

Еренков О.Ю., Никишечкин В.Л.
O.Yu. Erenkov, V.L. Nikishechkin

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЛИЯНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ
ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СВЯЗУЮЩЕГО НА ПРОЧНОСТНЫЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ПКМ**

**RESEARCH OF THE INFLUENCE OF ELECTRO-PHYSICAL PRE-TREATMENT
OF POLYMER BINDER ON STRENGTH PROPERTIES OF POLYMER COMPOSITES**



Еренков Олег Юрьевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Химическая технология и биотехнология» Тихоокеанского государственного университета, (г. Хабаровск, Россия). E-mail: erenkov@list.ru, тел. 89141912409, адрес для корреспонденции: 680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136.

Mr.Oleg Yu.Erenkov – PhD in Engineering, Professor, Head of the Chemical Technology Department of the Pacific State University (city of Khabarovsk, Russia). E-mail: erenkov@list.ru, tel. 89141912409, mailing address: 680035, Khabarovsk, Tikhookeanskaya street, 136.



Никишечкин Вячеслав Леонидович – главный технолог ОАО Дальневосточный завод энергетического машиностроения (г. Хабаровск). E-mail: tehnikenerg@mail.ru, тел. (4212) 38-15-15, адрес для корреспонденции: 680013, Хабаровск, ул. Ленинградская, 28.

Mr.Vaycheslav N.Leonidovich – Chief Technology Specialist of OAS «Dalenergomash» (city of Khabarovsk, Russia). E-mail: tehnikenerg@mail.ru, (4212) 38-15-15, mailing address: 680013, Khabarovsk, Leningradskaya street, 28.

Аннотация: В статье представлены результаты экспериментальных исследований влияния предварительной электрофизической обработки полимерного связующего на механические свойства полимерного композитного материала. Приведено описание экспериментальной установки.

Summary: The article presents the results of experimental investigation of the influence electro physical pre-treatment of plastic binder exerts on mechanical properties of polymer composite material. The design of experimental apparatus is also given.

Ключевые слова: полимерные материалы, связующее, электрофизическая обработка, механические свойства.

Keywords: polymer material, plastic binder, electro physical treatment, mechanical properties.

УДК 621.002.3

Интенсивное развитие техники сопровождается все более широким использованием полимерных композитных материалов (ПКМ) в различных отраслях (авиакосмические конструкции, ракетостроение, автомобилестроение, электротехника и электроника, строительство, медицина и др.), в связи с чем возрастают требования к данным материалам. В настоящее время имеется насущная необходимость обеспечения предельно возможных значений показателей свойств материалов (упругопрочностных, диэлектрических, трещиностойкости и др.) [5], так как эффективность применения конструкционных полимерных материалов определяется их механическими свойствами [1].

В литературе наибольшее внимание уделяется изучению адгезии между матрицей и наполнителем и взаимодействию на межфазной границе. Физико-химические процессы, протекающие при формировании структуры материала и ее изменении при эксплуатации, изуче-

ны в значительно меньшей степени, хотя их влияние на свойства пластиков очень велико. В частности, со структурными изменениями связано влияние на свойства пластиков технологии их изготовления [9].

Наиболее эффективным, с точки зрения получения качественного конструкционного ПКМ, является метод вакуумно-компрессионной пропитки (RTM). При изготовлении деталей наиболее нагруженных узлов энергетических машин, таких как рабочие лопатки, диски и т.д., требуется соблюдение условия обеспечения равнопрочности по всей структуре, которое не всегда выполняется при использовании данного метода ввиду различных причин: несоблюдения технологических требований и нестабильности свойств полимерных связующих.

Общеизвестно, что некоторые виды электрофизического воздействия влияют на улучшение технологических и механических свойств полимерных материалов на стадии подготовки и в процессе изготовления. Однако ввиду нестабильности свойств самих полимерных материалов режимы данной обработки и соответствующие рекомендации отсутствуют.

Установлено, что взаимодействие излучений высокой энергии с ПКМ приводит к химическим изменениям – сшиванию или деструкции [2, 6]. Сшивание характеризуется образованием химических связей между макромолекулами, дополимеризацией, газовыделением, окислительной деструкцией, образованием двойных связей. При этом наблюдается изменение как физических свойств – вязкости, снижение степени растворимости, светопрозрачности, электропроводности и т.п., так и механических – прочности, жесткости, деформируемости и др. Результатом сшивания являются увеличение твердости, прочности, модуля упругости; повышение температуры плавления; уменьшение растворимости; удлинение при разрыве. При преобладании в материале деструктивных процессов наблюдается уменьшение модуля упругости, твердости и прочности на разрыв, снижение температуры текучести, повышение растворимости, а иногда и появление хрупкости.

Изменение свойств полимеров зависит также от вида и количества наполнителя, наличия пластификаторов, ингибиторов, антиоксидантов, различных примесей, а также от действия внешних электромагнитных полей.

В то же время известна лишь одна работа, посвященная взаимодействию электромагнитного поля с веществом, - это работа Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшица в классическом труде «Электродинамика сплошных сред» [3]. Лишь сравнительно недавно стало известно, что на поверхностях и границах раздела сред существуют поля поверхностных электромагнитных волн – поверхностных поляритонов (ПП), имеющих вполне определенные структурные и амплитудные характеристики. Структуры пограничного слоя запасают электромагнитную реактивную энергию в виде колебаний с соответствующими частотами. Естественно, что структуры обладают резонансными свойствами. Электромагнитная энергия поступает в пограничную среду и за счет внешних электромагнитных полей, внешних излучений. ПП образуют внутренние поверхностные электромагнитные поля (ПЭМП) [4].

В работах Гертца, Фарадея, Максвелла, И.А. Янковского., Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшица, а также П.Н. Лебедева установлено влияние пондеромоторных сил (обусловленных электродинамическими взаимодействиями переменных электрических токов в молекулах или переменных зарядов в них) на движение расплавов металлов и сплавов, определяющее кинетику их кристаллизации. Исследование влияния магнитогидродинамических сил (МГД) на изменение структуры металлов и принципиальная схема аппарата управления электромагнитным перемешиванием (ЭМП) приведены в работе В.П. Черныша [8]. Регулируемое перемешивание расплава сварочной ванны электромагнитными силами от внешнего магнитного поля создают принципиально новые возможности для управления формированием и кристаллизацией сварного шва и определяемыми ими показателями качества сварных соединений.

Влияние продолжительности облучения жидкой фазы расплавов наносекундными электромагнитными импульсами (НЭМИ) на их строение, процессы кристаллизации и структурообразования, физико-механические и эксплуатационные свойства сплавов на основе ме-

Еренков О.Ю., Никишечкин В.Л.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЛИЯНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СВЯЗУЮЩЕГО НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПКМ

ди, алюминия, магния и железа представлены в работе [7]. Рассматриваются поля с импульсной мощностью около 1 МВт и длительностью импульса – 1 нс, при этом напряженность электрического поля достигает 10^5 - 10^7 В/м. Приведены гипотезы влияния НЭМИ на строение расплавов, фазовые и структурные превращения и свойства металлических сплавов.

Характерной особенностью наносекундных электромагнитных импульсов является их однополярность, что приводит к отсутствию осциллирующих колебаний в излучаемом поле. Следствием этого выступает наличие пространственно-временного направленного действия силы за время одного импульса, создающего условия для воздействия на структуру и физико-химические свойства вещества.

На основании вышеизложенного и предположения о том, что воздействие НЭМИ и ЭМП (запасая реактивную электромагнитную энергию как потенциальную, непосредственно преобразующуюся в механическую) влияет на структуру расплавов, изменяя их механические свойства, задача исследования прочностных свойств ПКМ, в зависимости от параметров предварительного электрофизического воздействия на полимерное связующее, является актуальной.

Цель работы – экспериментальное исследование изменения механических свойств полимерного материала в зависимости от продолжительности совместного воздействия НЭМИ и ЭМП на связующее.

Так как исследования по совместной электрофизической обработке проводятся впервые, то при проведении эксперимента учитываются такие факторы, которые на основании анализа априорной информации имеют значимое влияние на формирование механических свойств: свойства исходных материалов, характеристики электромагнитного поля, характеристики электромагнитных импульсов, время обработки. При проведении экспериментов использовались следующие режимы электромагнитного воздействия: НЭМИ – длительность импульса 1 нс, амплитуда более 8 кВ, мощность в одном импульсе более 1 МВт, частота повторения импульсов 1000 Гц; электромагнитное поле – частота колебаний $\nu = 0,5$ Гц (длительность прямого импульса – 0,02 с, реверса – 1,8 с, обратного импульса – 0,02 с). Продолжительность обработки 30 мин.

Определение параметров, характеризующих механические свойства исследуемого материала, проводили на испытательных машинах моделей УММ-20, МК-30А, ТБ 5004. Изготовление образцов проводилось с помощью установки вакуумно-компрессионной пропитки и печи сопротивления для термообработки материала, установленной на ОАО «Дальэнергомаш».

В качестве исследуемых материалов использовались полимерное связующее Этал Т 210 и ПКМ Этал Т 210-Т11-ГВС9 на его основе. В качестве источника НЭМИ применялся специальный генератор ГНИ-01-16, изготовленный Южно-Уральским государственным университетом, и установка ЭМП для возбуждения пондеромоторных сил, изготовленная на ОАО «Дальэнергомаш».

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1, а полученные экспериментальные данные представлены на рис. 2, 3, 4 и 5.

Анализ полученных данных позволяет заключить, что совместная обработка НЭМИ и ЭМП полимерного связующего позволяет повысить качество готового ПКМ, о чем свидетельствуют значения механических характеристик материала. При этом вполне очевидно, что оптимальная продолжительность обработки составляет 30 мин.

Этал Т 210-Т11-ГВС9 – это отвержденный реактопласт, обладающий жесткой пространственной структурой. Воздействие мощных электронных импульсов в сочетании с механическим перемешиванием под воздействием пондеромоторных сил электромагнитного поля приводит к перестройке между макромолекулами, сегментами и звеньями полимерной цепи, образованию дополнительных химических связей, что, предположительно, и приводит к повышению физико-механических свойств материала.

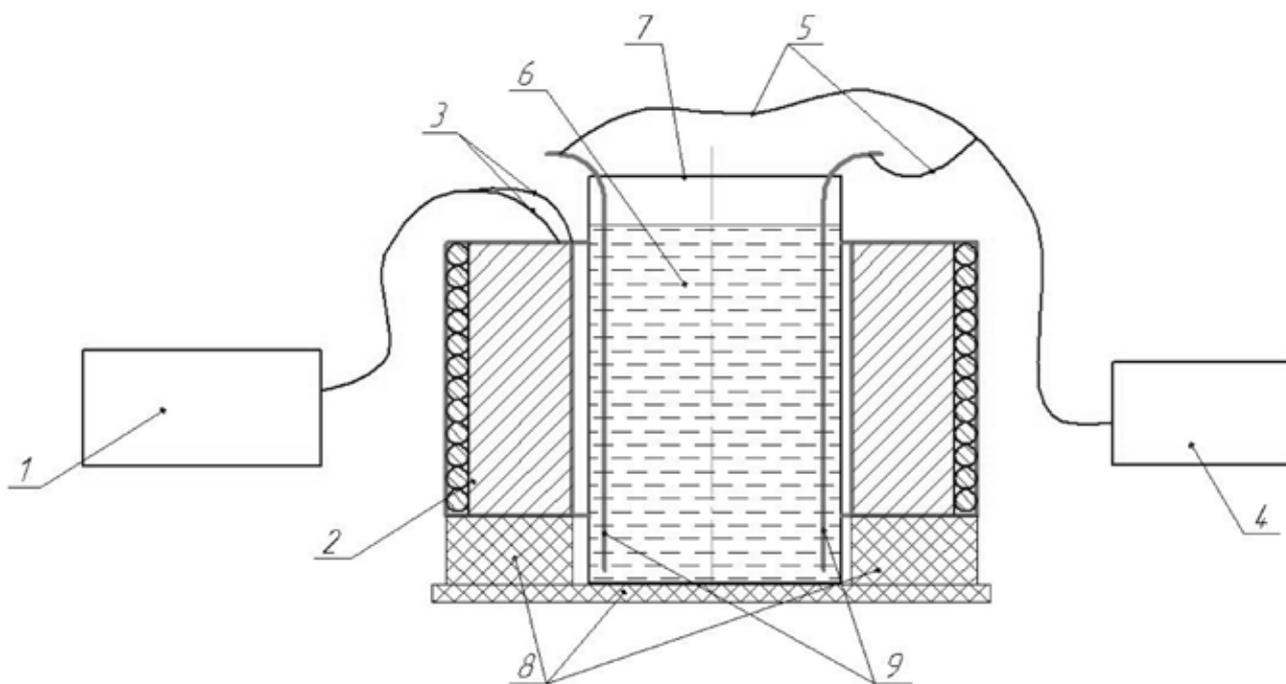


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для совместного воздействия НЭМИ и ЭМП на полимерное связующее: 1 – аппарат управления установки ЭМП; 2 – катушка индуктивности; 3 – электропитание катушки индуктивности; 4 - генератор ГНИ-01-16; 5 – электропитание электродов излучения НЭМИ; 6 – полимерное связующее; 7 – диэлектрическая емкость; 8 – диэлектрические подставки; 9 – электроды излучения НЭМИ

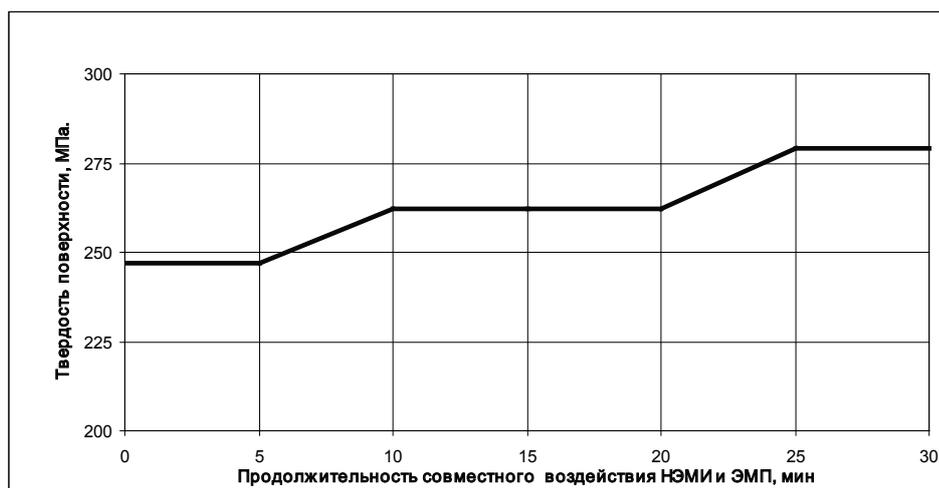


Рис. 2. Твёрдость образцов из полимерного связующего Этал Т 210 в зависимости от продолжительности совместного воздействия НЭМИ и ЭМП

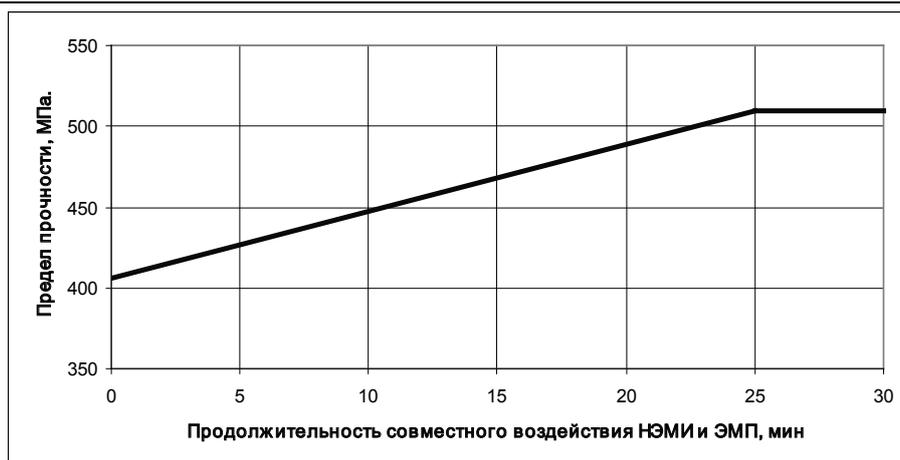


Рис. 3. Предел прочности при растяжении образцов из ПКМ Этал Т 210-Т11-ГВС9 в зависимости от продолжительности совместного воздействия НЭМИ и ЭМП на полимерное связующее

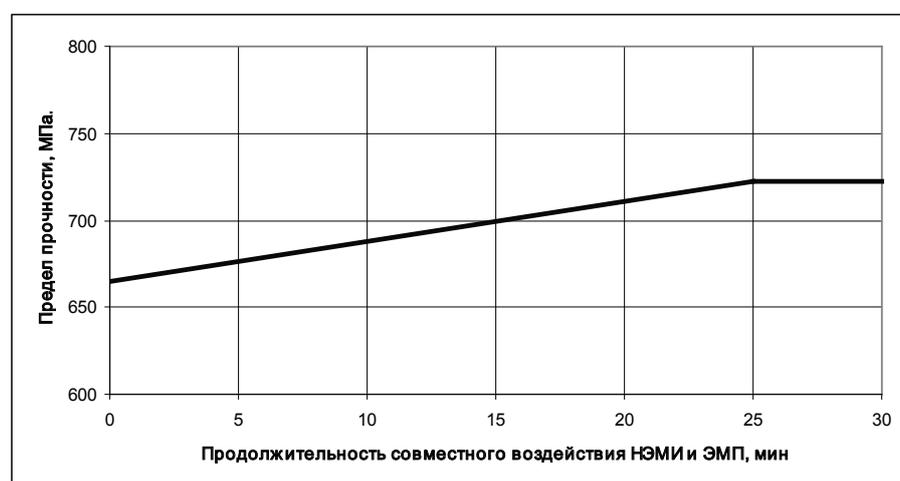


Рис. 4. Предел прочности при статическом изгибе образцов из ПКМ Этал Т 210-Т11-ГВС9 в зависимости от продолжительности совместного воздействия НЭМИ и ЭМП на полимерное связующее

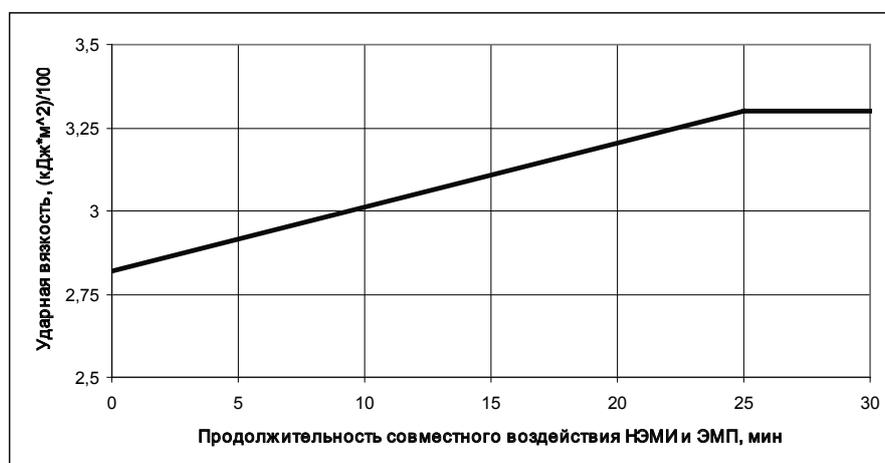


Рис. 5. Ударная вязкость образцов из ПКМ Этал Т 210-Т11-ГВС9 в зависимости от продолжительности совместного воздействия НЭМИ и ЭМП на полимерное связующее

На ОАО «Дальэнергомаш» был спроектирован ряд машин типа центробежного нагнетателя воздуха (ЦНВ): 60/1.2, 100/1.2 и 200/1.6 с применением в качестве основного материала рабочих колес ПКМ – стеклопластика. Теоретически удельные прочностные характеристики удовлетворяли требованию конструкции для машин со степенью повышения давления 1.2 и 1.6. Машины со степенью повышения давления 1.2 прошли стендовые испытания и были отгружены заказчику. Когда данный материал применили в конструкции колес машин со степенью повышения давления 1.6, то они не прошли испытания на разгонной установке – произошло разрушение на рабочей частоте вращения и штатной нагрузке. Принимая во внимание результаты вышеприведенных на рис. 2, 3, 4, 5 экспериментов, было принято решение применить в конструкции рабочих колес машины ЦНВ 200/1.6 (со степенью повышения давления 1.6) ПКМ с использованием термостойкого связующего Этал50Т -210, предварительно обработанного комбинированным воздействием НЭМИ и ЭМП продолжительностью 25 мин. Изготовленные опытные образцы успешно прошли испытания на разгонной установке с превышением центробежной нагрузки на 25 %.

Из вышеизложенного следует, что воздействие наносекундными электромагнитными импульсами в комбинации с магнитогидродинамическими – пондеромоторными силами электромагнитного поля на полимерные материалы представляет научный и практический интерес.

Основной задачей дальнейших исследований является установление взаимосвязи между параметрами совместного электрофизического воздействия на полимерное связующее и механическими свойствами ПКМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов, С.К. Динамические механические свойства полимерных конструкционных материалов / С.К. Абрамов, А.И. Асотов, Ю.В. Ефремушкин // Пластмассы. – 1985. - № 2.
2. Карташов, Э.М. Структурно-статистическая кинетика разрушения полимеров / Э.М. Карташов, Б. Цой, В.В. Шевелев. – М.: Химия, 2002. – 736 с.
3. Ландау, Л.Д. Электродинамика сплошных сред / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Физматгиз, 1959. – 532 с.
4. Михайлин, Ю.А. Термоустойчивые полимеры и полимерные материалы на их основе / Ю.А. Михайлин // Полимерные материалы. – 2005. – № 4. – С. 27.
5. Мирлин, Д.Н. Поверхностные поляритоны: Электромагнитные волны на поверхностях и границах раздела сред / Д.Н. Мирлин, Дж. Лагуа, Б. Фишер Б. [и др.]. – М.: Наука, 1985. – 525 с.
6. Огибалов, П.М. Конструкционные полимеры: учеб. пособие для вузов / П.М. Огибалов, Н.И. Малинин, В.П. Нетребко, Б.П. Кишкин. - М.: Изд-во Московского ун-та, 1972. – 428 с. – Т. 1.
7. Ри, Э.Х. Влияние облучения жидкой фазы наносекундными электромагнитными импульсами на ее строение, процессы кристаллизации, структурообразования и свойства литейных сплавов / Э.Х. Ри, Ри Хосен, С.В. Дорофеев, В.И. Якимов. – Владивосток: Дальнаука, 2008. – 177 с.
8. Черныш, В.П. Сварка с электромагнитным перемешиванием / В.П. Черныш, В.Д. Кузнецов, А.Н. Брискман, Г.М. Шеленков. – Киев: Техника, 1983. – 127 с.
9. Чернин, И. З. Эпоксидные полимеры и композиции / И.З. Чернин, Ф.М. Смехов, Ю.В. Жердев. – М.: Химия, 1982. – 208 с.