

стыка при электронно-лучевой сварке / В. Я. Браверманн [и др.] // Вестн. СибГАУ. Вып. 2. 2009. С. 247–251.

2. Хараджа, Ф. Н. Общий курс рентгенотехники. М.: Энергия, 1966.

V. Ya. Braverman, V. S. Belozertsev

ANALYSIS OF X-RAY RADIATION DEPENDENCE ON MELTING CHANNEL POSITION RELATIVELY TO JOINT UNDER THE ELECTRON BEAM WELDING PROCESS

We are providing an analytical description of processes of changing the braking X-ray radiation according to position of fusion penetration channel against the seam of the welded parts during the Electron Beam Welding. The mathematical models are used for the synthesis of the automatic beam positioning systems.

Keywords: electron beam welding, X-ray radiation, mathematical expectation of beam position, electron density of distribution.

© Браверман В. Я., Белозерцев В. С., 2010

УДК 629.7.023.2:535.362

М. М. Михайлов, А. Н. Лапин

РАДИАЦИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ТЕРМОСТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ПОКРЫТИЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ НА ОСНОВЕ ТИТАНАТА БАРИЯ

Выполнен сравнительный анализ спектров диффузного отражения, интегральных коэффициентов поглощения и их изменений после облучения электронами ($E = 30$ кэВ, $\Phi \leq 3 \cdot 10^{16}$ см⁻²) покрытий на основе порошков титаната бария, модифицированных оксидом алюминия и диоксидом циркония ($Ba_{0,6}Al_{0,4}TiO_3$ и $BaTi_{0,7}Zr_{0,3}O_3$). Установлено, что использование нанопорошков Al_2O_3 и ZrO_2 вместо микропорошков при модифицировании $BaTiO_3$ приводит к увеличению радиационной стойкости покрытий.

Ключевые слова: титанат бария, спектры отражения, радиационная стойкость, покрытия, нанопорошки.

Системы терморегулирования (СТР) космических аппаратов (КА), обеспечивающие заданный тепловой режим, делятся на активные и пассивные. Активные СТР являются громоздкими, сложными в исполнении и не могут быть применены для охлаждения выносных блоков и некоторых приборов. Поэтому наряду с ними используются пассивные СТР, включающие радиаторы терморегулирования и терморегулирующие покрытия, наносимые на различные поверхности, приборы и блоки КА, температуру которых необходимо поддерживать в заданных пределах.

До настоящего времени применяются терморегулирующие покрытия, излучательная способность (ϵ) которых в зависимости от температуры практически не изменяется. Поскольку в космическом пространстве (КП) отвод тепла от КА возможен только излучением, то поддержание температуры поверхностей КА на заданном уровне при деградации интегрального коэффициента поглощения во время полета возможно за счет изменения излучательной способности покрытий в зависимости от температуры.

Соединения типа $Ba_{1-x}A_xTiO_3$ и $BaTi_{1-y}B_yO_3$ обладают фазовыми переходами (ФП), при которых по электрическим свойствам они изменяются от диэлектрического до квазиметаллического состояния. Поскольку излучатель-

ная способность определяется концентрацией носителей заряда, то в области ФП она может изменяться от значений, характерных для металлов, до значений, характерных для диэлектриков, т. е. в пределах от 0,1 до 0,96. Варьируя типом и концентрацией замещающих элементов А или В, а также условиями получения пигментов, принципиально можно управлять фазовыми переходами покрытий, изготовленными на основе таких соединений [1; 2]. В случае нагрева покрытия до температуры ФП, его излучательная способность скачкообразно увеличится, что приведет к увеличению излучаемой энергии и стабилизации температуры. Таким образом, использование таких покрытий позволит стабилизировать температуру и повысить надежность работы систем КА.

Во время орбитального полета КА под действием излучений КП в покрытиях образуются радиационные дефекты и центры поглощения, что приводит к уменьшению коэффициента отражения (ρ) и увеличению интегрального коэффициента поглощения (a_s). Излучательная способность покрытий под действием излучений практически не изменяется, поэтому температура КА, определяемая соотношением $T \sim (a_s/\epsilon)^{0,25}$, будет зависеть от значений a_s покрытия и их устойчивости к воздействию излучений КП.

Целью настоящей работы является исследование спектров диффузного отражения покрытий (состоящих на

75 % из пигмента $Ba_{0,6}Al_{0,4}TiO_3$ или $BaTi_{0,7}Zr_{0,3}O_3$ – титаната бария, модифицированного микро- или нанопорошками Al_2O_3 или ZrO_2 и на 25 % из связующего – лака КО-859) и их стабильности при облучении ускоренными электронами.

Для синтеза пигментов были использованы следующие исходные компоненты: титанат бария (чистота 99,9 %), микропорошки оксида алюминия квалификации ЧТУ 6-09-426-75 и диоксида циркония квалификации ОСЧ марки 9-2, а также нанопорошки Al_2O_3 и ZrO_2 , полученные плазмохимическим способом [3].

Спектры диффузного отражения (ρ_λ) регистрировали в области 360–2100 нм в установке-имитаторе условий КП «Спектр» [4] до и после каждого периода облучения электронами ($E = 30$ кэВ, $\varphi = 1 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$) в вакууме 10^{-6} тор на месте облучения (in situ).

Из спектров ρ_λ (рис. 1) следует, что коэффициент отражения покрытий на основе порошка $BaTiO_3$, модифицированного микропорошками на 5–7 % больше коэффициента отражения покрытий, пигменты которых модифицированы нанопорошками. Такое соотношение выполняется в области $\lambda \leq 630$ нм для покрытий на основе порошка $Ba_{0,6}Al_{0,4}TiO_3$ и по всему спектру для покрытий на основе порошка $BaTi_{0,7}Zr_{0,3}O_3$.

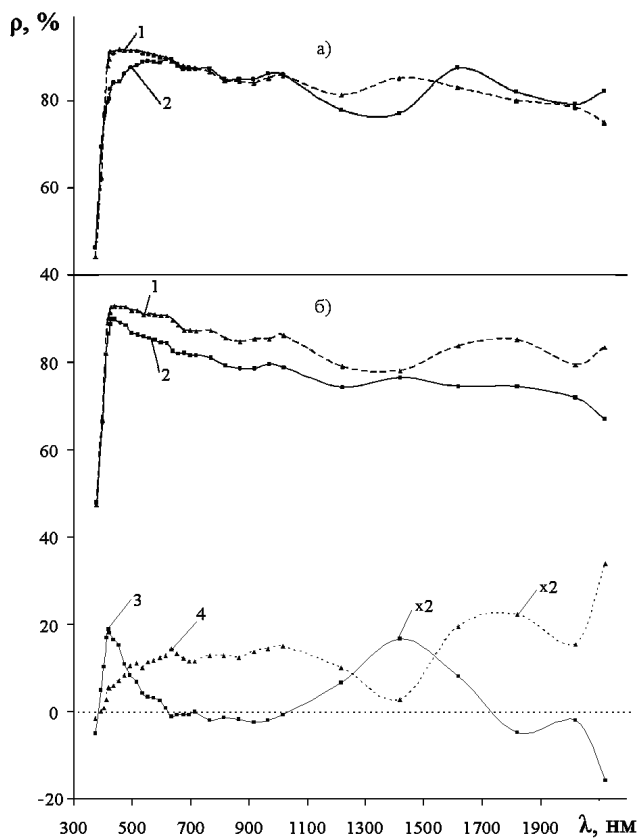


Рис. 1. Спектры диффузного отражения покрытий на основе пигментов $Ba_{0,6}Al_{0,4}TiO_3$ (а) и $BaTi_{0,7}Zr_{0,3}O_3$ (б), модифицированных микропорошками (1) и нанопорошками (2). Разностные спектры диффузного отражения, полученные вычитанием спектров 2 из спектров 1 соединений $Ba_{0,6}Al_{0,4}TiO_3$ (3) и $BaTi_{0,7}Zr_{0,3}O_3$ (4)

Коэффициент a_s , рассчитанный по методике [5], составил 0,142; 0,157; 0,156 и 0,2 для покрытий на основе

пигментов, модифицированных микро- и нанопорошками оксида алюминия, микро- и нанопорошками диоксида циркония соответственно, что позволяет исследуемые покрытия отнести к классу «солнечные отражатели».

После облучения электронами интегральный коэффициент поглощения солнечного излучения всех типов покрытий увеличивается за счет ухудшения отражательной способности. Из кинетики изменения a_s при облучении покрытий электронами (рис. 2) следует, что радиационная стойкость покрытий на основе пигментов, модифицированных нанопорошками на 10 и 20 % выше по сравнению с покрытиями, модифицированными микропорошками ZrO_2 и Al_2O_3 соответственно. Покрытия на основе титаната бария, модифицированного микро- и нанопорошками диоксида циркония обладают на 19 и 11 % большей радиационной стойкостью, чем покрытия, пигмент которых был модифицирован микро- и нанопорошками оксида алюминия.

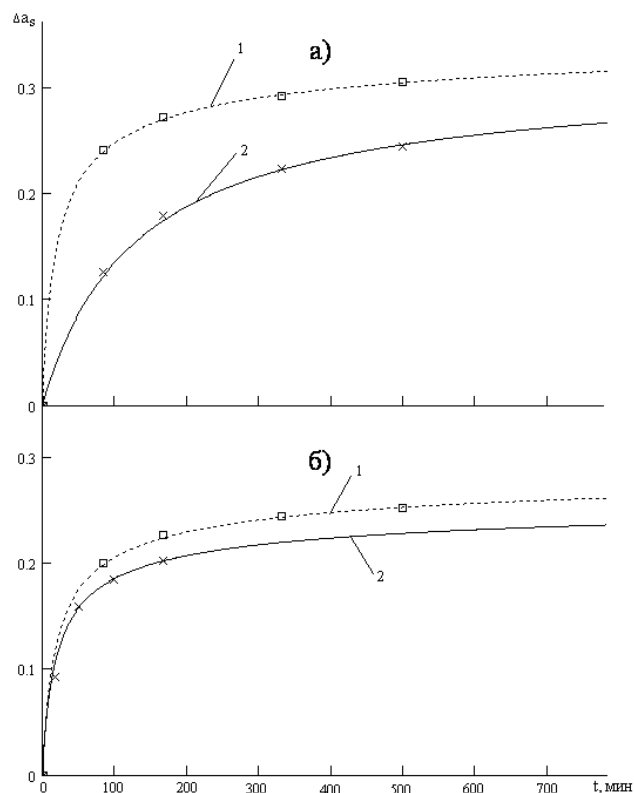


Рис. 2. Зависимость изменений интегрального коэффициента поглощения от времени облучения электронами с энергией 30 кэВ при $\varphi = 1 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ покрытий на основе пигментов $Ba_{0,6}Al_{0,4}TiO_3$ (а) и $BaTi_{0,7}Zr_{0,3}O_3$ (б) модифицированных микро- (1) и нанопорошками (2)

Выполненные исследования показали, что коэффициент диффузного отражения в области от 360 до 2 100 нм покрытий на основе титаната бария, модифицированного нанопорошками, на 5–7 % меньше по сравнению с коэффициентом диффузного отражения покрытий на основе пигментов, модифицированных соответствующими микропорошками. Уменьшение обусловлено большим поглощением собственными точечными дефектами в поверхностном слое нанопорошков, определяемым их большей удельной поверхностью.

Радиационная стойкость покрытий на основе порошков титаната бария, модифицированных нанопорошками, до 20 % больше по сравнению с радиационной стойкостью покрытий на основе порошков $BaTiO_3$, модифицированных микропорошками. Увеличение радиационной стойкости определяется релаксацией электронных возбуждений на поверхности наночастиц и меньшей концентрацией образованных центров поглощения.

Таким образом установлено, что модифицирование пигментов на основе титаната бария нанопорошками Al_2O_3 и ZrO_2 вместо соответствующих микропорошков является достаточно эффективным методом повышения радиационной стойкости термостабилизирующих покрытий, изготавливаемых на их основе.

Библиографические ссылки

1. Михайлов М. М., Соколовский А. Н. Пигменты для термостабилизирующих покрытий // Известия вузов. Физика. 2007. № 12. С. 90–91.
2. Elektronical properties of $(Ba,Sr)TiO_3$ on $(Sr,Ca)RuO_3$ electrode / Seung Yong San [et al.] // J. Mater. Sci. 1999. Vol. 34. P. 6115–6119.
3. Ларин В. К., Кондаков В. М., Дедов Н. В. Плазмохимический способ получения ультрадисперсных (нано) порошков оксидов металлов и перспективы их применения // Известия вузов. Цветная металлургия. 2003. № 5. С. 59–64.
4. Установка для исследования спектров диффузного отражения и люминесценции твердых тел в вакууме / Л. Г. Косицин [и др.] // ПТЭ. 1985. № 4. С. 176–180.
5. Johnson F. S. The solar constant // J. Metrological. 1954. Vol. 11. № 6. P. 431–439.

М. М. Mikhailov, A. N. Lapin

RADIATION RESISTANCE OF THERMO STABILIZING BARIUM TITANATE COATINGS FOR SPACE AIRCRAFTS

Comparative analysis of diffuse reflectance spectra, integral absorption factors and their change after electron irradiation ($E = 30 \text{ keV}$) for barium titanate coatings doped with aluminum oxide and zirconium oxide ($Ba_{0.6}Al_{0.4}TiO_3$ and $BaTi_{0.7}Zr_{0.3}O_3$) was carried out. It was found out that the use of Al_2O_3 and ZrO_2 nano powders instead of micro powders for doping $BaTiO_3$ increases radiation resistance of the coatings.

Keywords: barium titanate, reflectance spectra, radiation resistance, coatings, nano powders.

© Михайлов М. М., Ларин А. Н., 2010

УДК 538.971

А. С. Паршин, Г. А. Александрова, О. П. Вайтузин, Е. П. Березицкая,
Р. Е. Тихомиров, А. А. Чернятина, В. А. Харламов, Р. А. Ермолаев, В. В. Миронович

ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ НАНОПОКРЫТИЙ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ МЕТОДОМ СКАНИРУЮЩЕЙ ЗОНДОВОЙ МИКРОСКОПИИ*

Представлены результаты исследования топографии поверхности радиопрозрачных терморегулирующих покрытий методом атомно-силовой микроскопии.

Ключевые слова: радиопрозрачное терморегулирующее покрытие, атомно-силовая микроскопия.

При движении космического аппарата (КА) по орбите происходит изменение освещенности Солнцем элементов антенн, что приводит к колебаниям температуры элементов антенн в пределах до ± 140 °С. Это способно вызывать деформации рефлекторов и излучателей антенн и изменение диаграммы направленности электромагнитного излучения антенны КА. Для выполнения требований по температурным деформациям, предъявляемых к

антеннам ($\leq 0,25$ мм), необходимо уменьшение перепада температур по поверхности элементов антенн.

Эффективным способом уменьшения перепада температур на конструкции антенны является использование светоотражающего терморегулирующего экрана из радиопрозрачного материала. Температурный режим покрытия экрана обеспечивается отношением коэффициента поглощения солнечного излучения освещенной

*Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. (номер контракта П590).