

$$q \equiv q(t) = k\tau_f(T)\omega(t)r, \quad r \leq b(t),$$

где t — время; r — радиальная переменная; ω — угловая скорость вращения; $k \in (0,1]$ — коэффициент распределения тепловых потоков в материалах трущейся пары [4, 5]; $\tau_f(T)$ — напряжение трения, линейно убывающее с ростом температуры T [5].

Таким образом, выведена тепловая задача для случая термоконтакта двух поверхностей в процессе вращения. Предполагается решение данной задачи численными методами. Результаты теоретических выкладок будут использованы для исследования свойств температурного поля в пространстве при трении вращения с постоянной угловой скоростью, а также свойств покрытий материалов, изменяющихся под действием температуры в следствие нагрева трением. В уравнении учтены свойства материалов и изменение температуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аттетков А.В., Волков И.К., Тверская Е.С. Температурное поле изотропного полупространства, подверженного локальному фрикционному нагреву в режиме трения вращения // Вестник МГТУ им. Баумана. Сер. «Машиностроение». – 2006. – №2. – С. 35-44.
2. Лыков А. В. Теория теплопроводности. – М.: Высш. шк., 1967. – 600 с.
3. Коровчинский М.В. Основы теории термического контакта при локальном трении // Вопросы трения и проблемы смазки: сб. статей. – М.: Наука, 1968. – с. 5-72.
4. Евтушенко А.А., Иваник Е.Г. Термонапряженное состояние по локальном термическом контакте при трении вращения // Инженерно-физический журнал. – 1996. – Т.69, №1. – с.72-78.
5. Аттетков А.В., Волков И.К. Фрикционный разогрев материала движущимся тепловым источником // Химическая физика. – 1998. – Т.17, №1. – с. 120-127.
6. Ладыженская О.А., Солонников В.А., Уралцева Н.Н. Линейные и квазилинейные уравнения параболического типа. – М.: Наука, 1967. – 736 с.

ВЛИЯНИЕ НАНОДИСПЕРСНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОНАМИ

Пронина А.Е.

Научный руководитель: Назаренко О.Б., профессор, к.т.н.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: prosha_evgenovna@mail.ru

EFFECT OF NANOSIZED FILLER ON MECHANICAL PROPERTIES OF EPOXY COMPOSITES AFTER ELECTRON IRRADIATION

Pronina A.E.

Scientific Supervisor: Prof., Ph.D. Nazarenko O.B.

Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: prosha_evgenovna@mail.ru

Введение нанодисперсных наполнителей в полимеры является перспективным способом получения материалов с улучшенными характеристиками и может способствовать повышению радиационной

стойкости. В данной работе приготовлены образцы из эпоксидной смолы без наполнителя и с наполнителем – нанодисперсным алюминием (0,35 мас. %). Изучены механические характеристики образцов после облучения потоком электронов дозами 30, 100 и 300 кГр. Введение нанопорошка алюминия в эпоксидную смолу привело к повышению устойчивости полимера к радиационному воздействию.

The introduction of nanosized fillers in polymers is a promising way to obtain materials with improved properties and can enhance the radiation resistance. In this study, the samples were prepared from the epoxy resin without filler and filled with nanodispersed aluminum (0.35 wt.%). The mechanical characteristics of the samples after irradiation with an electron beam of doses 30, 100 and 300 kGy were studied. The introduction of aluminum nanopowder in epoxy resin resulted in increased resistance to radiation.

Полимерные композиционные материалы находят широкое применение в аэрокосмической отрасли при создании конструктивных элементов космических аппаратов, для крепления экранно-вакуумной теплоизоляции, в качестве заливочных компаундов, клеев. В частности, клеевые системы на основе эпоксидных смол используются для крепления теплозащитных неметаллических материалов, приборного оборудования, при монтаже фотоэлектрических элементов космических станций и спутников [1]. Этому способствуют такие свойства эпоксидных смол как высокая адгезионная способность, возможность соединения разнородных материалов, хорошие механические характеристики, стойкость к действию высоких и низких температур, различных видов ионизирующих излучений, химическая стойкость [2].

В условиях космических полетов материалы и конструктивные элементы космических аппаратов подвергаются воздействию потоков электронов и ионов высокой энергии, космической плазмы, солнечного электромагнитного излучения, твердых частиц естественного и искусственного происхождения, перепада температур от -196 до 200 °С [3, 4]. Под воздействием высокоэнергетических ионизирующих излучений полимерные материалы становятся хрупкими и ухудшают свои эксплуатационные характеристики. Поэтому проблема повышения механических характеристик полимерных материалов, устойчивых к действию радиации в условиях космического пространства, является актуальной.

Перспективным способом получения полимерных материалов с улучшенными характеристиками является использование нанодисперсных наполнителей, при введении которых в полимерную матрицу происходит модифицирование структуры и свойств материала [4–6]. Для разработки радиационно-стойких полимерных композитов необходимо провести детальное исследование влияния нанодисперсных наполнителей на свойства полимеров.

Целью данной работы являлось исследование механических свойств полимерных материалов на основе эпоксидной смолы и нанодисперсного порошка алюминия после воздействия на них высокоэнергетических пучков быстрых электронов.

Образцы для исследования были изготовлены из эпоксидной смолы ЭД-20, отвержденной с помощью полиэтиленполиамиона (образец Е0). В качестве наполнителя использовали нанопорошок алюминия, полученный методом электрического взрыва проводников [7]. Концентрация наполнителя составляла 0,35 мас. % (образец ЕА0.35). Полимерные образцы имели следующие размеры: длина 80 мм, ширина 10 мм, толщина 4 мм. Облучение образцов проводилось пучком ускоренных электронов на установке ЭЛУ-4 Института неразрушающего контроля ТПУ дозами 30, 100, 300 кГр при нормальной температуре (293 К). Мощность поглощенной дозы составляла 42,5 Гр/с. Для набора статистики проводились испытания трех образцов при каждой дозе. Механические испытания на статическое растяжение проводили с помощью универсальной испытательной машины Н50КТ (Tinius Olsen). По результатам механических испытаний определяли предел прочности на растяжение, модуль упругости и относительное удлинение после разрыва.

При облучении электронами образцов ненаполненного эпоксидного полимера Е0 происходит изменение окраски от светло-коричневого до темно-коричневого цвета (рис. 1, а). Менее заметно изменение цвета наполненного образца ЕА0.35, который до облучения в результате введения нанопорошка алюминия имел черный цвет (рис. 1, б).

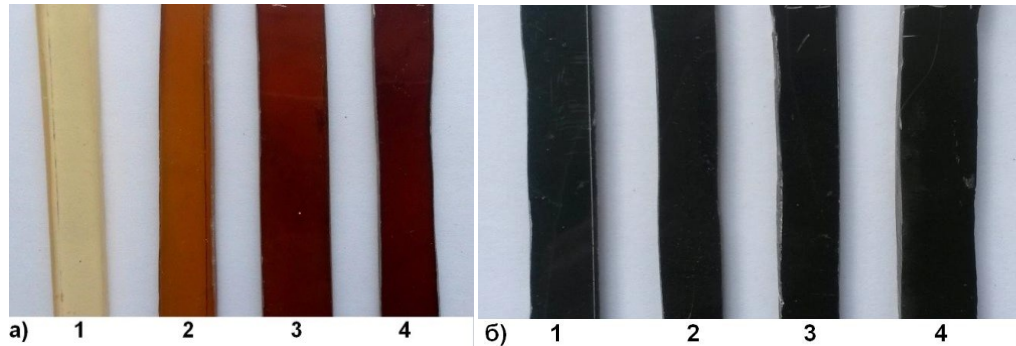


Рис. 1. Образцы эпоксидного полимера Е0 (а) и эпоксидного композита ЕА0.35(б), подвергнутые облучению потоком электронов при дозах: 1 – 0 кГр; 2 – 30 кГр; 3 – 100 кГр; 4 – 300 кГр

Для сравнительной оценки радиационной стойкости исходного эпоксидного полимера и наполненного образца взяли относительные величины предела прочности при растяжении, относительного удлинения при разрыве и модуля упругости. Зависимости механических характеристик полимерных образцов представлены на рис. 2. Критерием радиационной стойкости конструкционных материалов силового назначения, согласно ГОСТ 25645.331–91 «Материалы полимерные. Требования к оценке радиационной стойкости», является снижение механических характеристик на 50 %. Степень сохранения свойств от исходного значения до 80 % характеризуется как незначительная, до 50 % – заметная, до 10 % – значительная [8].

Предел прочности эпоксидного полимера Е0 увеличивается после облучения до поглощенной дозы 100 кГр на 15 %, а затем уменьшается и составляет 83 % от исходной величины при дозе 300 кГр. Аналогичная зависимость получена для модуля упругости образца Е0. Для наполненного образца ЕА0.35 наблюдается увеличение предела прочности на 52 % при дозе 100 кГр, но даже после дальнейшего уменьшения при дозе 300 кГр предел прочности выше исходной величины на 19 %. Модуль упругости образца ЕА0.35 при облучении увеличивается до 223 % от исходного значения при дозе 300 кГр. Относительное удлинение при разрыве уменьшается после облучения потоком электронов для наполненного образца сильнее, чем для ненаполненного.

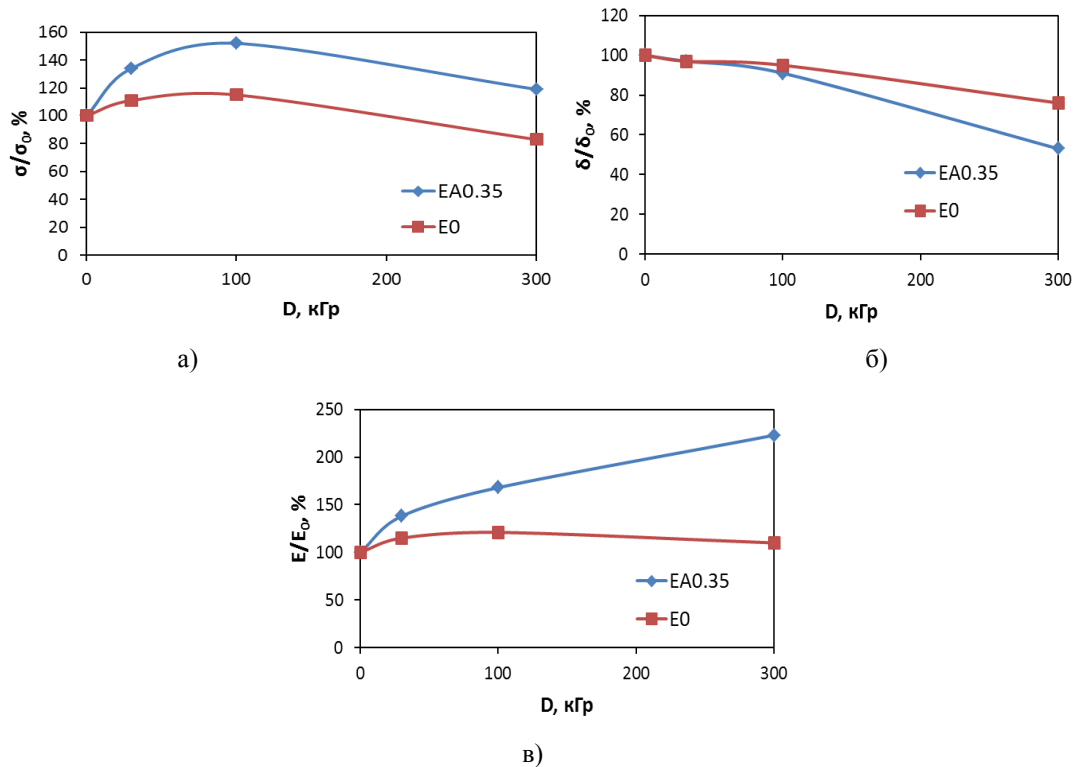


Рис. 2. Относительное изменение предела прочности на растяжение (а), относительного удлинения при разрыве (б) и модуля упругости (в) образцов E0 и EA0.35 в зависимости от дозы

Таким образом, из полученных результатов видно, что механические характеристики ненаполненного эпоксидного полимера деградируют с поглощенной дозой значительней, чем образца, наполненного нанодисперсным алюминием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кардашов Д.А. Эпоксидные клеи. – М.: Химия, 1973. – 192 с.
2. Чернин И.З., Смехов Ф.М., Жердев Ю.В. Эпоксидные полимеры и композиции. – М.: Химия, 1982. – 232 с.
3. Акишин А.И. Космическое материаловедение. Методическое и учебное пособие. – М: НИИЯФ МГУ, 2007. – 209 с.
4. Новиков Л.С., Воронина Е.Н. Перспективы применения наноматериалов в космической технике. Учебное пособие. – М.: Университетская книга, 2008. – 188 с.
5. Ястребинский Р.Н., Соколенко И.В., Иваницкий Д.А., Матюхин П.В. Воздействие электронного излучения на термопластичный полимер // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 12–6. – С. 983–986.
6. Nazarenko O.B., Amelkovich Y.A., Plyin A.P., Sechin A.I. Prospects of using nanopowders as flame retardant additives // Advanced Materials Research. – 2014. – Vol. 872. – P. 123–127.
7. Nazarenko O.B., Amelkovich Y.A., Sechin A.I. Characterization of aluminum nanopowders after long-term storage // Applied Surface Science. – 2014. – Vol. 321. – P.475–480.
8. Милинчук В.К. Радиационная стойкость органических материалов // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2001. – № 4. – С. 77–85.