

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАНОКЛАСТЕРОВ И ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ ПОЛИИМИДА

Н.А. Воронова¹, А.И. Купчишин^{1,2}, Б.Г. Таипова¹, А.Т. Тулегенова¹,
В.И. Кирдяшкин¹, Л.М. Беркин¹

¹ Казахский Национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан

² Казахский Национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

E-mail: ankupchishin@mail.ru

Изучение поведения композитных материалов в экстремальных условиях при воздействии ионизирующего излучения, температурных полей, механических нагрузок и других внешних воздействий является актуальной задачей, которая создает основы для разработки новых радиационных технологий [1]. Перспективными методами модификации материалов являются введение нанонаполнителей и воздействие ионизирующего излучения, что приводит к улучшенным эксплуатационным свойствам материала [2].

Методика эксперимента. Методом механического смешения нами были получены композиты на основе лаков полиимида (ПИ) и полиэтилентерефталата (ПЭТФ), полиимида и монтмориллонита (ММ). Для композита с ПЭТФ наполнителем концентрации составили 0,5; 2 и 5 мас. %, для ММ – 0,25; 0,5 и 1 мас. %. Образцы представляли собой полоски шириной 5 мм, рабочей длиной 50 мм и толщиной 40 – 85 мкм. Максимальные разрывные напряжения композитов были определены предварительно. Облучение производилось на воздухе на ускорителе электронов типа ЭЛУ-6 при 20 °С с энергией 4 МэВ, плотностью тока 0,5 мкА/с. Одноосное растяжение исследуемых образцов производилось на компьютеризированной разрывной машине типа РМУ-0,05-1 со скоростью раздвижения зажимов 36,09 ± 0,05 мм/мин. при постоянной нагрузке и температуре 20 ± 2 °С, относительной влажности воздуха (45 ± 5) %, перемещении захвата 0,1 мм.

Результаты и их обсуждение. На рисунке 1а представлены зависимости относительного удлинения от напряжения для композитов на основе полиимида. Видно, что введение 0,5 мас. % ПЭТФ приводит к увеличению пластичности в 2 раза и прочности на 38 %, тогда как введение ММ увеличивает относительное удлинение на 18 % и уменьшает прочность на 22 %. Как показывают эксперименты, рост концентрации лавсана до 5 масс. % в ПИ приводит к росту относительного удлинения в 6 раз, а разрывного напряжения – в 1,5 раза по сравнению с исходным полиимидом. Улучшение механических свойств композитных материалов с наполнителем из ПЭТФ связано с тем, что при перемешивании лаков полиимида с полиэтилентерефталатом наполнитель заполняет поры в матрице, и тем самым фиксирует макромолекулы лавсана и полиимида (размерами в несколько нм), т.е. происходит структурирование цепей полиимида пластичным каркасом полиэтилентерефталата.

На рисунке 1б представлен сравнительный анализ зависимостей ϵ от σ для композитов с лавсаном и монтмориллонитом. Для описания физико-механических свойств ранее нами предложены модели катастрофического разрушения материала [2]. Сравнение кривых рисунка 1б показывает, что экспериментальные зависимости ϵ от σ для необлученных и облученных композитных материалов для разных концентраций второго компонента, неплохо описываются экспоненциальной моделью. Электронное облучение композиции с 5 масс. % ПЭТФ приводит к росту пластичности в 3,8 раза и увеличению прочности на 36 %. Воздействие электронного облучения ведет к преобладанию процессов сшивания, приводящего к структурированию наночастиц полиимида с нанокаркасом полиэтилентерефталата. Это улучшает механические свойства композитного материала. У композитных материалов с ММ-наполнителем характерно незначительное повышение прочности с ростом концентрации (С) до 0,2 мас. %. Дальнейшее увеличение С приводит к падению σ на 30 % по сравнению с полиимидом. В то же время введение в полиимид ММ-наполнителя до 0,25 мас. % ведет к резкому росту пластичности (в 2 раза), а последующее увеличение концентрации наполнителя до 1 мас. % увеличивает его пластичность на 18 % по сравнению с чистым полиимидом.

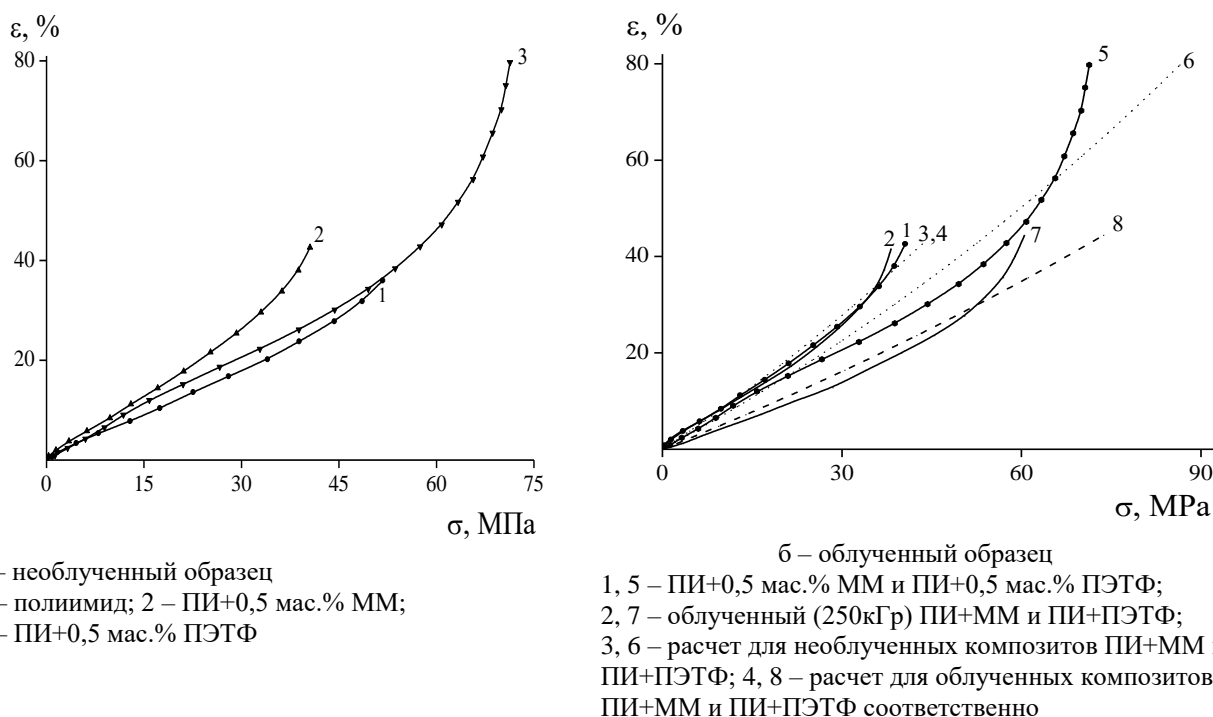


Рис.1. Зависимость относительного удлинения от нагрузки для композита на основе полиимида

Установлено, что композитному материалу ПИ+ММ как для необлученного, так и электронно-облученного материала дозой 250 кГр, свойственно резкое возрастание пластичности и прочности при концентрации 0,25 мас. % наполнителя. Электронное облучение вызывает резкое возрастание пластичности: в 2 раза по сравнению с облученным чистым полиимидом, а по сравнению с необлученным чистым полиимидом это возрастание составляет ~ 18 %. Это связано с содержанием межслоевой воды в наполнителе и технологией приготовления КМ (перемешивание компонентов при 170 °С). Такая операция способствует выделению радикала -НОН- из наполнителя в матрицу и ведет к процессу сшивания радикала с макромолекулами полиимида. Наполнитель с концентрацией ~ 0,25 мас.% в этом случае выделяет малое количество радикала, которое успевает полностью прореагировать с макромолекулами полиимида, вызывая их сшивку. Уменьшение прочности материала связано с гидролитической деструкцией материала.

Заключение. Электронное облучение композиции с 5 масс. % ПЭТФ приводит к росту пластичности в 3,8 раза и увеличению прочности на 36 %, что связано с преобладанием процессов сшивания цепей полиимида с макромолекулами лавсана, а композита с ММ-наполнителем – к возрастанию пластичности, что связано с содержанием межслоевой воды в наполнителе и выделению радикала -НОН- из наполнителя в матрицу, что ведет к процессу сшивания радикала с макромолекулами полиимида и затем к гидролитической деструкции материала. Предложены различные модели при одноосном нагружении материалов. Наилучшее согласие с экспериментом дает экспоненциальная модель.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Под ред. Вильдемана В.Э. Экспериментальные исследования свойств материалов при сложных термомеханических воздействиях. – М.: Физматлит, 2012. – 203 с.
2. Kupchishin A.I., Taipova B.G., Kupchishin A.A., Voronova N.A., Kirdyashkin V.I., Fursa T.V. Catastrophic models of materials destruction// IOP Conf. Series: Material Science and Engineering. 110. 012037. – 2016. – P. 1 – 5.