

## **ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ОБРАБОТКИ СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЕМ ИСХОДНЫХ ПРЕПРЕГОВ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ, АРМИРОВАННОЙ РАЗЛИЧНЫМИ НИТЯМИ**

**Пятаев И.В.<sup>1</sup>, Студенцов В.Н.<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Энгельсский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», 413100, Саратовская область, г. Энгельс, площадь Свободы, 17, e-mail: i06@mail.ru*

Данная работа посвящена изучению применения СВЧ-колебаний для физической модификации реактопластов на основе эпоксидной смолы, армированной различными нитями. В этих материалах полимерной матрицей является отвержденная эпоксидная смола. Рассмотрено влияние СВЧ на структуру и свойства реактопластов, армированных различными нитями. Для получения полимерной арматуры потребовалось подобрать оптимальное содержание нитей, температурный режим, линейную скорость, продолжительность обработки и мощность источника СВЧ-колебаний. Актуальным направлением технологии модификации полимерной арматуры является повышение прочностных характеристик, которое может быть достигнуто путем кратковременной предварительной обработки исходного препрега излучением СВЧ. Волновая СВЧ-обработка влияет на конкуренцию процессов сшивания и линейного роста макроцепей при отверждении в сторону ускорения процесса сшивания. Такая обработка привела к дополнительному структурированию полимеров и обусловленным этим структурированием изменениям прочностных характеристик.

Ключевые слова: эпоксидная смола, стеклянное волокно, капроновое волокно, физическая модификация, СВЧ.

## **STUDY OF THE EFFECT OF THE MICROWAVE RADIATION SOURCE OF PROCESSING OF PREPREGS PKM STRENGTH CHARACTERISTICS BASED ON AN EPOXY RESIN REINFORCED WITH DIFFERENT YARNS**

**Pyataev I.V.<sup>1</sup>, Studentsov V.N.<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Engels Technological Institute (branch) of Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin, e-mail: i06@mail.ru*

This paper studies the application of microwave oscillations for physical modification of thermosetting epoxy resin reinforced with different threads. In these materials, the polymer matrix is a cured epoxy resin. The influence of microwave on the structure and properties of thermoset reinforced by different threads. For polymeric reinforcement necessary to select the optimum content of the filaments, temperature, line speed, and the processing time of the microwave source power fluctuations. Actual direction of reinforcement polymer modification technology is to improve the strength characteristics, which can be achieved by brief pretreatment prepreg microwave radiation. Wave microwave processing affects competition and cross-linking of linear growth macrochains when cured towards accelerating the process of cross-linking. This treatment resulted in a further structuring of polymers and the resulting changes in the structuring of the strength characteristics.

Keywords: Epoxy resin, glass fiber, nylon fiber, physical modification, microwave.

Волокнонаполненные армированные стержни из реактопластов формовали способом пултрузии. Данный способ обладает высокой производительностью, обеспечивает высокую прочность и однородность изделий. Пултрузию применяют для получения армированных длинными нитями погонных изделий (трубы, стержни) из невысоконаполненных материалов с содержанием наполнителя менее 90% [4].

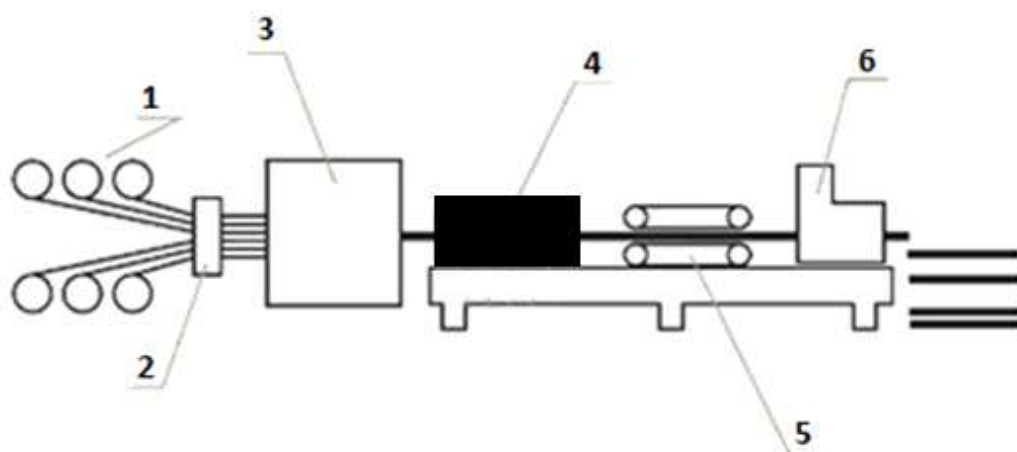


Рис. 1. Принципиальная схема пултрузионной установки для исследования способов физической модификации армированных реактопластов: 1 - система для подачи волокна; 2 - ванна для совмещения связующего и наполнителя; 3 - устройство для физической обработки препрега; 4 - формующая головка; 5 - тянущее устройство; 6 - отрезная машина

Ранее были проведены исследования по изучению влияния других физических обработок препрегов при формовании стержней [2]. В этой работе способом пултрузии получены высокопрочные полимерные стержни при использовании в качестве связующего смеси эпоксидной смолы ЭД-20 с отвердителем холодного отверждения полиэтиленполиамин (ПЭПА), однако использование ПЭПА в реальном непрерывной производстве не технологично. В данной работе применили смесь эпоксидной смолы ЭД-20 с ангидридным отвердителем горячего отверждения. В качестве армирующих наполнителей использовали стеклянную техническую нить и нить капрон.

Обработка электромагнитными колебаниями СВЧ относится к физическим методам модификации полимерных композиционных материалов (ПКМ). Применение излучений СВЧ в электротехнологических процессах (микроволновые технологии) и для модификации материалов является одним из основных направлений современной технологии [1].

Принципиальное отличие данной работы от известных состоит в том, что обработку СВЧ-излучением обычно применяют для перевода материала в вязкотекучее состояние в процессе формования изделий. В данной работе применяли кратковременную обработку препрега СВЧ-излучением без перевода твердофазных компонентов в вязкотекучее состояние.

В качестве физической модификации применялась СВЧ-обработка препрега. Такая обработка является экономичным приемом для регулирования свойств получаемых изделий.

Преимуществом СВЧ-излучения является его более высокая проникающая способность - это излучение влияет на весь объем материала.

Под влиянием СВЧ-колебаний, как и при нагревании, повышается подвижность структурных элементов полимера, то есть по существу такие воздействия эквивалентны повышению температуры [5].

Для получения полимерной арматуры потребовалось подобрать оптимальное содержание нитей, температурный режим, линейную скорость, мощность и продолжительность обработки.

Оптимальное количество нитей для получения стержней заданного диаметра зависит от толщины используемых нитей: количество нитей растет с уменьшением толщины нитей. От количества нитей зависит содержание связующего в образцах, в данной работе оно составляло 35-45% масс.

Формование и отверждение образцов проводили при повышенных температурах ниже температуры размягчения и плавления армирующих нитей.

Линейная скорость была определена как отношение длины формирующей головки к оптимальной продолжительности отверждения. Оптимальная продолжительность определяется временем, необходимым для равномерного прогрева формируемого образца.

Образцы формовали из необработанного препрега и препрега, обработанного при различной мощности источника излучения. Оптимальная мощность источника обеспечивает значительное упрочнение без разрушения волокнистой структуры нитей. Мощность обработки варьировали от 0 до оптимального значения в диапазоне устройства СВЧ. Повышение мощности выше оптимальной приводило к тому, что препрег отверждался непосредственно в камере обработки, а при недостаточной мощности источника СВЧ-обработка слабо влияла на характеристики получаемого материала.

Оптимальная продолжительность обработки препрега обеспечивает равномерный прогрев препрега без изменения агрегатного состояния нитей и увеличение прочностных характеристик получаемых изделий при повышении температуры обработки. При продолжительности меньше оптимальной происходит незначительное улучшение характеристик и недостаточный прогрев, а при продолжительности больше оптимальной происходит преждевременное отверждение связующего.

Обработка параметров оптимального технологического режима позволила проанализировать влияние СВЧ на структуру и свойства получаемых ПКМ.

Полученные образцы подвергали испытаниям для определения следующих характеристик:

$\sigma_{и}$  - разрушающее напряжение при статическом изгибе МПа (ГОСТ 4678-71);

$a_{уд}$  - ударная вязкость, кДж/м<sup>2</sup> (ГОСТ 4648-71);

$\sigma_{раст}$  - разрушающее напряжение при растяжении, МПа (ГОСТ 11262-80);

$E_p$  – модуль упругости, МПа (ГОСТ 9550-81).

Таблица 1

Влияние СВЧ-обработки на прочностные характеристики ПКМ

Мощность, Вт	Наполнитель	$a_{уд}$ , кДж/м <sup>2</sup>	$\Delta a_{уд}$	$\sigma_{изг}$ , МПа	$\Delta \sigma_{изг}$	$\sigma_{раст}$ , МПа	$\Delta \sigma_{раст}$	$E_p$ , МПа	$\Delta E_p$
0	Капрон	139	-	167	-	95	-	9460	-
180	СН	223	-	262	-	196	-	16350	-
	Капрон	124	-0,11	187	+0,11	109	+0,13	10700	+0,17
300	СН	210	-0,05	287	+0,10	206	+0,05	17700	+0,08
	Капрон	121	-0,13	198	+0,16	114	+0,17	12550	+0,25
	СН	200	-0,11	301	+0,15	220	+0,12	19880	+0,21

Значения, приведённые в таблице 1, показали, что предварительная кратковременная обработка препрегов СВЧ-излучением привела:

- к понижению ударной вязкости на 5-11% для ПКМ, армированных стеклянными нитями, и понижению на 11-13% для ПКМ, армированных капроновыми нитями;

- к повышению разрушающего напряжения при статическом изгибе на 10-15% для ПКМ, армированных стеклянными нитями, и повышению на 11-16% для ПКМ, армированных капроновыми нитями;

- к повышению разрушающего напряжения при растяжении на 5-12% для ПКМ, армированных стеклянными нитями, и на 13-17% для ПКМ, армированных капроновыми нитями;

- к повышению модуля упругости на 8-21% для ПКМ, армированных стеклянными нитями, и на 17-21% для ПКМ, армированных капроновыми нитями;

по сравнению с образцами, не подвергнутыми обработке, при этом эффект влияния обработки усиливается с увеличением мощности источника излучения. Продолжительность не может быть меньше 2-3 минут, так как при меньшей продолжительности не достигается равномерный прогрев материала. Дальнейшее увеличение мощности источника более 300 Вт вызывает преждевременное отверждение препрега.

Анализ таблицы 1 показал, что все наблюдаемые эффекты изменения прочностных характеристик с вероятностью 95% превышают максимальные абсолютные погрешности. Наблюдаемые эффекты значительно выше абсолютных погрешностей, то есть является надёжными результатами.

Две главные рассмотренные прочностные характеристики -  $a_{уд}$  и  $\sigma_{изг}$  – для сетчатых полимеров являются структурными антиподами: при сокращении средней массы межузловых цепей в процессе отверждения  $a_{уд}$  сокращается, а  $\sigma_{изг}$  возрастает. Наблюдаемое в результатах эксперимента понижение  $a_{уд}$  и повышение  $\sigma_{изг}$  после обработки СВЧ говорит о том, что обработка

СВЧ вызывает дополнительное структурирование материала. Таким образом, волновая СВЧ-обработка влияет на конкуренцию процессов сшивания и линейного роста макроцепей при отверждении в сторону ускорения процесса сшивания в отличие от волновой обработки УФ, которая приводит к преимущественному увеличению ударной вязкости армированных материалов, то есть способствует усилению направления линейного роста макроцепей [3].

Возрастание модуля упругости образцов ПКМ в результате кратковременной предварительной обработки препрега СВЧ-излучением свидетельствует об увеличении степени сшивания связующего, то есть о сокращении средней массы межузловых цепей. Наибольшее увеличение модуля упругости происходит у материала с капроном.

Упрочнение материала с капроном вследствие обработки СВЧ-излучением обусловлено не только влиянием СВЧ на частоту сшивки связующего. После применяемой обработки возрастает прочность капроновых нитей вследствие образования в поликапроамиде дополнительного количества водородных связей.

### **Выводы**

Существуют три возможные причины упрочняющего влияния обработки препрега СВЧ-излучением:

- дополнительное сшивание макроцепей полимерной матрицы;
- упрочняющее влияние СВЧ на армирующие нити;
- усиление адгезии между связующим и наполнителем.

### **Список литературы**

1. Архангельский Ю.С. Сверхвысокочастотная электротехнология. Саратовская школа электротехнологов // Вестник СГТУ. - 2011. - № 4. – Вып. 3. - 243 с.
2. Ибаев М.О., Студенцов В.Н., Черемухина И.В. Совершенствование технологии полимерной арматуры из реактопластов с применением постоянного электрического поля // Дизайн. Материал. Технология. – 2012. - № 5 (25). - С. 133-135.
3. Мурадов А.Б., Черемухина И.В., Студенцов В.Н., Кузнецов В.А. Применение ультрафиолетового излучения в технологии армированных реактопластов // Вестник СГТУ. – 2007. - № 1. - Вып. 3. - С. 57-62.
4. Справочник по композиционным материалам / под ред. Дж. Любина, Б.Э. Геллера. - М. : Машиностроение, 1988. - Кн. 1. - 448 с.; Кн. 2. - 580 с. - ISBN 5-217-00224-7.

5. Студенцов В.Н., Пятаев И.В. Влияние колебательных воздействий на процессы структурообразования в полимерах // Журнал прикладной химии. - 2014. - Т. 87. - Вып. 3. - С. 389-392.

**Рецензенты:**

Арзамасцев С.В., д.т.н., профессор, декан технологического факультета Энгельского технологического института, г. Энгельс;

Клинаев Ю.В., д.ф.-м.н., профессор кафедры технической физики и информационных технологий, г. Энгельс.