

## **ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ ОБРАБОТКИ ИЗЛУЧЕНИЕМ СО<sub>2</sub>-ЛАЗЕРА НА ФОРМУ И РАЗМЕР КРАТЕРА ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА**

Я.А. Ковалёва, П.Н. Гракович

*Институт механики металлокомпозитных систем им. В.А. Белого НАН Беларусь,  
ул. Кирова 32а, Гомель 246050, Беларусь, yara.kov99@mail.ru*

Проведена лазерная абляция политетрафторэтилена (ПТФЭ) с разным временем обработки излучением непрерывного СО<sub>2</sub>-лазера с использованием микровесов в вакуумной камере, на которых размещался каждый образец. Проведено 3D-сканирование поверхности каждого из образцов после остывания. Получены такие характеристики как объем кратера, скорость роста кратера, потеря массы, скорость роста потери массы, а также кажущаяся плотность удаленного с поверхности материала. Приведены график изменения силы давления на подложку весов во время лазерной абляции, скан поверхности одного из образцов, а также графическое изображение изменения формы кратера каждого из образцов в сравнении с диаметром лазера. Сделаны выводы о процессах, протекающих во время образования кратера. Показано, что данный 3D-сканирование позволяет уточнить механизм воздействия лазера на ПТФЭ, что дает возможность управлять параметрами времени облучения лазером с целью совершенствования технологии процесса получения волокнисто-пористых материалов.

**Ключевые слова:** политетрафторэтилен; лазерная абляция; кратер; 3D-сканирование; скорость роста.

## **THE EFFECT OF CO<sub>2</sub> LASER TREATMENT TIME ON THE SHAPE AND SIZE OF A POLYTETRAFLUOROETHYLENE CRATER**

Yaroslava Kavaliova, Petr Grakovich

*V.A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus,  
32A Kirov Str., 246050 Gomel, Belarus, yara.kov99@mail.ru*

Laser ablation of 9 polytetrafluoroethylene (PTFE) samples with different treatment times by continuous CO<sub>2</sub> laser radiation using microweights in a vacuum chamber on which each sample was placed was performed. A 3D scanner was used to perform a 3D scan of the surface of each sample after cooling. Characteristics such as crater volume, crater growth rate, mass loss, mass loss growth rate, and apparent density of the material removed from the surface were obtained. A graph of changes in the pressure force on the balance substrate during laser ablation, a scan of the surface of one of the samples, as well as a graphical representation of the change in the shape of the crater of each sample in comparison with the diameter of the laser are presented. It was found that with an increase in the irradiation time of more than 30 seconds, the crater grows more than twice as fast, while the rate of mass loss begins to decrease. Also, the apparent density of the removed material up to 30 c corresponds to the density of the fluoroplast, however, when irradiated above 30 c, it decreases. All this together indirectly suggests that after 30 seconds of irradiation, the growth of fibers from the crater decreases, another phase appears – viscous-fluid, which flows down the walls to the bottom, as evidenced by the rate of mass loss, as well as the apparent density. It is shown that the diameter of each crater is larger than the diameter of the laser beam. Thus, we can state that the sample expands during laser irradiation. It is shown that this 3D scanning makes it possible to understand the mechanism of laser action on PTFE, which makes it possible to control the parameters of laser irradiation time in order to improve the technology of the process of obtaining fibrous-porous materials.

**Keywords:** polytetrafluoroethylene; laser ablation; crater; 3D scanning; growth rate.

### **Введение**

Лазерная абляция политетрафторэтилена (ПТФЭ) — это процесс удаления материала с поверхности под воздействием лазерного излучения. Этот метод широко используется для модификации поверхности, микрообработки и создания структур

с заданными свойствами. А эффекты образования волокнистых продуктов связаны с механизмом разложения этого полимера [1-3].

Целью работы было установить изменение размеров и формы кратера ПТФЭ в зависимости от времени облучения.

## Материалы и методы исследования

Лазерная абляция образцов политетрафторэтилена проводилась на вакуумной установке ВУП-4 при различном времени выдержки под непрерывным излучением СО<sub>2</sub>-лазера. Одновременно при облучении проводился мониторинг изменения силы давления образца на подложку с помощью микровесов в вакуумной камере, на которых он размещался. Сканирование поверхности образцов проводилось с помощью оптического 3D-сканера RangeVision Neopoint (Россия, принцип сканирования – ИК структурированный подсвет, 3D точность – до 50 мкм), расчет и исследование поверхности – в программном обеспечении (ПО) сканера – RV 3D Studio.

## Результаты и их обсуждение

На рис. 1 представлен график изменения силы давления на подложку весов одного из образцов – ПТФЭ 4 (время излучения 30 с). График показывает типичное поведение фторопласта при лазерной абляции – инкубационный период около 2,5 с с последующим резким увеличением давления на подложку (в этот момент интенсивно начинает расти волокно из образующегося кратера). Дальнейшее плавное снижение этого давления говорит о равномерности роста волокна [2].

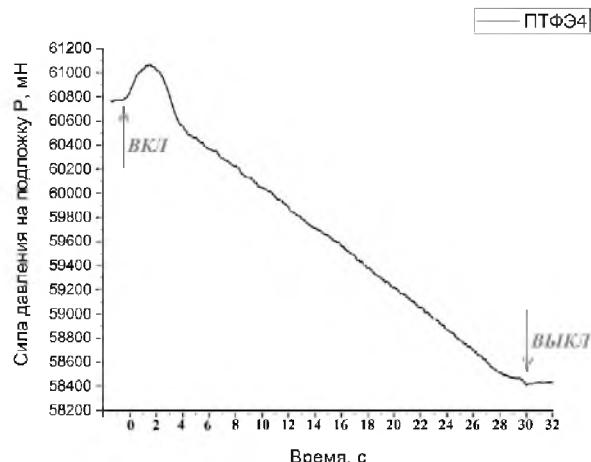


Рис. 1. График изменения силы давления на подложку P во время лазерной абляции: образец ПТФЭ 4 – время излучения 30 с

На рисунке 2 представлен вид скана поверхности образца ПТФЭ 5 (время обра-

ботки 45 с) в ПО 3D-сканера. С каждого полученного скана были получены геометрические размеры кратера, а также его объем.

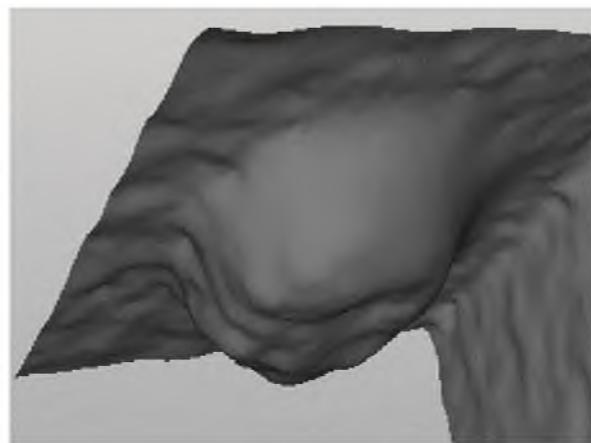


Рис. 2. Вид скана поверхности образца ПТФЭ 5 (время обработки 45 с) после лазерной абляции

В таблице 1 и 2 представлены полученные объемные и массовые характеристики кратера ПТФЭ при разном времени облучения. Установлено, что при увеличении времени облучения более 30 с объем кратера растет более чем в два раза быстрее, при этом скорость потери массы начинает снижаться. Также кажущаяся плотность удаленного материала до 30 с соответствует плотности фторопласта, однако при облучении свыше 30 с она снижается.

Табл. 1. Объемные характеристики кратера политетрафторэтилена при различном времени облучения

t, с	V, мм <sup>3</sup>	V <sub>v</sub> , мм <sup>3</sup> /с
5	9.6	1.92
10	27.7	2.77
15	40.7	2.71
30	84.9	2.83
45	212.2	4.72
75	363.4	4.85
90	418.9	4.65
105	514.7	4.90
120	545.7	4.55

Примечание. t - время облучения, V – объем кратера, V<sub>v</sub> - скорость роста объема кратера

Все это вместе косвенно говорит о том, что после 30 с облучения рост волокон из кратера уменьшается, появляется еще одна фаза – вязко-текучая, которая стекает по стенкам на дно, о чем свидетельствует ско-

рость потери массы, а также кажущаяся плотность.

Табл. 2. Изменений массы ПТФЭ при различном времени облучения

t, с	$\Delta m$ , мг	$V_m$ , мг/с	$\rho_k$ , мг/мл
5	24	4.80	2.5
10	65	6.50	2.35
15	107	7.13	2.63
30	235	7.83	2.77
45	383	8.51	1.80
75	700	9.33	1.93
90	720	8.00	1.72
105	803	7.65	1.56
120	875	7.29	1.60

Примечание. t - время облучения,  $\Delta m$  – потеря массы,  $V_m$  - скорость роста объема кратера,  $\rho_k$ , - кажущаяся плотность удаленного материала

На рисунке 3 представлено графическое изображение изменения формы кратера политетрафторэтилена во время лазерной абляции. Сканирование производилось на остывших образцах. Диаметр каждого кратера больше, чем диаметр луча лазера.

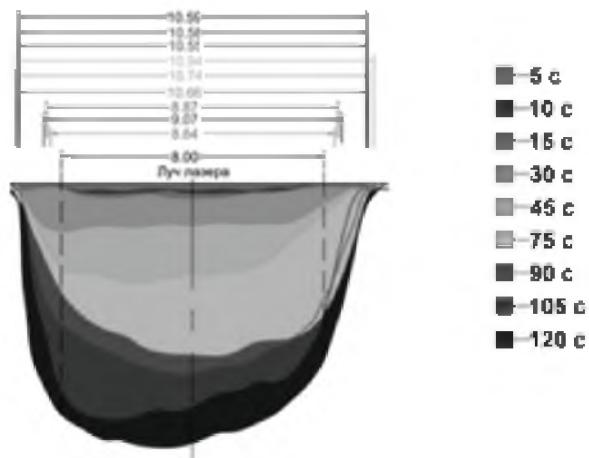


Рис. 3. Графические изображение изменения формы кратера в сравнении с диаметром луча лазера

Таким образом, мы можем утверждать, что во время облучения лазером образец расширяется. А также можно предположить, что в образце на глубине, равной разнице между диаметрами кратера и луча лазера, происходит деструкция, которая дает дальнейшие продукты - волокна и сополимеры.

### Заключение

Применение нового 3D-метода исследования объема кратера и его формы позволило рассчитать скорость роста кратера и потери массы образца, что дает возможность управлять параметрами времени облучения лазером политетрафторэтилена с целью совершенствования технологии процесса получения волокнисто-пористых материалов.

### Библиографические ссылки

- Гракович П.Н., Иванов Л.Ф., Калинин Л.А., Рябченко И.Л., Толстопятов Е.М., Красовский А.М. Лазерная абляция политетрафторэтилена. *Российский химический журнал* 2008; 52(3): 97-105.
- Гракович П.Н. и др. Формирование пористых слоёв политетрафторэтилена путём лазерной абляции. В кн. В.В. Углов (гл. ред.) [и др.]. Взаимодействие излучений с твердым телом: матер. 14-й Междунар. конф., посвящ. 100-летию Белорусс. гос. ун-та, Минск, Беларусь, 21-24 сент. 2021 г. Минск: БГУ, 2021; С. 47-51.
- Cozzens R.F., Fox R.B. Infrared laser ablation of polymers. *Polymer Engineering & Science* 1978; 18(11): 900-904.