

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОРЕЛЬЕФА И СТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ОБЛУЧЕННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ МЕТОДОМ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ

В.И. Павленко¹, Г.Г. Бондаренко², Н.И. Черкашина¹, О.Д. Едаменко¹,
М.П. Стрекозова¹

¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова;

²ФГБНУ «Научно-исследовательский институт перспективных материалов и технологий»

E-mail: niipmt@cea.ru

Воздействие вакуумного ультрафиолета (ВУФ) в космическом пространстве приводит к изменению микрорельефа поверхности материалов, причем органические материалы более подвержены такому воздействию, чем неорганические [1]. Вследствие изменения шероховатости поверхности происходит изменение оптических характеристик (коэффициент поглощения солнечного излучения и интегральный коэффициент отражения), что негативно сказывается на дальнейшей работоспособности материала [2]. Большинство исследований по облучению ВУФ проводилось для чистых полимерных материалов [3], а работы по исследованию влияния ВУФ на полимерные композиты (ПК) в космических условиях практически отсутствуют.

Процессы, происходящие в поверхностном слое ПК, под воздействием ВУФ представляют интерес, как с фундаментальной точки зрения, так и с практической точки зрения. В данной работе для описания закономерностей этих процессов и формы возникающего на поверхности микрорельефа использовалась атомно-силовая микроскопия.

Исследованию подвергали композиты из ударопрочного полистирола (УПС), наполненного высокодисперсным гидрофобным силиконовым наполнителем – ксерогелем метилполисилоксана (КМПС). Ранее уже было изучено положительное влияние использования УПС в качестве матрицы для создания радиационно-стойких композитов [4]. Синтез композитов осуществлялся методом твердофазного компактирования под удельным давлением 200 МПа. Содержание наполнителя в композите составляло 60 % по массе.

Облучение ВУФ проводили в специализированной установке для технологических и специальных испытаний образцов из полимеркомпозитов в условиях приближенных к околоземному космическому пространству (рис. 1): вакуум (давление не более 20 Па); ВУФ с длиной волны $\lambda = 115$ нм, облученность $0,5$ Вт/м². Облучение композитов проводили в течение 3 часов при комнатной температуре $T=20$ °С и повышенной $T=125$ °С.

Поверхность образцов до и после облучения исследовали с помощью сканирующего зондового микроскопа Ntegra Aura компании NT-MDT.

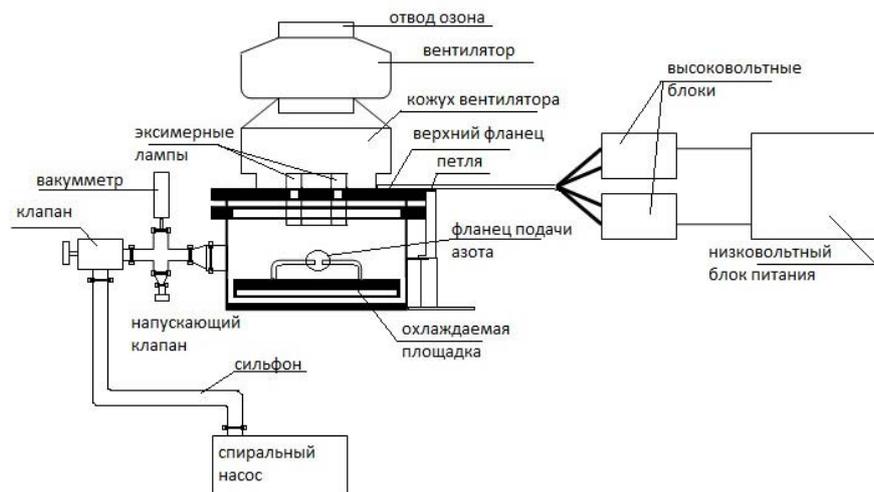


Рис.1. Схема специализированной установки для технологических и специальных испытаний образцов из полимеркомпозитов в условиях приближенных к околоземному космическому пространству

Сканирование поверхности проводили полуконтактным методом в режиме топографии. Результаты сканирования обрабатывали программным модулем обработки изображений Image Analysis 2.1.2, встроенным в программный пакет Nova RC1 (1.0.26.850). Вычисляли основные статистические параметры (максимальную высоту профиля – R_{max} , высоту неровностей профиля по десяти точкам S_z , среднюю арифметическую шероховатость – S_a). Анализ параметров шероховатости поверхности проводился на площади 5×5 мкм.

В табл. 1 представлены данные по изменению шероховатости поверхности исследуемых композитов до и после облучения ВУФ при различных температурах.

Таблица 1

Значения параметров шероховатости поверхности до и после воздействия

Тип воздействия	Максимальная высота профиля R_{max} , нм	Высота неровностей профиля по десяти точкам S_z , нм	Средняя арифметическая шероховатость S_a , нм
–	165,58	83,57	11,76
ВУФ, $T=20$ °С	58,69	29,47	6,74
ВУФ, $T=125$ °С	90,58	45,77	6,99

Сравнение параметров шероховатости композитов до и после облучения показывает, что облучение ВУФ приводит к сглаживанию поверхности композита. После ВУФ обработки при $T=20$ °С максимальная высота профиля

уменьшилась в 2,82 раза, высота неровностей профиля по десяти точкам в 2,83 раза, а средняя арифметическая шероховатость в 1,74 раза.

При повышении температуры воздействия ВУФ до 125 °С максимальная высота профиля уменьшилась в 1,83 раза, высота неровностей профиля по десяти точкам в 1,83 раза, а средняя арифметическая шероховатость в 1,68 раза. Полученные данные свидетельствуют о негативном влиянии повышенной температуры (125°С) на сглаживание шероховатости поверхности композитов.

Очевидно, увеличение неровностей рельефа произошло из-за начавшейся термической деструкции поверхностного слоя композита в связи с повышением температуры с 20°С до 125°С.

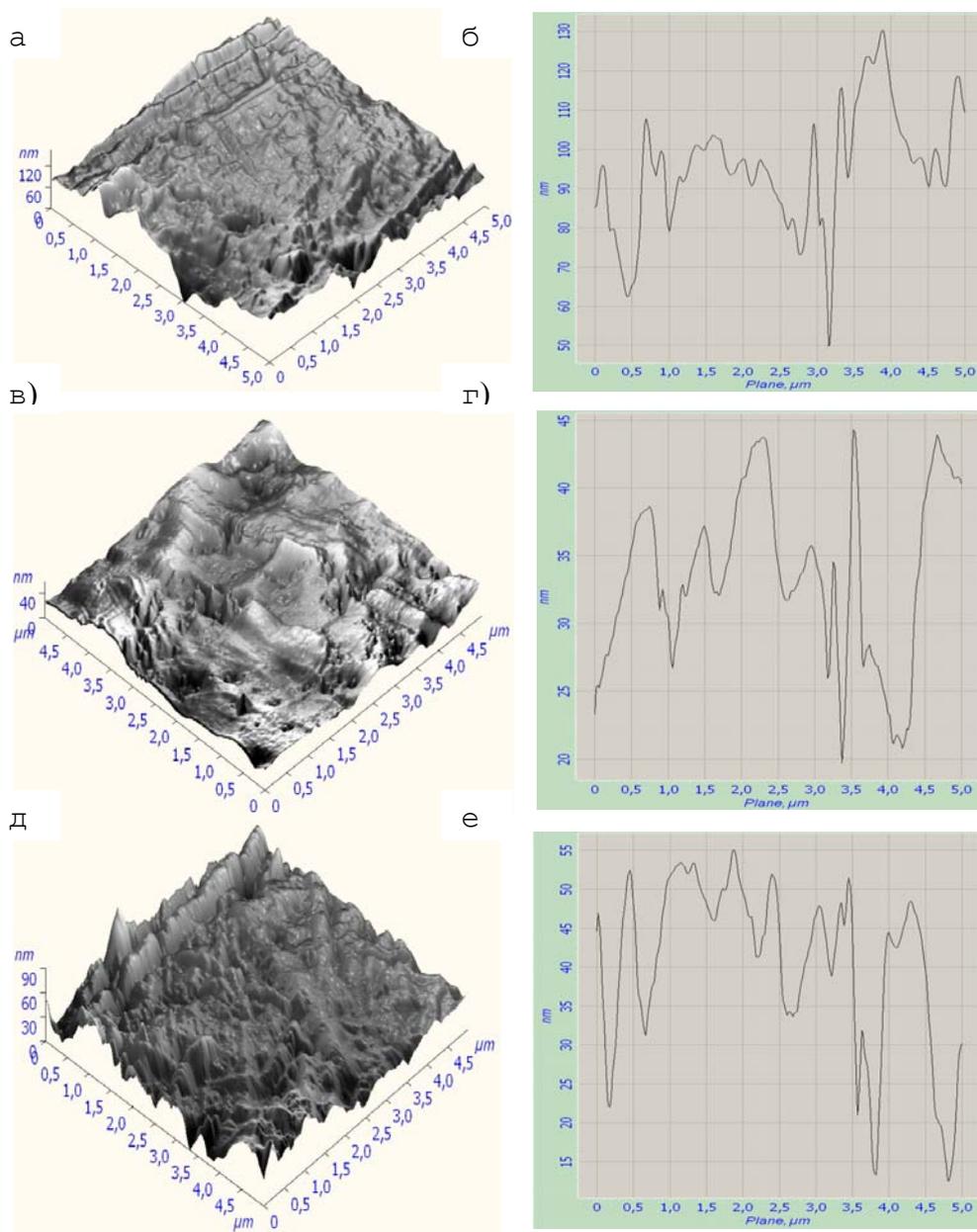


Рис. 2. Топографические АСМ-изображения (а, в, д) и кривые профиля поверхности (б, г, е) участков композитов до облучения (а, б), после облучения при $T=20^{\circ}\text{C}$ (в, г), после облучения при $T=125^{\circ}\text{C}$ (д, е)

Для более наглядного исследования эволюции рельефа поверхности образцов от воздействия ВУФ-излучения были изучены их трехмерные модели. На рис. 2 приведены трёхмерные изображения поверхности, полученные в режиме топографии для участка исходного композита и для участков композитов, подвергавшихся ВУФ-излучению, которые указывают на протекание процессов травления поверхностного слоя.

На поверхности исходных композитов установлено образование более рельефных структур с развитой поверхностью (рис. 2, а) в сравнении с более гладкими структурными образованиями, наблюдаемыми у композита после обработки ВУФ при $T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 2, в). Однако, при повышении температуры воздействия ВУФ до $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 3, в) поверхность приобретает зернистый рельеф с выраженными конусообразными пиками. Это объясняется тем, что УПС более подвержен термическому разрушению при воздействии ВУФ, чем силиконовый наполнитель, поэтому впадины образованы исчезновением УПС, а конусообразные пики оставшимся наполнителем.

На рис. 2 также представлены кривые профиля поверхности участков композитов до и после облучения ВУФ, которые подтверждают эффект уменьшения (сглаживания) шероховатости. Наблюдаемый эффект сглаживания рельефа ВУФ возникает в результате совместного действия следующих процессов: фототравления полимера, переосаждения газообразных продуктов фотолиза и образования межмолекулярных сшивок.

1. Efimenko K. Rapid formation of soft hydrophilic silicone elastomer surfaces / K. Efimenko, Crowe J.A., Manias E. et al // *Polymer*, № 46. – 2005. – P. 9329–9341.
2. Михайлов М.М. Фотостойкость терморегулирующих покрытий космических аппаратов. Томск: изд.-во Томского университета, 2007, 380 с.
3. Модель космоса, 8-е издание, Т.2: Воздействие космической среды на материалы и оборудование космических аппаратов / Ред. Новикова Л.С. и др. М.: изд.-во Книжный дом Университет, 2007. – 1144 с.
4. Павленко В.И. Термопластичные конструкционные композиционные материалы для радиационной защиты / В. И. Павленко, И. С. Епифановский, Р. Н. Ястребинский, О. В. Куприева // *Перспективные материалы*, № 6. – 2010. – С. 22–28.