

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ

Я.А. Ковалёва

Государственное научное учреждение «Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси», ул. Кирова 32А, Гомель 246050, Беларусь, yara.kov@tut.by

Облучение CO₂-лазером политетрафторэтилена (ПТФЭ, фторопласт-4) – уникальный процесс, который не наблюдается ни у одного известного в мире полимера. Несущее за собой явление: образование «короны» в кратере абляции, является эффектом аномально быстрого и избирательного разложения ПТФЭ с выделением волокнистых частиц. Однако возникает вопрос: влияет ли данное облучение, которое при производстве волокнисто-пористого материала «Грифтекс» является длительным (сутки и более), на структуру и свойства начального фторопласта? В данной работе исследованы некоторые физико-механические свойства облученного ПТФЭ (модуль Юнга на сжатие и растяжение, плотность, твердость, износ и интенсивность изнашивания) и приведено сравнение с необлученным ПТФЭ.

Ключевые слова: политетрафторэтилен; фторопласт-4; лазерная абляция; Грифтекс; модуль Юнга; износ.

PHYSICS AND MECHANICAL PROPERTIES OF PTFE AFTER PROLONGED LASER ABLATION

Yaraslava Kavaliova

The State Scientific Institution «V.A. Belyi Metal-Polymer Research Institute
of National Academy of Sciences of Belarus»,
32A Kirov Str., 246050 Gomel, Belarus, yara.kov@tut.by

Irradiation with a CO₂ laser of fluoroplast-4 is a unique process that is not observed in any polymer known in the world. The underlying phenomenon: the formation of a "crown" in the ablation crater is the effect of abnormally rapid decomposition of fluoroplast with the release of fibrous particles. However, the question arises: does this irradiation, which is prolonged (a day or more) during the production of the fibrous-porous «Griftex» material, affect the structure and properties of the initial fluoroplast? In this paper, some physicomachanical properties of irradiated fluoroplast (Young's modulus for compression and tension, density, hardness, wear and wear intensity) are investigated and compared with non-irradiated polytetrafluoroethylene.

Keywords: polytetrafluoroethylene; fluoroplast-4; laser ablation; Griftex; Young's module; wear.

Введение

Общеизвестно, что интенсивные потоки энергии (электронные и ионные пучки, синхротронное и лазерное излучение, плазма), воздействуя на полимеры, вызывают разнообразные физико-механические процессы в зоне облучения, зависящие как от химической природы полимеры и окружающей его среды, так и от режима облучения [1, 2].

Среди полимеров особое место с точки зрения поведения при облучении занимает политетрафторэтилен (ПТФЭ, фторопласт), который под действием CO₂-лазера ($\lambda = 10.6$ мкм, $\nu = 943$ см⁻¹, плотность мощности лазера ~ 50 Вт/см²) в вакууме не образует сшитой молекулярной структуры.

Наблюдается интересное явление – образование на внешних границах кратера абляции «короны» из длинных переплетенных волокон полимера [1, 2]. Такого процесса не наблюдается при лазерном облучении ни одного из исследованных в мире полимеров. Однако остается вопрос о том, влияет ли такое излучение на материал вне зоны облучения. Накопление результатов исследований позволяют углубить научные представления о физико- и термохимических процессах, протекающих при воздействии излучений на полимеры.

Таким образом, целью настоящего исследования было сравнение физико-механических свойств ПТФЭ после длительной

лазерной абляции со свойствами необлученного ПТФЭ.

Материалы и методы исследования

Исследовались образцы из облученного (получены из неправильных цилиндров, оставшихся после длительной лазерной абляции) и необлученного ПТФЭ. Модуль Юнга при испытаниях на сжатие и растяжение испытывались на разрывной машине Instron 5567 по ГОСТ 4651-2014 [3] и ГОСТ 11262-2017 [4] соответственно. Определение плотности проводилось согласно ГОСТ 15139-69 [5] при помощи аналитических весов GX-1000 методом гидростатического взвешивания. Твердость образцов определялась на ТВР-D твердомере (дюрометр) Шора тип D «Восток-7» по ГОСТ 24621-2015 [6]. Износ и интенсивность изнашивания были получены на машине для экспресс-испытаний по типу ХТИ-72 по смехе «палец-диск». Нагрузка на три образца составляла 250-300 Н, частота оборотов шпинделя 48,6 Гц, приработка – около 200 м, основной путь до 1500 м.

Сравнение полученных результатов велось с характеристиками фторопласта-4 по ГОСТ 10007-80 [8].

Результаты и их обсуждение

При испытании на сжатие были испытаны по 4 образца из 6 цилиндров. Результаты представлены в таблице 1. В приложении к ГОСТу [7] приведено значение модуля Юнга при сжатии, равное 686,5 МПа. Эти показатели представлены как константы материала. Однако модули упругости (Юнга) даны без указания предела упругой деформации. Без этого неизвестны границы применения указанных величин модулей. Для разных диапазонов нагрузки при сжатии образцов модуль сжатия имеет разное значение. Его значения зависят от температуры, от скорости деформации, от наличия ограничений для деформации образца и еще много других факторов. Это опубликовано в разных ли-

тературных источниках. Поэтому для сравнения были испытаны дополнительно 5 образцов из необлученного ПТФЭ при тех же условиях, что и вышеописанные.

Таблица 1. Модуль Юнга при испытании на сжатие фторопласта-4

Материал	Среднее значение модуля Юнга для 4 образцов, МПа
Цилиндр 1	6.15
Цилиндр 2	6.27
Цилиндр 3	7.27
Цилиндр 4	7.43
Цилиндр 5	11.05
Цилиндр 6	9.12
Фторопласт-4	5.44

Далее был определен модуль Юнга при испытании на растяжение. Из-за сложности изготовления образцов по ГОСТу [4] было испытано 5 образцов необлученного ПТФЭ, 2 образца из первого цилиндра (цилиндр 1) и один из второго (цилиндр 2). Результаты показаны в таблице 2 с ссылкой на значения из ГОСТа для ПТФЭ.

Таблица 2. Модуль Юнга при испытании на растяжение ПТФЭ

Материал	Модуль Юнга, МПа (по ГОСТу – 410 МПа [7])
Фторопласт-4	351.18
Цилиндр 1	201.43
Цилиндр 2	45.48

Далее определено значение плотности образцов методом гидростатического взвешивания. По ГОСТу [7] для ПТФЭ данная величина составляет 2.15-2.17 г/см³. Из 6 цилиндров было измерено по 6 образцов из каждого цилиндра (см. таблицу 3). Из этих показаний видно, что плотность снизилась, однако незначительно.

Твердость образцов измерялась на этих же образцах в пяти точках. Значения полностью соответствуют диапазону из ГОСТа [7]: 55-59.

Средние значения износа и интенсивности изнашивания для 10 образцов каждого материала представлены в таблице 4. Из них видно, что износ увеличился в два и более раз, что явно указывает на изменение

физических характеристик материала после облучения лазера.

Таблица 3. Плотность и твердость образцов облученного фторопласта-4

Материал	Плотность ρ , г/см ³	Твердость по Шору тип D
Цилиндр 1	2.135	61.05
Цилиндр 2	2.146	57.74
Цилиндр 3	2.143	59.95
Цилиндр 4	2.083	57.78
Цилиндр 5	2.127	58.58
Цилиндр 6	2.141	58.75

Таблица 4. Износ и износостойкость материалов из фторопласта-4

Материал	Средний износ, J, мм ³ /(Н·м)	Средняя износостойкость, I, 10 ⁻⁶
Чистый фторопласт	55.669	0.7595
Облученный фторопласт	196.668	1.573

Заключение

Таким образом, из проведенных исследований видно, что значение модуля Юнга на сжатие увеличивается (материал сохраняет способность упругим деформациям при больших сжимающих напряжениях), однако на модуль растяжение - падает (материал более подвержен пластическим деформациям при растяжении). Показатели плотности и твердости материала остались

без изменений. Износ и интенсивность изнашивания увеличились более, чем в два раза.

Данные результаты говорят о том, что влияние длительного лазерного излучения на ПТФЭ существенны – изменяются все механические характеристики.

Библиографические ссылки

1. Гракович П.Н., Иванов Л.Ф., Пантелеев П.В. От идеи к наукоемкому товару. *Вестник Белнефтехима* 2011; (12): 52 - 57
2. Гракович П.Н., Иванов Л.Ф., Калинин Л.А., Рябченко И.Л., Толстомятов Е.М., Красовский А.М. Лазерная абляция политетрафторэтилена. *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева)*, 2008; ЛП (3): 97-105.
3. Пластмассы. Метод испытания на сжатие: ГОСТ 4651-2014 (ISO 604:2002). – Введ. 01.03.2015 (взамен ГОСТ 4651-82). – Москва: Стандартинформ, 2014. – 19 с.
4. Пластмассы. Метод испытания на растяжение: ГОСТ 11262-2017 (ISO 527-2:2012). – Введ. 01.10.2018 (взамен ГОСТ 11262-80). – Москва: Стандартинформ, 2018. – 24 с.
5. Пластмассы. Методы определения плотности (объемной массы): ГОСТ 15139-69. – Введ. 30.06.1970. – Москва: Государственный комитет СССР по стандартам, 1988. – 17 с.
6. Пластмассы и эбонит. Определение твердости при вдавливании с помощью дюрометра (твердость по Шору): ГОСТ 24621-2015. – Введ. 01.01.2017 (взамен ГОСТ 24621-91). – Москва: Стандартинформ, 2016 – 8 с.
7. Фторопласт-4. Технические условия: ГОСТ 10007-80. – Введ. 01.07.81. – Москва: Стандартинформ, 2008. – 16 с.