

## МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПОДВЕРГНУТЫХ ВОЗДЕЙСТВИЮ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ.

*Е.В.Овчинников, В.А.Струк, К.Ф.Зноско, Е.И.Эйсымонт*

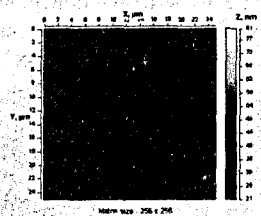
Гродненский государственный университет им.Янки Купалы  
ГНУ «Институт порошковой металлургии» НАН Республики Беларусь,  
Гродно, Республика Беларусь

Перспективными материалами для применения в машиностроении, агропромышленном комплексе химической промышленности, сфере здравоохранения являются нанокomпозиционные материалы. В большинстве случаев нанокomпозиты получают путем введения низкоразмерного активного вещества в объем материала (металлы, полимеры, смазочные материалы и т.п.). Для увеличения модифицирующего эффекта применяют предварительную активацию модификатора или матрицы, используя в основном механические, химические, электрические методы активации исходных компонент. Применение лазерного излучения (ЛИ) для активации полимерных материалов, в том числе и нанодисперсных частиц является в настоящее время перспективным направлением для исследований в области физики конденсированного состояния, материаловедения.

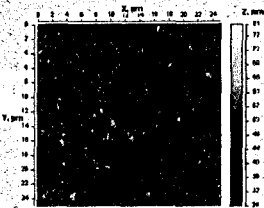
В настоящее время разрабатываются предпосылки для описания структурных изменений, происходящих в тонких поверхностных слоях дисперсных частиц различного строения, состава и технологии получения, под действием лазерного излучения. На активацию поверхностных слоев полимеров, а также получаемых частиц в результате абляции при воздействии ЛИ в значительной степени будет оказывать влияние длина волны лазерного излучения, энергия импульса, угол падения пучка ЛИ на подложку, геометрические параметры образца, оптические характеристики субстрата и т. д.

Целью является изучение морфологии полимерных материалов, подвергнутых воздействию импульсного лазерного излучения.

Для проведения исследований использовали плёночные и объёмные полуфабрикаты в состоянии промышленной поставки толщиной от 100 до 3000 мкм, получаемые методами литья под давлением (ПА 6 и его композиции), прессования с последующим спеканием (ПТФЭ), экструзии через плоскощелевую головку (ПЭТФ). Перед обработкой ЛИ плёночные образцы очищали от механических загрязнений путем обработки этиловым спиртом. Для модифицирования образцов из полимерных материалов использовали лазерные установки «Квант-15», «Lotis» генерирующие лазерное излучение с длиной волны  $\lambda_0=1,06$  мкм,  $\lambda_0=0,532$  мкм и длительностью импульса  $1,2 \cdot 10^{-6}$  с и  $16 \cdot 10^{-9}$  с соответственно. Количество импульсов при обработке варьировали от 1 до 10. Перед обработкой ЛИ образцы очищали от механических загрязнений путем обработки этиловым спиртом. Для исследований применяли методы атомно-силовой и растровой электронной микроскопии. Проведенные ранее исследования [1] показали возможность активации полимерных материалов при воздействии лазерного излучения (рис.1).



а



б



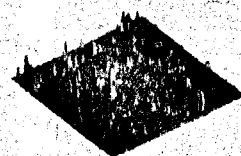
в

20.0 x 20.0 μm  
A = 46.5 nm  
Ra = 8.9 Rq = 19.2



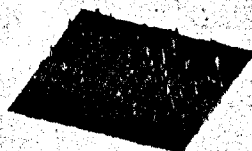
б

24.7 x 24.7 μm  
A = 89.1 nm  
Ra = 25.2 Rq = 51.0



г

25.0 x 25.0 μm  
A = 207.1 nm  
Ra = 9.0 Rq = 20.7

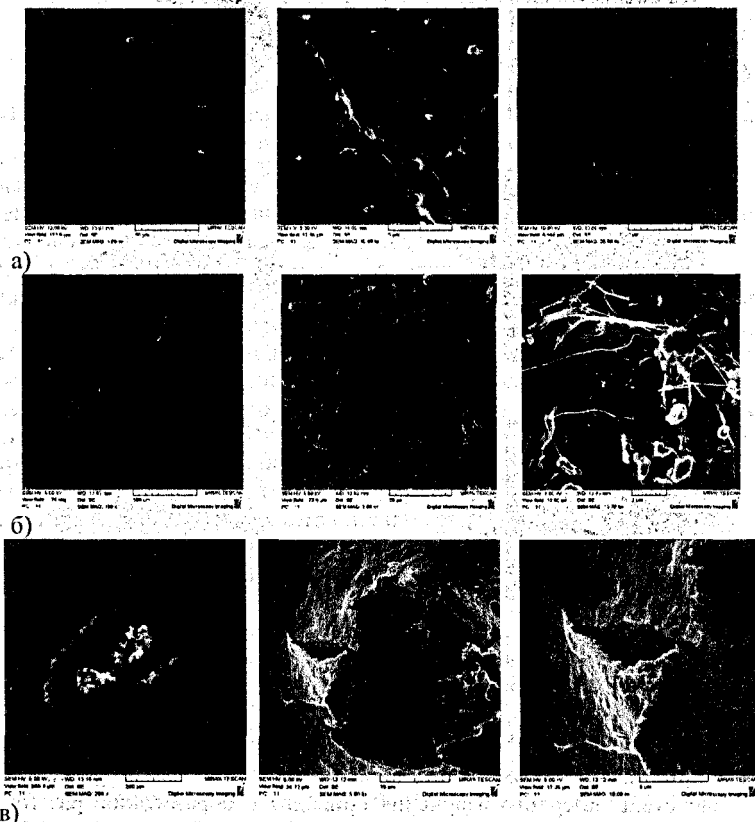


д

Рисунок 1 – Характерный вид поверхности пленки из полиэтилентерефталата (ПЭТФ), обработанной многоимпульсным лазерным излучением с частотой 10 Гц при напряжении накала  $U=500$  в (а, б), 600 в (в, г), 700 в (д, е); б, в, г – трехмерное изображение. Поле сканирования  $25 \times 25$  мкм [1]

Из полученных методом атомно-силовой микроскопии изображений видно, что воздействие лазерного излучения приводит к образованию развитой морфологии. Однако дальнейшее увеличение энергии импульса (рис.1 д,е) сглаживает исходный рельеф обрабатываемого полимерного материала. Данный факт достаточно сложно объяснить, так как увеличение энергии в импульсе должно приводить к интенсификации абляции фрагментов полимерного материала и увеличению шероховатости материала. Возможно, данный эффект объясняется применяемым для изучения методом исследований - атомно-силовой микроскопией, которая позволяет проводить исследования выбранных мест размером  $25 \times 25$  мкм и менее в зависимости от типа используемого прибора. Поэтому имеющиеся в литературных источниках сведения часто не коррелируют с установленными эффектами изменения топографии поверхностных слоёв обработанных образцов, параметров надмолекулярной структуры, упрочнения и др. [1-3]. Применение растровой электронной микроскопии позволяет более полноценно оценить характер воздействия лазерного излучения на полимерные ма-

териалы. На рис.2 представлены морфологические изменения поверхностных слоев полимерных материалов и топология получаемых частиц при лазерном излучении. Данные изображения получены при различных увеличениях.



в)

а) исходный полимер; б) ПТФЭ, модифицированный лазерным излучением, энергия в импульсе 1 мДж; в) ПТФЭ, модифицированный лазерным излучением, энергия в импульсе 6 мДж.

Рисунок 2 – Морфология политетрафторэтилена, подвергнутого воздействию лазерного излучения

Очевидно, что наблюдаемые эффекты трансформирования структуры характеристик полимерных полуфабрикатов обусловлены прежде всего изменением энергетического состояния полимерных макромолекул и компонентов, входящих в состав технических полуфабрикатов, т. к. известно, что даже при относительно небольших энергетических потоках (с точки зрения промышленных технологий и применяемых в машиностроении геометрических параметров комплектующих) возможно изменение состояния полимерных и олигомерных макромолекул, приводящее к структурированию, деструкции, абляции и надмолекулярному упорядочению [1-3].

## СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Трансформирование структуры поверхностных слоев полимерных полуфабрикатов под действием высокоэнергетических потоков / В.Г. Сорокин, Е.И. Эйсымонт, В.А. Струк // Инженерный вестник. – 2009. – №2. – С.118-125.
2. Авдэйчик, С.В. Морфология полимерных материалов после высокоэнергетической обработки / С.В. Авдэйчик, В.В. Гаврилова, С.А. Плещак // Вестник ГрГУ. – 2007. – №4. – С. 31 – 45.
3. Ионин, А.А. Селективная по частоте поверхностная обработка полимерных материалов излучением CO<sub>2</sub>-лазера. / А.А. Ионин [и др.]. // Кваптовая электроника. – 1999. – Т. 24, № 8. – С. 764-767.

УДК: 519.6+539.3

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕОСЕСИММЕТРИЧНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРИ НАГРЕВЕ И ОБЛУЧЕНИИ

Ширель П.И.<sup>1</sup>, Куликов И.С.<sup>2</sup>

1) Белорусский национальный технический университет;

Минск, Республика Беларусь;

2) Смоленский государственный университет,

Смоленск, Российская Федерация

Задача определения неосесимметричного НДС цилиндрической области даже в упругой постановке является сложной, и ее решение, точно удовлетворяющее всем заданным граничным условиям, удавалось получать при очень сильных предположениях. Как правило, в литературе рассматриваются различные неосесимметричные задачи, когда компоненты упругого перемещения и напряжения допускают разложения в тригонометрические ряды. Большинство попыток получения таких решений связаны с разложением нагрузки в ряд Фурье, который для цилиндров бесконечной длины приводит к представлению в виде интегралов Фурье. Такой подход, однако, вызывает вопросы при немеханических нагружениях, а также не позволяет полностью удовлетворить условиям на торцах. Существенно расширить круг решаемых неосесимметричных задач позволяют приближенные численные методы. Заметим, что при наличии распухания и ползучести приведенное утверждение является абсолютным.

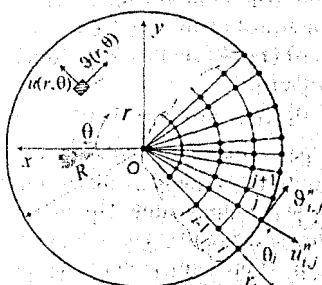


Рисунок 1 – Расчетная область неосесимметричной задачи

Для реализации численного подхода, в области независимых переменных ( $0 \leq \theta \leq \theta^0$ ,  $0 \leq r \leq R$ ) из линий  $\theta = \text{const}$  и  $r = \text{const}$  строилась криволинейная структурированная сетка, связанная с границами интегрируемой области (рис. 1). Специальные дифференциальные операторы нелинейной системы [1] аппроксимируем их конечно-разностными аналогами с учетом физических особенностей расчетной области. Для этого отрезок  $[0, R]$  разбивается равноотстоящими точками:  $r_0 = 0$ ,  $r_k = R$ ,  $r_i = ih_r$ ,  $h_r = R/k$ ,  $i = 0, 1, \dots, k$ . Аналогично разобьем отрезок  $[0, \theta^0]$ :  $\theta_0 = 0$ ,