

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ФТОРОПЛАСТА «СУПЕРФЛУВИС»

Е.В. Виноградов¹⁾, Н.Г. Валько¹⁾, В.М. Анищик²⁾

¹⁾Гродненский государственный университет им. Янки Купалы,
ул. Ожешко 22, Гродно 230023, Беларусь, *n.valko@grsu.by*

²⁾Белорусский государственный университет,
пр. Независимости 4, Минск 220030, Беларусь, *Anishchik@bsu.by*

Представлены результаты исследования влияния ультрафиолетового излучения 207 нм и 222 нм на износостойкость фторопласта «Суперфлувис». Актуальность работы связана с необходимостью повышения долговечности фторопластовых материалов, используемых в условиях интенсивного трения. Обнаружено, что облучение УФ-излучением с длиной волны 207 нм приводит к увеличению твердости поверхностного слоя фторопласта на 4 %, а при облучении УФ-излучением с длиной волны 222 нм – на 6 %. Показано, что при УФ-облучении 207 нм фторопласта интенсивность изнашивания снижается на 19 %, а при 222 нм – на 17 % по сравнению с контрольными образцами. Полученные данные подтверждают перспективность УФ-модификации фторопластов, открывая возможности для создания износостойких уплотнительных элементов, долговечных защитных покрытий и полимерных композитов, адаптированных к высоким механическим нагрузкам.

Ключевые слова: фторопласт; ультрафиолетовое излучение; износостойкость; твердость.

INFLUENCE OF ULTRAVIOLET RADIATION ON WEAR RESISTANCE OF FLUOROPLASTIC «SUPERFLUVIS»

E.V. Vinogradov¹⁾, N.G. Valko¹⁾, V.M. Anishchik²⁾

¹⁾Yanka Kupala State University of Grodno,
22 Ozheshko Str., 230023 Grodno, Belarus, *n.valko@grsu.by*

²⁾Belarus State University,
4 Nezavisimosti Ave., 220030 Minsk, Belarus

The results of research of influence of ultraviolet radiation of 207 nm and 222 nm on wear resistance of fluoroplastic “Superfluvis” are presented. The relevance of the work is connected with the need to increase the durability of fluoroplastic materials used in conditions of intensive friction. It is found that UV-irradiation at 207 nm leads to an increase in the hardness of the surface layer of fluoroplastic by 4%, and at UV-irradiation at 222 nm - by 6%. It is shown that at 207 nm UV-irradiation of fluoroplastic the wear intensity decreases by 19 %, and at 222 nm - by 17 % in comparison with control samples. The obtained data confirm the prospectivity of UV-modification as a method of fluoroplastic processing, opening up opportunities for creation of wear-resistant sealing elements, durable protective coatings and polymer composites adapted to high mechanical loads.

Keywords: fluoroplastic; ultraviolet radiation; wear resistance; hardness.

Введение

Фторопласты марки «Суперфлувис», представляя собой уникальные полимерные материалы, широко применяемые в аэрокосмической отрасли, медицинской технике и химической промышленности благодаря их эксплуатационным характеристикам: высокой химической стойкости, термической стабильности и низкому коэффициенту трения. Однако длительная работа в экстремальных условиях, таких

как космическое пространство или агрессивные химические среды, приводит к изменению механических свойств материала, включая его устойчивость к износу. В связи с этим актуальной задачей является исследование влияния различных видов излучения на долговечность фторопласта и его способность сохранять работоспособность при механическом воздействии.

В работе [1] показано, что воздействие электронно-лучевого облучения (50–

150 кГр) способствует увеличению износостойкости фторопластов на 25-40 % за счет образования поперечных связей [1]. Гамма-облучение (50 кГр) снижает коэффициент трения на 15-20 % и уменьшает износ при сухом трении на 30 %, что связано с формированием упорядоченной поверхностной структуры [2]. Исследования влияния ультрафиолетового и рентгеновского излучения на эластомеры показали, что коротковолновое УФ-излучение (207 нм) увеличивает микротвердость на 6 %, снижая абразивный износ на 18 %, тогда как воздействие рентгеновским излучением (0.154 нм) приводит к росту износостойкости на 22 % [3].

Кроме того, исследования показали, что предварительное УФ-облучение фторопласта влияет на его поверхностные слои, увеличивая адгезию материала перед нанесением на металлопокрытия. Не смотря на повышенный интерес к радиационной модификации фторопластов, влияние ионизирующих излучений на износостойкость самого фторопласта остается недостаточно изученным.

Цель данной работы является изучение твердости, прочности и сопротивляемости фторопласта к механическому износу под действием УФ-излучения с длинами волн 207 нм и 222 нм.

Практическая значимость исследования заключается в разработке методов модификации фторопластов УФ-излучением для увеличения их долговечности и повышения устойчивости к механическим нагрузкам. Полученные результаты могут быть использованы при создании полимерных материалов с улучшенными характеристиками для аэрокосмической техники, медицинских технологий и других высокотехнологичных отраслей, где требуется повышенная износостойкость.

Материалы и методы исследования

Исследование проведено на образцах фторопласта марки «Суперфлувис» (ТУ ВУ 400084698.178- 2006), изготовленных в виде цилиндрических стержней диа-

метром 10 ± 0.1 мм и высотой 12 ± 0.5 мм с шаровым сегментом радиусом $R = 6.35$ мм на торцевой поверхности (рис. 1).



Рис. 1. Образцы из фторопласта «Суперфлувис» до испытаний на интенсивность износа

Испытания проводились на трех группах образцов: контрольные (без обработки), а также образцов, которые подвергались воздействию ультрафиолетового излучения. Источником УФ-излучения служила эксимерная лампа на основе газовой смеси KrBr, а также на основе KrCl ИСЭ СО РАН, г. Томск), генерирующие излучение с длиной волны 207 нм и 222 нм.

Испытания включали два этапа. На первом этапе (приработке) образцы подвергались трению на протяжении 3 км, после чего измерялись диаметры пятен износа в двух перпендикулярных направлениях d_{i1} и d_{i2} . На втором этапе, основном, проводилось трение на протяжении 7 км, после чего снова измерялись пятна износа.

Безразмерная интенсивность I_i изнашивания рассчитывалась по формуле (1), учитывающей радиус кривизны образца и путь трения. Итоговая интенсивность определялась как среднее арифметическое значений для трех образцов (2).

$$I_i = 10^{-6} \frac{R}{L_2} \left(\sqrt{1 - \left(\frac{d_{i1}}{2R}\right)^2} - \sqrt{1 - \left(\frac{d_{i2}}{2R}\right)^2} \right) \quad (1)$$

$$I = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 I_i \quad (2)$$

Твердость измерялась по Кнупу с помощью твердомера Kason 59-HV. Погрешность измерений не превышала 3 % [4].

Результаты и их обсуждение

На рисунке 2 приведены результаты исследования износостойкости и твердости фторопласта марки «Суперфлувис». Видно, что обработка УФ-излучением способствует снижению интенсивности изнашивания. Так, в частности, при УФ-облучении с длиной волны 207 нм интенсивность изнашивания по сравнению с контрольным образцом снижается на 19 %, а при УФ-облучении с длиной волны 222 нм – на 17 %. Полученные результаты коррелируют с результатами измерения микротвердости. Обнаружено, что после УФ-облучения с длиной волны 207 нм твердость фторопласта «Суперфлувис» увеличивается на 4 % (207 нм), при УФ-облучении с длиной волны 222 нм – на 6 %, что подтверждает формирование упрочненного поверхностного слоя после облучения.

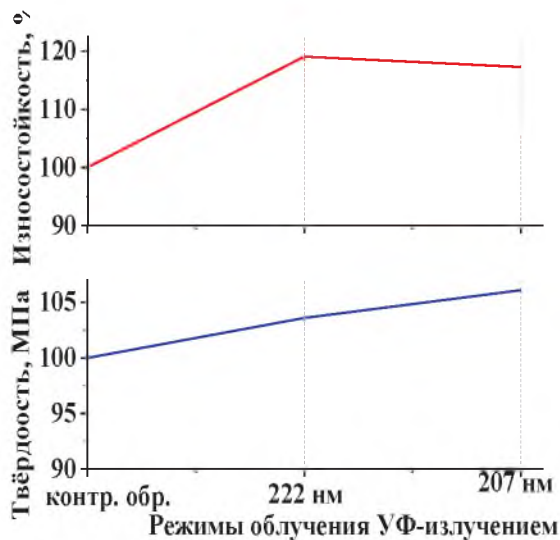


Рис. 2. Влияние УФ-излучения на износостойкость и твердость фторопласта марки «Суперфлувис»

Основной механизм повышения износостойкости связан с фотохимической сшивкой полимерных цепей, ограничивающей пластическую деформацию при трении. Оптимальный эффект наблюдается при 222 нм, поскольку такой режим минимизирует структурную деградацию материала.

Стоит отметить, что при УФ-облучении 207 нм наблюдается уменьшение пластич-

ности до 8 %, что также положительно влияет на эксплуатационные характеристики обработанного материала, обеспечивая баланс между прочностью и деформационной способностью поверхности.

Полученные результаты позволяют рекомендовать УФ-облучение как метод повышения износостойкости полимерных изделий.

Заключение

Исследование показало, что ультрафиолетовое облучение влияет на поверхностный слой фторопласта «Суперфлувис», увеличивая его износостойкость. Наибольший эффект наблюдается при длине волны 207 нм. При УФ-облучении (207 нм) интенсивность изнашивания фторопласта «Суперфлувис» по сравнению с контрольным образцом снизилась на 19%, тогда как при 222 нм снижение составило 17 %. Полученные результаты показывают, что УФ-облучение с длиной волны 207 нм является перспективным для практического применения.

Библиографические ссылки

1. Güven O. Developments in electron beam processing in polymer and petroleum industries International Conference on Radiation Technologies (Vienna, 15–19 April 2024): proceedings / ed. A. Smith, B. Johnson. Vienna: IAEA, 2024. P. 45–60.
2. Azevedo Z.P., Silva R.M., Costa K.L., & Souza R.M. (2025). Improvement of tribological properties of PTFE after gamma irradiation through surface structure modification. *Trenie i Iznos [Friction and Wear]* 2025; 44(3): 245–253.
3. Валько Н.Г., Касперович А.В., Боброва В.В., Рагожкин Н.С. Влияние рентгеновского излучения на упруго-прочностные свойства NBR эластомеров. В кн.: Углов В.В., гл. ред. Материалы 15-й Междунар. конф. «Взаимодействие излучений с твердым телом» (26–29 сент. 2023 г.), г. Минск. Минск: БГУ; 2023. С. 215.
4. Материалы металлические. Метод испытания на микротвердость по Кнупу. Часть 1. Метод испытания ГОСТ Р ИСО 4545-1-2015. Взамен. ГОСТ 9450-76. введ. 01.07.2016. Москва: Стандартинформ, 2015. VI. 18 с.