УДК 621-039-419; 620.22-419; 537.868
DOI: 10.35211/1990-5297-2021-2-249-34-36

И. В. Злобина

**ВЛИЯНИЕ СВЧ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ
НА ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЕ ПОД ВЛИЯНИЕМ ФАКТОРОВ
ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ В ОТВЕРЖДЕННОМ УГЛЕПЛАСТИКЕ***

Саратовский государственный технический университет

им. Ю. А. Гагарина, Россия, г. Саратов

e-mail: Irinka_7@mail.ru

В статье излагаются результаты исследований влияния модифицирования отвержденного углепластика в СВЧ электромагнитном поле на изменение кинетики дефектообразования и прочностных характеристик под действием факторов внешней среды, показавшие увеличение предельных напряжений межслоевого сдвига образцов после экспозиции в натуральных условиях на 16,5 % по сравнению с контрольными.

Ключевые слова: внешние климатические факторы, прочность, нагружение, полимерные композиционные материалы, СВЧ электромагнитное поле, дефектообразование, акустическая эмиссия.

I. V. Zlobina

**EFFECT OF THE MICROWAVE ELECTROMAGNETIC FIELD ON DEFECT
FORMATION UNDER THE INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL
FACTORS IN CURED CARBON FIBER**

Yuri Gagarin Saratov state technical University, Russia, Saratov

The article presents the results of researches of influence of modification of the cured CFRP in a microwave electromagnetic field to change the kinetics of defect formation and strength characteristics under the influence of environmental factors, showed the increase of the maximum stresses interlaminar shear specimens after exposure in situ by 16,5% compared with the control.

Keywords: external climatic factors, strength, loading, polymer composite materials, microwave electromagnetic field, defect formation, acoustic emission.

Наряду с преимуществами перед металлами и сплавами широко применяемым в современных технических системах полимерным композиционным материалам (ПКМ) присущ ряд недостатков, а именно – хрупкость, малая ударная вязкость и снижение эксплуатационных свойств под влиянием факторов внешней среды [1–3]. Под действием внешних факторов, прежде всего – поглощенной влаги, в структуре матрицы и межфазном слое (МФС) происходит зарождение микротрещин. В процессе эксплуатационных нагрузок происходит их накопление, рост, слияние и в конечном итоге – исчерпание конструкцией запаса прочности, сопровождающееся расслоением и частичным или полным разрушением. При этом важно определить момент зарождения дефектов в материале для обеспечения надежности и безопасности функционирования изделия. Для изучения кинетики начальной стадии разрушения (дефектообразования) в ПКМ представляет интерес использование анализа

сигналов акустической эмиссии (АЭ) [4, 5]. Одним из методов локального управляющего воздействия на структуру и прочностные свойства конструкций из полимеров и ПКМ является воздействие СВЧ электромагнитного поля [6].

Целью исследований явилось выявление различий в процессах зарождения и развития повреждений в структуре контрольных и подвергнутых СВЧ обработке образцов ПКМ путем сопоставления кривой нагружения, подвергавшихся воздействию факторов внешней среды, до момента разрушения с амплитудными значениями сигналов акустической эмиссии.

В экспериментах использовали образцы углепластика производства ООО «Еврокомплект», г. Калуга в виде плоскопараллельных пластин размерами 70×35×5 мм. СВЧ обработку осуществляли на экспериментальном оборудовании, созданном на базе установки «Жук-2-02» (ООО НПП «АгроЭкоТех», г. Обнинск, Калужской обл.) при частоте 2450 МГц и плотности потока

© Злобина И. В., 2021.

* Исследования выполнены при поддержке гранта Президента РФ для молодых ученых МК-2692.2019.8 «Выявление влияния климатических и временного факторов на проявление и сохранение эффектов микроволнового модифицирующего квазиструктурирования отвержденных полимерных композиционных материалов на примере угле- и стеклопластиков».

энергии $(17-18) \times 10^4$ мкВт/см² в течение 2 минут. Половина партии контрольных и опытных образцов после СВЧ обработки находились под действием факторов внешней среды в условиях г. Саратова в период с 02.11.2019 г. по 02.07.2020 г. При помощи комплекса оборудования в составе датчиков акустической эмиссии ZET – 601, ZET – 7140E, ZET – 7191, ZET – 7174 производства ЗАО «Электронные техно-

логии и метрологические системы» (г. Зеленоград Московской обл.) выполнены исследования кинетики и характеристик процессов деформирования в ПКМ. Испытания проводили по стандартной (ГОСТ 32659-2014) схеме межслоевого сдвига с использованием гидравлического цифрового пресса C040N (рис. 1), позволяющего фиксировать изменение нагрузки с дискретностью 0,05 с.

а

б

Рис. 1. Процесс испытаний на прессе C040N. Общий вид с комплектом аппаратуры (а). Рабочая зона (б)

На основе регистрации массивов спектров сигналов акустической эмиссии фиксировали моменты времени возникновения исторических событий, соответствующих образованию дефектов, и определяли среднее значение амплитуды и энергии сигнала, а также число превышений его порогового уровня.

Результаты испытаний образцов пред-

ставлены в таблице и на рис. 2.

Видно, что воздействие факторов внешней среды вызывает снижение предельных напряжений в опытных образцах в среднем на 19,6 %, в опытных – на 12,3 %. Соответственно прочность опытных образцов по напряжениям межслоевого сдвига после экспозиции на 16,5 % превышает аналогичный параметр контрольных.

Изменения предельных напряжений межслоевого сдвига

Состояние	Исходное		После экспозиции	
Образец	Контрольный	Опытный	Контрольный	Опытный
σ, МПа	699,26	746,65	561,97	654,66

Рис. 2. Кривые нагружения контрольного (1) и опытного (2) образцов после экспозиции в течение 8 месяцев. Точками показаны амплитудные значения сигналов акустической эмиссии

Отмечено, что первые АЭ сигналы значительной амплитуды фиксируются в начальный момент нагружения через (0,8–1) с. При этом амплитуда сигнала, снятого с контрольного образца, выше, чем с опытного на 22,5 %, что свидетельствует о большей степени дефектности материала, большем размере дефектов, большем размере элементов кристаллической фазы матрицы и большей неравномерности их размеров [4]. Непосредственно за 2–3 с до начала разрушения контрольного образца фиксируются сигналы значительной величины (в среднем более 560 дБ), соответствующие интенсивному росту первичных трещин с образованием макродефектов и повреждений, приводящих к потере целостности. В опытном образце такие высокоамплитудные сигналы не фиксируются. Примерно на первой секунде количество превышений порогового уровня АЭ сигнала достигает 500 у контрольного и 250 у опытного образца. Далее у контрольного образца отмечается максимальное значение числа превышений за 6–7 с, у опытного – за 2–3 с до разрушающего повреждения. То есть, при нагружении контрольного образца образование макродефектов начинается существенно раньше собственно разрушения образца, что повышает вероятность ранней потери несущей способности и снижает надежность конструкции. В случае опытного образца можно предположить длительное сохранение устойчивости и надежности конструкции.

Следовательно, структура модифицированных в СВЧ электромагнитном поле ПКМ после экспозиции в натуральных условиях оказывается менее дефектной и более устойчивой к действию силовых факторов, а финишная СВЧ обработка изделий из углепластика может быть предложена в качестве технологического метода повышения устойчивости ПКМ к воздействию факторов внешней среды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дориомедов, М. С. Российский и мировой рынок полимерных композитов (обзор) / М. С. Дориомедов // Труды ВИАМ, № 6–7 (89), 2020. – С. 29–37.
2. Каблов, Е. Н. Материалы и химические технологии для авиационной техники / Е. Н. Каблов // Вестник Российской академии наук. – 2012. – Т. 82. – № 6. – С. 520–530.
3. Кириллов, В. Н. Исследование влияния климатических факторов и механического нагружения на структуру и механические свойства ПКМ / В. Н. Кириллов, В. А. Ефимов, А. К. Шведкова и др. // Авиационные материалы и технологии, № 4, 2011. – С. 41–45.
4. Буйло, С. И. Физико-механические, статистические и химические аспекты акустико-эмиссионной диагностики : монография / С. И. Буйло ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону: Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2017. – 184 с.
5. Финогенов, Г. Н. Акустико-эмиссионный метод оценки повреждаемости полимерных композитных материалов / Г. Н. Финогенов, Е. Г. Риттер, А. Г. Мухутдинов и др. // Заводская лаборатория. – № 12, 1995.
6. Архангельский, Ю. С. Справочная книга по СВЧ-электротермии : справочник / Ю. С. Архангельский. – Саратов : Научная книга, 2011. – 560 с.