

УДК 54-76

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВАКУУМНОГО УЛЬТРАФИОЛЕТА ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

Гасанов С.К., Ястребинский Р.Н., Павленко В.И.

*ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»,
Белгород, e-mail: yrndo@mail.ru*

В данной работе проведено описание полимерных материалов и композитов, которые используются в различных отраслях промышленности. Особое внимание уделено применению полимерных композитов в космосе. Описаны негативные факторы, которые влияют на работоспособность полимеров в космосе. В работе представлены данные по обработке полимерных материалов вакуумным ультрафиолетом с целью выявления сглаживания их поверхности. В качестве полимерных материалов использовали полимерные композиты, полученные на основе полистирола и кремнийорганического наполнителя – метилполисилоксана. Для выяснения специфики деградации поверхностного слоя композитов под влиянием вакуумного ультрафиолетового излучения была исследована морфология композитов до и после воздействия методов сканирующей зондовой микроскопии (атомно-силовой метод). Доказано, что облучение композитов приводит к уменьшению шероховатости поверхностного слоя, не затрагивая более глубокие слои материала. Также авторами были вычислены значения основных статистических параметров поверхности полистирольного композита по данным зондовой микроскопии.

Ключевые слова: полимер, композит, вакуумный ультрафиолет, зондовая микроскопия, морфология поверхности

USING VACUUM ULTRAVIOLET TO REDUCE ROUGHNESS SURFACE OF THE POLYMER COMPOSITES

Gasanov S.K., Yastrebinsky R.N., Pavlenko V.I.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, e-mail: yrndo@mail.ru

In this work the description of polymeric materials and composites, which are used in various industries. Particular attention is paid to the application of polymer composites in space. Described negative factors that affect the performance of polymers in space. The paper presents the data processing of polymeric materials by vacuum ultraviolet light in order to detect the surface smoothing. The polymeric materials used as polymer composites derived from polystyrene and silicone-filler metilpolisiloksana. To determine the specificity of the degradation of the surface layer of the composites under the influence of vacuum ultraviolet radiation was investigated morphology of composites before and after the impact of the methods of scanning probe microscopy (atomic force method). It is proved that the irradiation of composites decreases the roughness of the surface layer without affecting the deeper layers of the material. Also, the authors were calculated basic statistical parameters of the surface of the polystyrene composite according probe microscopy.

Keywords: polymer, composite, vacuum ultraviolet, probe microscopy, surface morphology

Полимеры в повседневной жизни окружают нас везде. Простейшим примером полимеров является пластмасса, целлофан, клей, резина. Но это ещё не всё, так, например, наружный скелет всех членистоногих, самых распространённых представителей животного царства, состоит из полимера Хитин.

Используя полимеры, можно создавать полимерные композитные материалы (ПКМ), которые включают в себя полезные свойства своих компонентов [1, 6, 7, 9, 13, 27]. Существует ряд преимуществ ПКМ над традиционными видами материалов (металлов, керамики, дерева и т.п.) [2, 8, 24, 25].

Свойствами полимерных композитов можно управлять, изменяя их состав и условия получения, так, например, можно просто увеличивать или уменьшать долю наполнителя полимерного композита [5, 11, 21–23, 30–32].

Полимерные композиты имеют большой потенциал в космонавтике. Они легки

в изготовлении, снижают вес космического аппарата, что в свою очередь снижает стоимость доставки на орбиту и повышает срок использования аппарата. Из полимерных композитов изготавливают некоторые детали космических аппаратов, например детали обшивки ракетоносителя, каркасы для солнечных батарей, панели терморегулирования. Также полимерные композиты не уступают, а иногда и превосходят по своим свойствам традиционные материалы, используемые в космонавтике [14, 20].

Для панелей терморегулирования космических аппаратов очень важна поверхность, от которой сильно зависят их функциональные свойства. Известно, что в космосе действует ряд негативных факторов, которые приводят к деградации поверхности полимеров и композитов на их основе – это и вакуумный ультрафиолет, и атомарный кислород, и электронное облучение, и др. [3, 4, 10, 12, 15, 17–19, 26, 28,

29]. Для отражательной способности терморегулирующих покрытий важна гладкая поверхность. Чем меньше будет шероховатость поверхности, тем лучше будут отражательные свойства материала.

В данной работе представлены данные по обработке полимерных материалов вакуумным ультрафиолетом с целью выявления сглаживания их поверхности.

Цель исследования

Изучить возможность обработки вакуумным ультрафиолетом полимерных материалов с целью сглаживания шероховатости их поверхности.

Материалы и методы исследования

В качестве полимерных материалов использовали полимерные композиты, полученные на основе полистирола и кремнийорганического наполнителя – метилполисилоксана. Синтез композитов описан в [16].

Облучение вакуумным ультрафиолетом проводилось в специализированной установке для технологических и специальных испытаний образцов из полимеркомпозитов в условиях, приближенных к околоземному космическому пространству.

Эта установка позволяет произвести испытания в условиях космического пространства. Среди этих условий – воздействие ультрафиолета в вакууме, космическая радиация и воздействие перепадов температур. Длина волны вакуумного ультрафиолета составляла от 90 до 115 нм, температура облучения – 20 °С, а общее время облучения – 24 часа.

Результаты исследования и их обсуждение

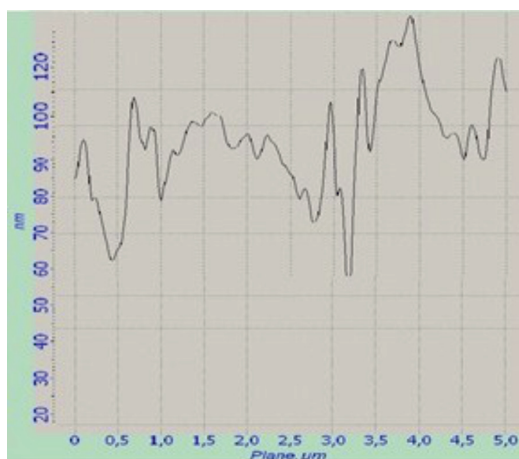
Для выяснения специфики деградации поверхностного слоя композитов под влиянием вакуумного ультрафиолетового излу-

чения была исследована морфология композитов до и после воздействия методов сканирующей зондовой микроскопией (атомно-силовой метод). Использование данного метода позволит изучить химический состав и структуру поверхности, получить изображения поверхности с атомарным разрешением, манипулировать атомами на поверхности и изучать процессы, происходящие под воздействием вакуумного ультрафиолета, протекающие на поверхности.

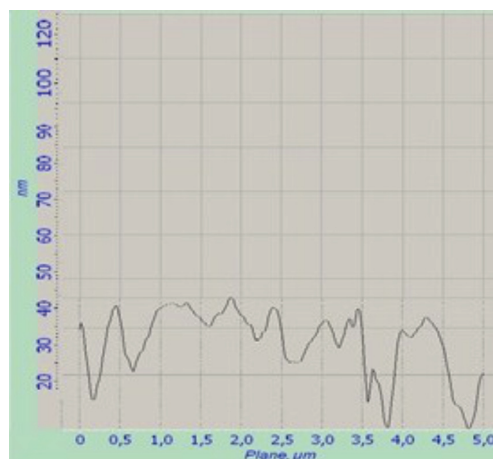
На рис. 1, а, б представлены АСМ-изображения поверхности композита до и после обработки вакуумным ультрафиолетом, полученные с помощью зондовой микроскопии. Представлены изображения поверхности композита с 65 % содержанием наполнителя. Анализ параметров шероховатости поверхности проводился на площади 5×5 мкм.

Сравнение двумерной модели рельефа поверхности композита до и после облучения вакуумным ультрафиолетом (рис. 1) указывает на изменение структуры поверхностного слоя композитов в нанодиапазоне. Облучение композитов приводит к уменьшению шероховатости поверхностного слоя, не затрагивая более глубокие слои материала.

Изменение высоты нанорельефа поверхности указывает на протекание процессов травления поверхностного слоя. На поверхности исходного композита установлено образование более рельефных остроконечных структур (рис. 1, а) в сравнении с более гладкими образованиями, наблюдаемыми у композита после облучения (рис. 1, б).



а



б

Рис. 1. Двумерная модель рельефа поверхности композита до облучения (а) и после облучения вакуумным ультрафиолетом (б)

Также авторами вычислены значения основных статистических параметров поверхности полистирольного композита по данным зондовой микроскопии, таких как максимум (max); минимум (min); 10 точек по высоте (Sz), средняя шероховатость (Sa) и среднеквадратичная шероховатость (Sq), которые также численно подтверждают, что вакуумный ультрафиолет приводит к сглаживанию рельефа поверхности.

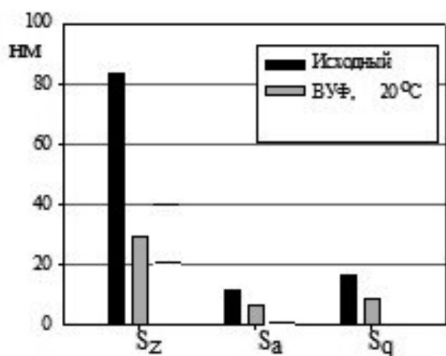


Рис. 2. Значения Sz, Sa, Sq поверхности композита до и после обработки вакуумным ультрафиолетом

Закключение

В ходе проведенных исследований были изучены свойства полимерного композита на основе полистирола и кремнийорганического наполнителя – метилполисилоксана. Его поверхность была подвергнута обработке вакуумным ультрафиолетом. Облучение вакуумным ультрафиолетом проводилось в специализированной установке для технологических и специальных испытаний образцов из полимеркомпозитов. Длина волны вакуумного ультрафиолета составляла от 90 до 115 нм, температура облучения – 20 °С, а общее время облучения – 24 часа.

Для выяснения специфики деградации поверхностного слоя композитов под влиянием вакуумного ультрафиолетового излучения была исследована морфология композитов до и после воздействия методов сканирующей зондовой микроскопией (атомно-силовой метод).

Доказано, что облучение композитов приводит к уменьшению шероховатости поверхностного слоя, не затрагивая более глубокие слои материала. Также авторами были вычислены значения основных статистических параметров поверхности полистирольного композита по данным зондовой микроскопии, такие как максимум

(max); минимум (min); 10 точек по высоте (Sz), средняя шероховатость (Sa) и среднеквадратичная шероховатость (Sq), которые также численно подтверждают, что вакуумный ультрафиолет приводит к сглаживанию рельефа поверхности.

Работа выполнена при поддержке проектной части Государственного задания Минобрнауки РФ, проект № 11.2034.2014/К.

Список литературы

1. Матюхин П.В. Жаропрочный радиационно-защитный композиционный материал конструкционного назначения / П.В. Матюхин, В.И. Павленко, Р.Н. Ястребинский, Н.И. Черкашина, В.А. Дороганов, Е.И. Евтушенко // Огнеупоры и техническая керамика. – 2014. – № 10. – С. 32–36.
2. Матюхин П.В. Термостойкие радиационно-защитные композиционные материалы, эксплуатируемые при высоких температурах / П.В. Матюхин, В.И. Павленко, Р.Н. Ястребинский, В.А. Дороганов, Н.И. Черкашина, Е.И. Евтушенко // Огнеупоры и техническая керамика. – 2014. – № 7–8. – С. 23–25.
3. Павленко В.И. Влияние вакуумного ультрафиолета на микро- и наноструктуру поверхности модифицированных полистирольных композитов / В.И. Павленко, Г.Г. Бондаренко, Н.И. Черкашина, О.Д. Едаменко // Перспективные материалы. – 2013. – № 3. – С. 14–19.
4. Павленко В.И. Влияние вакуумного ультрафиолета на поверхностные свойства высоконаполненных композитов / В.И. Павленко, В.Т. Заболотный, Н.И. Черкашина, О.Д. Едаменко // Физика и химия обработки материалов. – 2013. – № 2. – С. 19–24.
5. Павленко В.И. Влияние содержания кремнийорганического наполнителя на физико-механические и поверхностные свойства полимерных композитов / В.И. Павленко, Н.И. Черкашина, В.В. Сухорослова, Ю.М. Бондаренко // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6. – С. 95.
6. Павленко В.И. Дефектность кристаллов модифицированного гидрида титана, подвергнутого термической обработке / В.И. Павленко, О.В. Куприева, Н.И. Черкашина, Р.Н. Ястребинский // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2015. – Т. 58, № 5. – С. 125–129.
7. Павленко В.И. Изучение коэффициентов ослабления фотонного и нейтронного пучков при прохождении через гидрид титана / В.И. Павленко, О.Д. Едаменко, Н.И. Черкашина, О.В. Куприева, А.В. Носков // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2015. – № 6. – С. 21.
8. Павленко В.И. Модифицирование поверхности гидрида титана боросиликатом натрия / В.И. Павленко, Г.Г. Бондаренко, О.В. Куприева, Р.Н. Ястребинский, Н.И. Черкашина // Перспективные материалы. – 2014. – № 6. – С. 19–24.
9. Павленко В.И. Радиационно-защитный композиционный материал на основе полистирольной матрицы / В.И. Павленко, О.Д. Едаменко, Р.Н. Ястребинский, Н.И. Черкашина // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2011. – № 3. – С. 113–116.
10. Павленко В.И. Расчет ионизационных и радиационных энергетических потерь быстрых электронов в полистирольном композите / В.И. Павленко, Г.Г. Бондаренко, Н.И. Черкашина // Перспективные материалы. – 2015. – № 8. – С. 5–11.
11. Павленко В.И. Повышение эффективности антикоррозионной обработки ядерного энергетического оборудования путем пассивации в алюминийсодержащих растворах / В.И. Павленко, В.В. Прозоров, Л.Л. Лебедев, Ю.И. Слепконов, Н.И. Черкашина // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 2013. – Т. 56, № 4. – С. 67–70.
12. Павленко В.И. Экспериментальное и физико-математическое моделирование воздействия набегающего потока

атомарного кислорода на высоконаполненные полимерные композиты / В.И. Павленко, Л.С. Новиков, Г.Г. Бондаренко, В.Н. Черник, А.И. Гайдар, Н.И. Черкашина, О.Д. Едаменко // Перспективные материалы. – 2012. – № 4. – С. 92–98.

13. Павленко В.И. Эффективный способ получения термостойкого кристаллического нанопорошка вольфрамата свинца для жаростойких радиационно-защитных материалов / В.И. Павленко, Р.Н. Ястребинский, В.А. Дороганов, И.В. Соколенко, Н.И. Черкашина, Е.И. Евтушенко // Огнеупоры и техническая керамика. – 2014. – № 7–8. – С. 32–36.

14. Павленко В.И. Явления электризации диэлектрического полимерного композита под действием потока высокоэнергетических протонов / В.И. Павленко, А.И. Акишин, О.Д. Едаменко, Р.Н. Ястребинский, Д.Г. Тарасов, Н.И. Черкашина // Известия Самарского научного центра РАН. – 2010. – Т. 12, № 4–3. – С. 677–681.

15. Павленко В.И. Суммарные потери энергии релятивистского электрона при прохождении через полимерный композиционный материал / В.И. Павленко, О.Д. Едаменко, Н.И. Черкашина, А.В. Носков // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2014. – № 4. – С. 101–106.

16. Черкашина Н.И. Воздействие вакуумного ультрафиолета и кислородной плазмы на структуру и устойчивость полистирольного композита с органосилоксановым наполнителем: диссертация ... кандидата технических наук. – Белгород, 2013.

17. Черкашина Н.И. Исследование влияния вакуумного ультрафиолета на морфологию поверхности нанонаполненных полимерных композиционных материалов в условиях, приближенных к условиям околоземного космического пространства / Н.И. Черкашина, В.И. Павленко, А.С. Едаменко, П.В. Матюхин // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6. – С. 130.

18. Черкашина Н.И. Воздействие вакуумного ультрафиолета на полимерные нанокompозиты // Инновационные материалы и технологии (XX научные чтения): Материалы Межд. научно-практич. конференции. – 2010. – С. 246–249.

19. Черкашина Н.И. Моделирование воздействия космического излучения на полимерные композиты с применением программного комплекса GEANT4 // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 3. – С. 122.

20. Черкашина Н.И. Перспективы создания радиационно-защитных полимерных композитов для космической техники в Белгородской области / Н.И. Черкашина, В.И. Павленко / Белгородская область: прошлое, настоящее, будущее. Материалы областной научно-практической конференции в 3-х частях. – 2011. – С. 192–196.

21. Черкашина Н.И. Разработка наноструктурированных вяжущих на основе местного сырья Белгородской области для штукатурных растворов // В сборнике: Материалы I Международной научно-практической конференции «Проблемы строительного производства и управления недвижимостью». – Кемерово, 2010. – С. 67–70.

22. Черкашина Н.И. Синтез высокодисперсного гидрофобного наполнителя для полимерных матриц / Н.И. Черкашина, А.А. Карнаузов, А.В. Бурков, В.В. Сухорослова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2013. – № 6. – С. 156–159.

23. Ястребинский Р.Н. Модифицированные железокислотные системы – эффективные сорбенты радионуклидов / Р.Н. Ястребинский, В.И. Павленко, Г.Г. Бондаренко, А.В. Ястребинская, Н.И. Черкашина // Перспективные материалы. – 2013. – № 5. – С. 39–43.

24. Ястребинский Р.Н. Структурно-фазовая характеристика боросиликатного покрытия // Р.Н. Ястребинский, О.В. Куприева, Н.И. Черкашина // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 2014. – Т. 57, № 9. – С. 20–23.

25. Matyukhin P.V. The high-energy radiation effect on the modified iron-containing composite material / P.V. Matyukhin, V.I. Pavlenko, R.N. Yastrebinsky, N.I. Cherkashina // Middle East Journal of Scientific Research. – 2013. – Т. 17, № 9. – P. 1343–1349.

26. Pavlenko V.I. Effect of vacuum ultraviolet on the surface properties of high-filled polymer composites / V.I. Pavlenko, N.I. Cherkashina, O.D. Edamenko, V.T. Zabolotny // Inorganic Materials: Applied Research. – 2014. – Т. 5, № 3. – P. 219–223.

27. Pavlenko V.I. Modification of titanium hydride surface with sodium borosilicate / V.I. Pavlenko, O.V. Kuprieva, R.N. Yastrebinskii, N.I. Cherkashina, G.G. Bondarenko // Inorganic Materials: Applied Research. – 2014. – Т. 5, № 5. – P. 494–497.

28. Pavlenko V.I. Total energy losses of relativistic electrons passing through a polymer composite / V.I. Pavlenko, O.D. Edamenko, N.I. Cherkashina, A.V. Noskov // Journal of Surface Investigation: X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques. – 2014. – Т. 8, № 2. – P. 398–403.

29. Pavlenko V.I. Using the high-dispersity $[\alpha]\text{-Al}_2\text{O}_3$ as a filler for polymer matrices, resistant against the atomic oxygen / V.I. Pavlenko, N.I. Cherkashina, A.V. Yastrebinskaya, P.V. Matyukhin, O.V. Kuprieva // World Applied Sciences Journal. – 2013. – Т. 25, № 12. – P. 1740–1746.

30. Pavlenko V.I. Study of the attenuation coefficients of photon and neutron beams passing through titanium hydride / V.I. Pavlenko, O.D. Edamenko, N.I. Cherkashina, O.V. Kuprieva, A.V. Noskov // Journal of Surface Investigation: X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques. – 2015. – Т. 9, № 3. – P. 546–549.

31. Slyusar' O.A. Effect of additives on dispersed system structure formation / O.A. Slyusar', R.N. Yastrebinskii, N.I. Cherkashina, V.A. Doroganov, A.V. Yastrebinskaya // Refractories and Industrial Ceramics. – 2015.

32. Yastrebinsky R.N. Modifying the surface of iron-oxide minerals with organic and inorganic modifiers / R.N. Yastrebinsky, V.I. Pavlenko, P.V. Matyukhin, N.I. Cherkashina, O.V. Kuprieva // Middle East Journal of Scientific Research. – 2013. – Т. 18, № 10. – P. 1455–1462.