в форме способствует совершенствованию технологии изготовления изделий из ПКМ. Реализация такого подхода позволяет получать материал с более высокими прочностными показателями и осуществлять процесс формования деталей и изделий непрерывным образом, т.е. повысить производительность технологического процесса в целом.

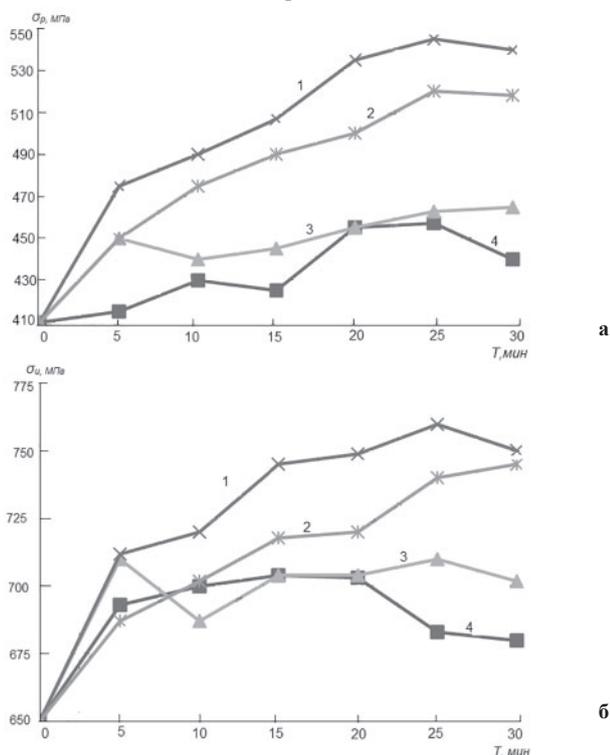


Рис. 2. Прочность стеклопластика: а – при растяжении; б – при статическом изгибе; 1 – совместная обработка связующего НЭМИ и ЭМП непосредственно в форме; 2 – предварительная (перед формованием) совместная обработка связующего НЭМИ и ЭМП; 3 – обработка связующего НЭМИ в процессе формования; 4 – обработка связующего ЭМП в процессе формования.

На рис. 3 представлены результаты исследования надмолекулярной структуры эпоксидного связующего. За базовое состояние НДС принята структура материала после точения заготовки, которая не подвергалась какому-либо воздействию.

Анализ представленных на рис. 3 данных позволяет сформулировать следующее заключение. НДС эпоксидного связующего, рис. 3 а, не подвергавшегося электроимпульсной обработке, представляет собой неоднородную ламеллярно-кристаллическую структуру, при этом размеры кристаллических ламелей незначительны, и отчетливо проявляются многочисленные дефекты в виде полостей, микротрещин, обрывков макромолекул [8]. Реализация предварительной электроимпульсной обработки связующего в жидком состоянии НЭМИ совместно с ЭМП [4] приводит к некоторому изменению НДС, рис. 3 б. Структура также является ламеллярно-кристаллической с некоторой анизотропией, при этом ламели имеют большие размеры по сравнению с базовой НДС. В данной структуре, аналогично базовой, наблюдаются дефекты в виде полостей, нерегулярных фрагментов и микротрещин.

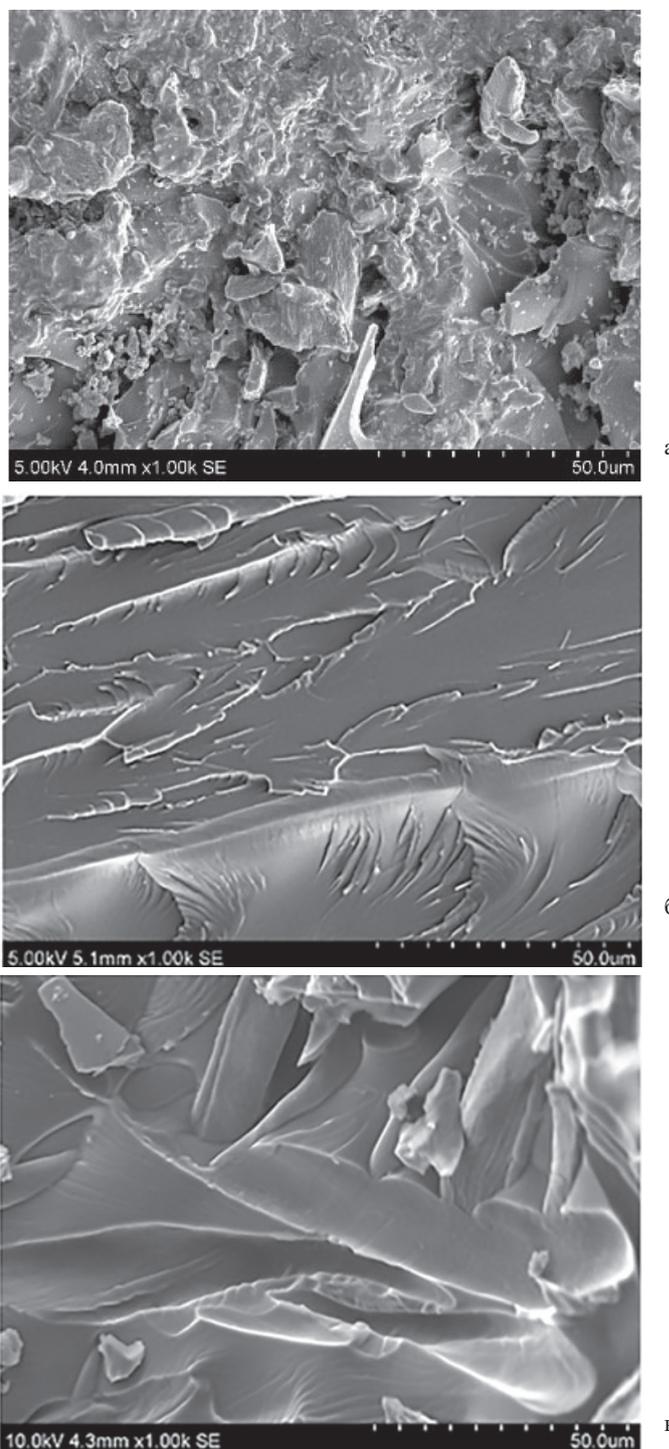


Рис. 3. Надмолекулярная структура эпоксидного связующего: а – без электроимпульсной обработки; б – предварительная обработка НЭМИ совместно с ЭМП; в – обработка НЭМИ совместно с ЭМП в процессе формования.

После обработки связующего НЭМИ совместно с ЭМП непосредственно в пресс-форме, рис. 3 в, НДС является сплошной однородной фибриллярной, с ярко выраженной анизотропией полимерных цепей и пачек, из которых и состоят фибриллы.

Таким образом, электроимпульсная обработка эпоксидного связующего, в течение 25 минут находящегося непосредственно в форме, путем совместного воздействия НЭМИ и ЭМП в процессе формования обеспечивает трансформацию неоднородной ламеллярно-кристаллической структуры в фибриллярную с равномерным распределением структурных элементов.

В таблице приведены значения теплофизических параметров стеклопластика в зависимости от времени электроимпульсной обработки эпоксидного связующего наносекундными электромагнитными импульсами совместно с электромагнитным полем в процессе формования. Анализ представленных данных позволяет сделать заключение о том, что электроимпульсная обработка эпокс-

сидного связующего в течение 25 мин обеспечивает увеличение значений теплофизических свойств стеклопластика.

Таблица. Значения теплофизических параметров эпоксидного связующего.

Вариант электроимпульсной обработки связующего	Теплофизические параметры эпоксидного связующего	
	Температуропроводность, мм ² /с	Теплопроводность, Вт/мК
Без обработки	0,189	0,716
Предварительная обработка	0,248	0,941
Непосредственно во время формования	0,294	1,069

При этом максимальный прирост значений теплофизических свойств стеклопластика имеет место после электроимпульсной обработки связующего непосредственно в пресс-форме.

Данный факт коррелирует с результатами исследования НДС методом растровой электронной микроскопии и свидетельствует о том, что такая структура обладает более высокой степенью однородности по сравнению с остальными и является основой для повышения прочностных свойств стеклопластика.

Выводы

1. Экспериментальным путем установлено, что электроимпульсная совместная обработка наносекундными электромагнитными импульсами и электромагнитным переменным полем эпоксидного связующего непосредственно в пресс-форме во время процесса формования позволяет получать стеклопластик с более высокими, до 15%, прочностными свойствами по сравнению с вариантом предварительной обработки связующего до формования изделия. Кроме того, в случае электроимпульсной обработки во время процесса формования технологический процесс производства деталей и изделий из стеклопластика осуществляется непрерывно, т.е. повышается производительность технологического процесса в целом.

2. Методом растровой электронной микроскопии установлены факты трансформации надмолекулярной структуры эпоксидного связующего от неоднородной ламелярно-кристаллической к однородной фибриллярной после его совместной обработки наносекундными электромагнитными импульсами и электромагнитным полем. Наиболее равномерная надмолекулярная структура образуется при реализации электроимпульсной обработки непосредственно в форме во время процесса формования изделия. Об этом свидетельствуют результаты микроструктурных исследований НДС методом растровой электронной микроскопии, которые, в свою очередь, подтверждаются характером изменения механических и теплофизических свойств конечного продукта – стеклопластика.

Благодарность: Исследования проводились в ЦКП «Прикладное материаловедение» ФГБОУ ВО «ТОГУ» при финансовой поддержке Министерства науки и образования Российской Федерации в рамках НИР № FEME-2023-0009

Литература

1. Кулезнев В.Н., Шершнева В.А. Химия и физика полимеров. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Колос, 2007. – 367 с. <https://studizba.com/files/show/djvu/3188-1-v-n-kuleznev-v-a-shershnev--himiya-i.html>.
2. Зеленева Ю.В., Хромов В.И. Прогнозирование изменения физических свойств полимерных материалов при разных способах их модификации // Пластические массы. 2002. №11. С.11–13. <https://www.elibrary.ru/contents.asp?id=34046540>.
3. Кестельман В.Н., Стадник А.Д. Термомагнитная обработка полимерных композиционных материалов. – М.: НИИТЭХИМ. 1989. – 178 с.
4. Еренков О.Ю., Никищечкин В.Л. Разработка и исследование нового способа модификации полимерного связующего путем электрофизического воздействия // Пластические массы. 2011. №11. С. 61–64. https://www.elibrary.ru/download/elibrary_17310511_21245553.pdf.
5. Еренков О.Ю., Яворская Е.В. Новый комбинированный способ токарной обработки термопластичных материалов // Пластические массы. 2021. №9–10. С. 42–44. https://www.elibrary.ru/download/elibrary_47176673_55169961.pdf.
6. Новиченок Л.Н., Шульман З.П. Теплофизические свойства полимеров. – Минск: Наука и техника, 1971. 120 с. http://thermalinfo.ru/Sets/bibl_files/novichenok-shulman-teplofizicheskie-svoystva-polimerov.pdf.
7. Айбиндер С.Б., Андреева Н.Г. Влияние наполнителей на теплофизические, механические и антифрикционные свойства полимеров // Изв. АН Лат. ССР. Сер. физ. и техн. наук. 1983. №5. С. 3–18.
8. Аскадский А.А. Деформация полимеров. М.: Химия, 1973. 448 с. https://www.studmed.ru/askadskiy-aa-deformaciya-polimerov_06df4a6fddb.html.