

УДК 621.793.1: 629.78

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМЫ ТЕРМОРЕГУЛИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ НА ОСНОВЕ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ НАГРЕВАТЕЛЕЙ

© Попов Д.Р., Абалихина О.В., Полянская Л.В.

*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация*

e-mail: ruslanppv@rambler.ru

Решение важного вопроса по снижению массы космических аппаратов решается разными способами, в том числе применением в системе терморегулирования тонких пленочных нагревателей, полученных при помощи нанесения специальных покрытий [1–17]. Безотказность тонкопленочных электронагревателей (ПЭН), активно применяющихся в космических аппаратах [1; 4–8], в общем случае определяется надежностью элементов, которые входят в его состав. Эти элементы находятся при воздействии внешних факторов – повышенная температура, электрические напряжения, механические вибрации и внешние факторы космической среды [1; 2; 5; 8]. Эти внешние факторы приводят к ускорению термофлуктуационных процессов в материалах, которые приводят к разрыву химических связей в материалах, диффузионным процессам, процессам накопления микроповреждений и процессам старения. Основным активизирующим фактором, ускоряющим протекание перечисленных процессов, является температура изделия [5; 6]. В связи с этим актуальной проблемой является отсутствие методики ускоренных испытаний на безотказность при длительном функционировании тонкопленочных электронагревателей системы обеспечения теплового режима космических аппаратов.

Решение указанной проблемы заключается в разработке новой методики, близкой к существующим методам ускоренной оценки нагревостойкости электрической изоляции, которая проводится за счет испытания ПЭН на ресурс при повышенных температурах. На основе экспериментальных данных по отказам тонкопленочных электронагревателей при повышенных электрических напряжениях и расчетов по полученным теоретическим соотношениям разработана физическая модель потери работоспособности при длительном функционировании, и получено аналитическое соотношение, связывающее ресурс ПЭНа с температурой его эксплуатации.

Опираясь на имеющиеся литературные данные о параметрах уравнения ресурс – температура эксплуатации для различных классов нагревостойкости материалов, получены оценочные данные по ресурсу безотказной работы ПЭН при различных температурах, определены сроки испытаний для различных температур, разработана методика экспериментального определения параметров этого уравнения и определен коэффициент ускорения испытаний для различных условий. По результатам проведенных исследований разработана методика ускоренных испытаний ПЭН на безотказность при длительном функционировании. Проведены экспериментальные исследования, разработана стратегия и определены режимы испытаний. Получен и экспериментально подтвержден коэффициент ускорения испытаний, и методом ускоренных испытаний подтверждена наработка безотказной работы изделия с покрытием.

Библиографический список

1. Барвинок В.А., Богданович В.И., Дементьев С.Г. и др. Современные технологии в авиа- и ракетостроении: учебник для студентов высших учебных заведений / под ред. В.А. Барвинка. М.: Машиностроение, 2014. 402 с.
2. Барвинок В.А. Плазма в технологии, надежность, ресурс. М.: Наука и технологии, 2005. 456 с.
3. Бобров Г.В., Ильин А.А., Спектор В.С. Теория и технология формирования неорганических покрытий. М.: Альфа-М, 2014. 925 с.
4. Барвинок В.А., Богданович В.И. Физические основы и математические методы моделирования процессов нанесения вакуумных ионно-плазменных покрытий. М.: Машиностроение, 1999. 305 с.
5. Bogdanovich V.I., Giorbelidze M.G. Mathematical modelling of thin-film polymer heating during obtaining of nanostructured ion-plasma coatings // Procedia Engineering. 2017. Vol. 201. P. 630–638.
6. Bogdanovich V.I., Giorbelidze M.G. Ion-plasma treated parts quality improvement analysis based on the re-liability theory criteria // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 1118. Article number 012004.
7. Bogdanovich V.I., Giorbelidze M.G. Ion-plasma coatings performance properties improvement obtained by arc deposition // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 1118. Article number 012005.
8. Bogdanovich V.I., Giorbelidze M.G. Main problems of mathematical modeling high energies plasma technologies // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 795. Article number 012004.
9. Bogdanovich V.I., Giorbelidze M.G. Metallographic Study of Mesostructure-Ordered Plasma Ceramic Coatings // Key Engineering Materials. 2017. Vol. 743. P. 118–123.
10. Bogdanovich V.I., Giorbelidze M.G. Mathematical simulation of surface heating during plasma spraying // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. Vol. 177. Article number 012057.
11. Bogdanovich V.I., Giorbelidze M.G. Development of mathematical model of disperse particle motion in the plasma flow in the field of boundary layer during plasma spraying // Journal of Physics: Conference Series. 2018. Vol. 1096(1). Article number 012190.
12. Bogdanovich V.I., Giorbelidze M.G. Calculation of residual stresses in plasma spray coatings taking into account the build-up process // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1368(4). Article number 042079.
13. Bogdanovich V.I., Giorbelidze M.G. Mathematical simulation of particle impact on a fixed surface in the formation of powder coatings // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1368(4). Article number 042078.
14. Bogdanovich V.I., Giorbelidze M.G. Determination of residual stresses in multi-layer plasma coatings // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 511. Article number 12005.
15. Bogdanovich V.I., Giorbelidze M.G. Mathematical Model of Powder Material Particles Heating in Thermal Spraying // Key Engineering Materials. 2018. Vol. 769. P. 336–345.
16. Bogdanovich V.I., Giorbelidze M.G. Mathematical modelling of powder material motion and transportation in high-temperature flow core during plasma coatings application // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 327. Article number 022036.
17. Bogdanovich V.I., Giorbelidze M.G. Analysis of the ceramic layer microstructure influence on plasma spray thermal barrier coating performance // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 286. Article number 012008.