

УДК 691.175.5/.8

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ОБРАБОТКИ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ПОЛИМЕРОВ

Рахадиллов Б.К., Буйткенов Д.Б., Акатан К.

Восточно-Казахстанский государственный университет им. С. Аманжолова, Усть-Каменогорск, Казахстан

Данная работа связана с исследованием влияния электронно-лучевой обработки физико-механические свойства полимерных материалов (PEI и PET). После электронно-лучевой обработки при режиме тока пучка 30 мА и энергии 1,2 кэВ микротвердость полимеров увеличился в 1,5 раза по сравнению с исходным состоянием. На образцах полимера PET наблюдается снижение интенсивности изнашивания до 30 %, а стойкость к абразивному износу полимера увеличился на 1,3 раза по сравнению с исходным образцом. Результаты проведенных исследований показали перспективность применения электронного облучения для повышения эксплуатационных характеристик полимерных материалов.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие современной науки и техники немаловажно без применения полимерных материалов. В настоящее время нет ни одной отрасли народного хозяйства, где бы ни использовались пластические массы. Расширение областей применения полимерных материалов потребовало создания на его основе новых конструкционных материалов с заданным комплексом свойств, способных к переработке в изделия высокопроизводительными методами. Сложность в решении этой задачи обусловлена рядом недостатков, присущих самому полимеру, таких как низкая стойкость к действию высоких температур, узкий температурный интервал переработки, низкая ударопрочность и износостойкость [1, 2].

Полимерные изделия, помимо химической стойкости и сохранении свойств при низких температурах должны обладать и высокой износостойкостью. Таким образом, поиск дальнейших путей повышения износостойкости полимерных материалов является актуальной научно-технической проблемой.

Одним из способов формирования композиционных материалов на полимерных материалах, обладающих повышенными механическими и триботехническими характеристиками, является введение армирующих добавок в виде мелкодисперсного наполнителя. Существенный вклад в развитие исследований структуры и триботехнических свойств наполненных композитов на основе полимера внесли А.П. Краснов, И.С. Зу, Л. Йу и др. [3, 4]. В подавляющем большинстве случаев введение наночастиц приводило к существенному повышению износостойкости, при этом содержание наночастиц не превышало несколько десятых массовых процентов. Другим распространенным способом повышения механических и триботехнических свойств полимеров является их облучение пучками заряженных частиц.

При облучении пучками заряженных частиц в полимерах возникают промежуточные образования, обладающие высокой реакционной способностью - свободные радикалы, ионы, возбужденные молекулы. Они являются источниками дальнейших химических превращений, приводящим к изменениям хи-

мического строения, а, следовательно, и свойств полимеров. В частности, при действии излучений в полимерах образуются поперечные межмолекулярные и внутримолекулярные связи - протекают процессы разрыва связей в главной цепи и боковых группах, реакции прививки, окисления и др. происходит распад и образование винильных, виниленовых и винилиденных групп, а также изомеризация (в том числе цистрансизомеризация), циклизация [5, 6].

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве материала исследования была выбрана образцы PEI (полиэфиримид) и PET (полиэтилентерефталат) – универсальный многофункциональный полукристаллический полимер конструкционного и антифрикционного назначения.

В настоящей работе в качестве основных методов исследования были использованы: механические испытания образцов на микротвердость, износостойкость, исследование микроструктуры. Облучение образцов производилось на ускорителе электронов ЭЛВ-4. Режимы электронного облучения на ускорителе ЭЛВ-4 приведены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры пучка

Энергия пучка E, кэВ	Ток пучка в импульсе I, мА	Скорость, м/мин
1,2	20	3
1,2	30	3
1,2	40	3

В работе экспериментально исследовали влияние режимов электронно-лучевой обработки на микротвердость поверхности полимеров PEI и PET. Микротвердость определяли по методу Виккерса на микротвердомере ПМТ-3 в соответствии с ГОСТ 9450-76, при нагрузке на индентор 100 г и времени выдержки при этой нагрузке 10 сек.

Микротвердость полимера PEI в исходном состоянии составляет 253 МПа (рисунок 1, а), микротвердость полимера PET составляет 225 МПа (рисунок 1, б). После электронно-лучевой обработки при режимах параметра пучка 20 мА и 30 мА микротвердость полимера PEI увеличивается до ~ 350 МПа.

Полимер марки PET показало максимальное значение микротвердости после электронно-лучевой обработки при режиме параметра пучка 30 мА. Дальнейшее увеличение тока пучка до 40 мА приводит к снижению микротвердости полимерных материалов.

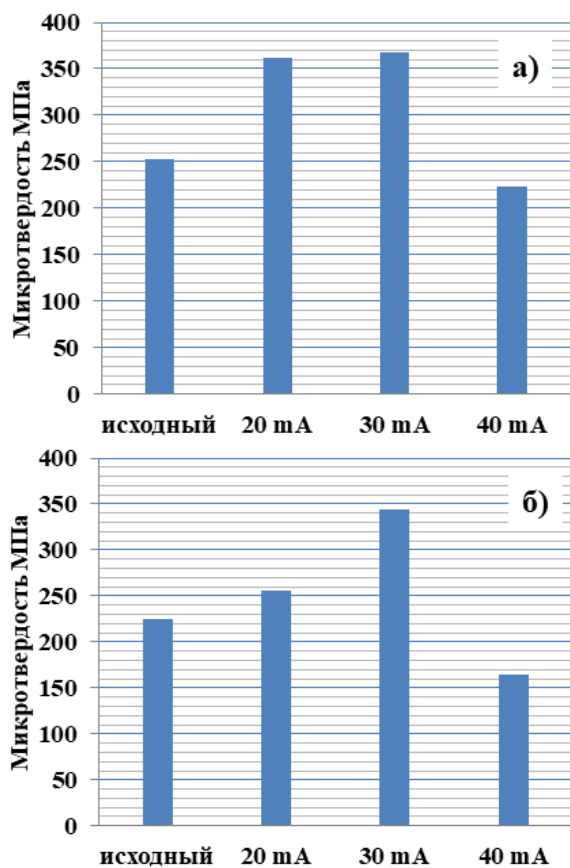


Рисунок 1. Микротвердость образцов полимера: PEI (а); PET (б)

В литературе описаны результаты исследований, посвященных повышению свойств полимеров посредством применения процессов облучения [7–10]. Все эффекты облучения, воздействующие на полимерные материалы, сложно предсказать. Несмотря на простую полимерную структуру, все протекающие в структуре изменения являются достаточно сложными. Поскольку для разрушения химических связей требуется приложение энергии в несколько эВ. Обычно в полимерах происходит либо разрушение, либо образование новых поперечных межмолекулярных связей (сшивки). Однако в большинстве случаев, имеет место и первое или второе. Известно, что образование поперечных межмолекулярных связей в полиэтилене улучшает его сопротивление истиранию, что широко используется в ряде промышленных приложений [11].

В данной работе испытания на износостойкость полимерных материалов до и после электронно-лучевой обработки проведены по схемам «шар - диск» и «плоская поверхность – вращающаяся диск», в соот-

ветствии с международными стандартами ASTM G99-959, DIN50324 и ISO 20808.

Трибологические испытания на трение скольжения проводили на трибометре Micron-tribo. В качестве контртела использовали шарик диаметром 3,0 мм, из сертифицированного материала WC. На рисунке 2 показаны результаты трибологических испытаний в виде объема износа полимерных материалов. Как видно, износостойкость образца после электронно-лучевой обработки увеличивается 1,5–2,0 раза по сравнению с исходным образцом.

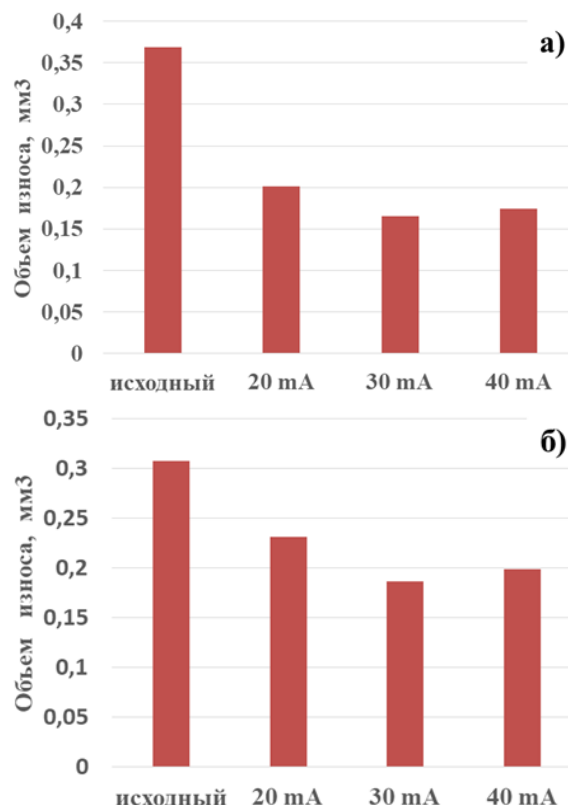


Рисунок 2. Объемный износ полимеров до и после электронно-лучевой обработки: PEI (а); PET (б)

Испытания образцов на абразивное изнашивание на экспериментальной установке для испытаний на абразивное изнашивание при трении не жестко закрепленные частицы абразива по схеме «вращающийся ролик – плоская поверхность» в соответствии с ГОСТ 23.208-79. Результаты испытания полимеров до и после электронно-лучевой обработки показаны на рисунке 3.

Результаты испытания на абразивное изнашивание показывают, что потеря массы образцов после электронно-лучевой обработки меньше, чем до электронно-лучевой обработки, что указывает на повышение стойкости к абразивному износу полимеров. После электронно-лучевой обработки стойкость к абразивному износу полимера PET увеличился на 1,3 раза по сравнению с исходным состоянием.

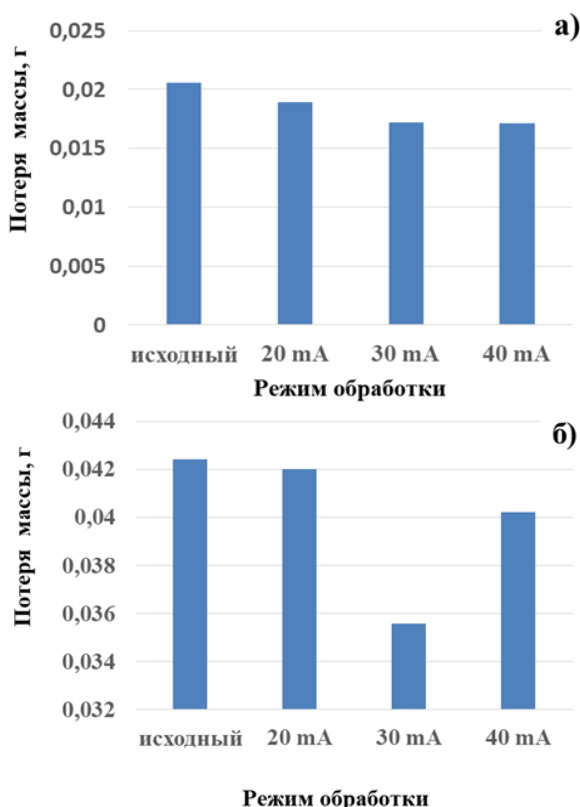


Рисунок 3. Потеря массы образцов полимеров до и после электронно-лучевой обработки: PEI (а); PET (б)

ЛИТЕРАТУРА

- Angel J. Satti, Erica C. Molinari, Augusto G. O. de Freitas, Walter R. Tuckart, Cristiano Giacomeli, Andrés E. Ciolino, Enrique M. Vallés. Improvement in abrasive wear resistance of metallocenic polypropylenes by adding siloxane based polymers. *Materials Chemistry and Physics*, Vol. 188, 2017, P. 100–108.
- Haifa El Zhawi, Marina R. Kaizer, Asima Chughtai, Rafael R. Moraes, Yu Zhang. Polymer infiltrated ceramic network structures for resistance to fatigue and wear. *Dental Materials*, Vol. 32, 2016, P. 1352–1361.
- Aderikha, V.N., Shapovalov, V.A., Krasnov, A.P., and Pleskachevskii, Yu.M., Effect of AerosilOrgano-philization on Tribological Properties of Low-Filled UHMWPE Composites, *Trenie i Iznos*, 2008, vol. 29(4), P. 421–427.
- Y. S. Zoo, J. W. An, D. P. Lim and D. S. Lim. Effect of carbon nanotube addition on tribological behavior of UHMWPE. *TribolLett.* Vol. 16(4) (2004). P. 305–309.
- Пикаев А. К. Новые разработки радиационной технологии в России. *Химия высоких энергий*. Т. 32. – 1999, – С. 3–11.
- Raghu S, Archana K, Sharanappa C, Ganesh S, Devendrappa H. The physical and chemical properties of gamma ray irradiated polymer electrolyte films. *Journal of Non-Crystalline Solids*, Vol. 426, 2015, P. 55–62.
- E. Oral, A. S. Malhi, O. K. Muratoglu. Mechanisms of decrease in fatigue crack propagation resistance in irradiated and melted UHMWPE. *Biomaterials*. Vol. 27 (2006). P. 917–925.
- K. Yamamoto, T. Masaoka, M. Manaka, H. Oonishi, I. Clarkel, H. Shoji, K. Kawanabe and A. Imakiire. Micro-wear features on unique 100-Mrad cups: Two retrieved cups compared to hip simulator wear study. *Acta Orthop Scand*. Vol. 75 (2004). P. 134–141.
- C Zhu, O. Jacobs, R. Jaskulka, W. Koller, W. Wu. Effect of counterpart material and water lubrication on the sliding wear performance of crosslinked and non-crosslinked ultra high molecular weight polyethylene. *Polymer Testing*. Vol. 23 (2004). P. 665–673.
- E. Oral, K. K. Wannomae, N. Hawkins, W. H. Harris, O. K. Muratoglu. a-Tocopherol-doped irradiated UHMWPE for high fatigue resistance and low wear. *Biomaterials*. Vol. 25 (2004). P. 5515–5522.
- H. McKellop, F. Shen, B. Lu, P. Campbell, and R. Salovey, Development of an Extremely Wear-Resistant Ultra High Molecular Weight Polyethylene for Total Hip Replacements. *J. Orthopedic research* 17 (1999). P. 157–167.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализируя полученные в работе экспериментальные результаты, можно сделать следующие выводы:

1. Установлено, что механические и трибологические свойства полимерных материалов зависят от режимов электронно-лучевой обработки;
2. Определено, что микротвердость полимера после электронно-лучевой обработки при режиме тока пучка до 30 мА увеличивается в 1,5 раза по сравнению с исходным состоянием;
3. Интенсивность изнашивания полимеров после электронно-лучевой обработки при параметре тока пучка до 30 мА снижается до 30 %, а стойкость к абразивному износу полимера PET увеличилась в 1,3 раза по сравнению с исходным состоянием.

ПОЛИМЕРЛЕРДІҢ ТОЗУҒА ТӨЗІМДІЛІГІНЕ ЭЛЕКТРОНДЫ СӘУЛЕЛІК ӨНДЕУДІҢ ӘСЕРІ

Б.Қ. Рахадиллов, Д.Б. Буйткенов, К. Акатаев

С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан Мемлекеттік университеті, Өскемен, Қазақстан

Бұл жұмыс полимерлі материалдардың физикалық және механикалық қасиеттеріне электронды-сәулелік өндеудің әсерін зерттеуге байланысты (PEI және PET). Электронды-сәулелік өндеуден кейін, 1,2 кэВ энергиясы бар 30 мА сәуле тоғында, полимерлердің микроқаттылығы бастапқы күйге қарағанда 1,5 есе артты. PET полимер үлгілерінің тозу жылдамдығы 30 %-ға дейін төмендеді, және полимердің абразивті тозуға төзімділігі бастапқы күймен салыстырғанда 1,3 есе артты. Жүргізілген зерттеулер нәтижелері полимерлі материалдардың пайдалану сипаттамаларын арттыру үшін электронды-сәулелік өндеуді қолданудың перспективаларын көрсетті.

EFFECT OF ELECTRON BEAM TREATMENT ON THE WEAR RESISTANCE OF POLYMERS

B.K. Rakhadilov, D.B. Buytkenov, K. Akatan

S. Amanzholov East Kazakhstan State University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

This work is related to the study of the effect of electron-beam processing on the physical and mechanical properties of polymer materials (PEI and PET). After electron-beam processing with a beam current of 30 mA and an energy of 1.2 keV, the microhardness of the polymers increased by a factor of 1.5 compared to the initial state. PET polymer samples show a decrease in wear rate of up to 30 %, and resistance to abrasion of the polymer increased by 1.3 times compared to the original sample. The results of the conducted studies have shown the prospects of using electron irradiation for increasing the operational characteristics of polymer materials.