

# ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ ПРИ ВАКУУМНО-ТЕПЛОВИМ И УЛЬТРАФИОЛЕТОВИМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Н.И. Черкашина, В.В. Сухорослова

*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова*

E-mail: natalipv13@mail.ru

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) обладают комплексом свойств, позволяющим использовать их в качестве внешних покрытий различных космических аппаратов (КА) [1]. Однако, в условиях глубокого вакуума происходит так называемое обезгаживание композита, т.е. удаление частиц газа, как с поверхности материала, так и из его внутреннего объема, что значительно ухудшает их эксплуатационные свойства [2]. При этом важными являются количественные характеристики этого процесса – общая потеря массы, содержание летучих конденсирующихся веществ и кинетика массовыделения. Также следует отметить, что газовыделение ПКМ в космических условиях является одним из основных источников летучих веществ, способных конденсироваться на чувствительных к загрязнениям поверхностях бортовой аппаратуры, таких как поверхности оптических систем управления, элементов солнечных батарей и т.д. [3].

Космический вакуум отличается от вакуума, достижимого на Земле, не только своей глубиной и неограниченностью объема, но и тем, что в нем отсутствуют какие-либо действия молекул газа на материал: например, процессы кислородного старения и окислительная деструкция. Даже радиационные повреждения в вакууме носят менее опасный характер, чем в воздухе [4].

В начальный момент вакуумирования дегазируются вещества (газы, жидкости и их пары), адсорбированные на поверхности материала, а затем растворенные (абсорбированные) в его массе [5].

Под влиянием высокого вакуума в полимерных материалах происходит [6]:

- частичное или полное удаление газов и паров;
- испарение летучих компонентов и низкомолекулярных фракций, появление пористости;
- увеличение способности к поглощению радиации;
- увеличение рабочей температуры среды из-за отсутствия окислительных процессов.

Влияние высокого вакуума на полимерные материалы разное и зависит от их химического и структурного строения, величины вакуума и рабочей среды и требует экспериментального исследования для каждого материала.

Данная работа посвящена изучению вакуумного ультрафиолетового воздействия на ПКМ при различных тепловых режимах.

Исследованию подвергались полимерные композиты из ударопрочного полистирола (УПС), наполненные различными аморфно-кристаллическими наполнителями. Синтез композитов осуществлялся методом твердофазного

компактирования под удельным давлением 200 МПа. В качестве наполнителей применяли следующие материалы – ксерогель метилполисилоксана, аморфный кремнезем, корунд. Физико-механические показатели композитов представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Физико-механические показатели композитов**

| Наполнитель                  | Плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup> | Модуль упругости $E \cdot 10^{-4}$ , МПа |
|------------------------------|--------------------------------------|--|
| –                            | 1,056                                | 0,510                                    |
| Ксерогель метилполисилоксана | 1,105                                | 0,227                                    |
| Аморфный кремнезем           | 1,282                                | 0,583                                    |
| Корунд                       | 1,675                                | 1,146                                    |

Облучение вакуумным ультрафиолетом (ВУФ) проводилось в специализированной установке для технологических и специальных испытаний образцов из полимеркомпозитов в условиях приближенных к околоземному космическому пространству в течении 24 часов при температуре 20 °С и 125 °С. Остаточное давление вакуума в камере составляло не более 20 Па, интенсивность ВУФ – 0,5 Вт/м<sup>2</sup>, длина волны  $\lambda = 115$  нм. Испытания на газовыделение производили по стандартным методикам, определенным в ASTM E595, ESA PSS-01-702.

Анализ полученных данных по потере массы композитов представлен на рис. 1 и рис. 2. Для изделий космической техники, которые подвергаются вакуумному и тепловому влиянию, рекомендуется применять неметаллические материалы, которые имеют общую потерю массы не больше 1 %. Потеря массы для всех исследованных композитов при обычной температуре 20 °С не превысила допустимого предела, геометрические размеры остались неизменны.

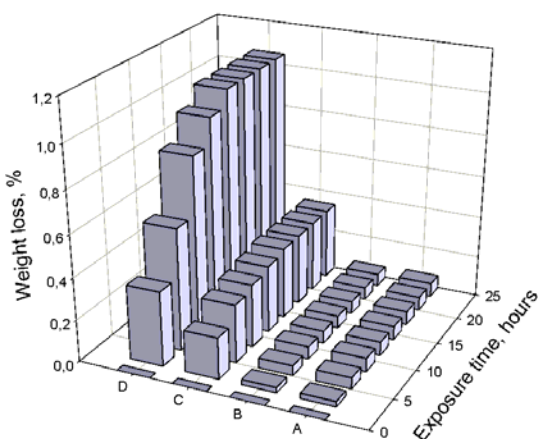


Рис. 1. Зависимость потери массы композитов от времени выдержки в камере при  $T=20$  °С: А-УПС; В– УПС с корундом; С – УПС с ксерогелем метилполисилоксана; D – УПС с

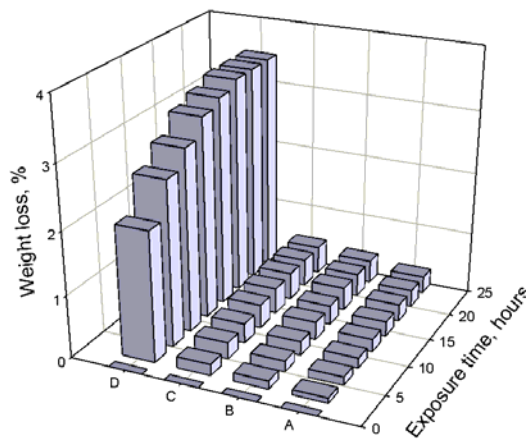


Рис. 2. Зависимость потери массы композитов от времени выдержки в камере при  $T=125$  °С : А-УПС; В– УПС с корундом; С – УПС с ксерогелем метилполисилоксана; D – УПС с кремнеземом

Наилучшие результаты (наименьшую потерю массы) показали композиты из чистого полистирола и материалы, наполненные корундом. Через 9 часов прекратилась потеря массы полистирольных образцов без наполнителя, максимальное значение которой достигло 0,065 %. Максимальная потеря массы композитов с наполнителем из корундом составила 0,072 %. Наихудшие результаты показали полимерные композиционные материалы на основе полистирольной матрицы и наполнителей – кремнегеля метилполисилоксана и аморфного оксида кремния.

Как видно из рис. 1 потери массы с ростом времени начинают замедляться и к 24 часам выходят на плато. Заметим, что потеря массы композитов увеличивается при введении наполнителей, это говорит о том, что УПС менее подвержен газовой выделению, чем исследуемые наполнители.

При  $T=125\text{ }^{\circ}\text{C}$  потеря массы всех композитов, при прочих равных условиях, выше, чем при  $T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Композиты, наполненные аморфным кремнеземом теряют более 3 % по массе, тогда как композиты с остальными наполнителями подходят по требованиям к газовой выделению, потеря массы которых не превышает порог в 1 %. Образцы из чистого полистирола полностью изменили свои геометрические параметры, а размеры высоконаполненных композитов остались неизменны. Таким образом, введение наполнителя в полистирольную матрицу приводит к уменьшению негативного воздействия температуры в вакууме.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы ГК № 14.132.21.1577.

1. Edward M. Silverman Product Development of Engineered Thermal Composites for Cooling Spacecraft Electronics. *Technology Review Journal* Vol. 13, № 2, Fall/Winter 2005 pp. 1–20.
2. Masao Akahane, Kazuhide Kanda, and Kichinosuke Yahagi Effect of dielectric constant on surface discharge of polymer insulators in vacuum. *J. Appl. Phys.* 44, pp. 2927 (1973).
3. Т. В. Boboev, V. R. Regel', Т. P. Sanfirova and N. N. Chernyi Effect of ultraviolet radiation on the life of stressed polymers under vacuum and in air. *Mechanics of Composite Materials*, Vol. 4, Numbers 4-6 (1968), pp. 511-513.
4. R. Calder, G. Lewin Reduction of stainless-steel outgassing in ultra-high vacuum. *British Journal of Applied Physics*, Vol. 18, №10, pp. 125-140.
5. Yunkang Cui, Xiaobing Zhang, Wei Lei, Jinchan Wang, Yunsong Di, Xiayi Yang, Jing Chen. Effect of outgassing on the field emission property of tetrapod ZnO. *Physica status solidi (c)* Vol. 9, Issue 1, pp. 44–47, January 2012.
6. Dargaville, Tim R., Elliott, Julie M., Celina Mathew Evaluation of piezoelectric PVDF polymers for use in space environments. III. Comparison of the effects of vacuum UV and gamma radiation. *Journal of Polymer Science Part B : Polymer Physics*, 44(22), pp. 3253-3264.