

ИЗУЧЕНИЕ СТОЙКОСТИ СТЕКОЛ ПРОТИВ ЭРОЗИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЧАСТИЦ

Турсунханова Р.Б., инженер-исследователь ОМШ, ИШНПТ

Сергеев В.П., д.т.н., профессор ОМШ, ИШНПТ

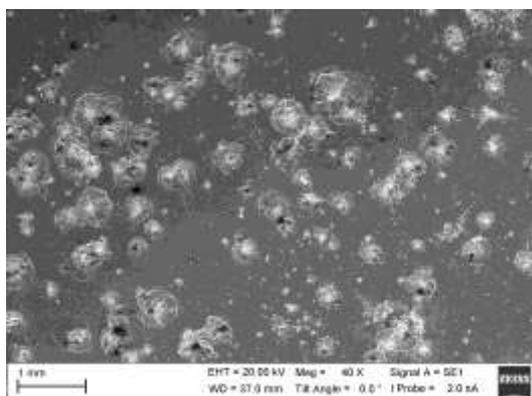
*Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,
e-mail: rbt1@tpu.ru*

В связи с активным освоением космоса и необходимостью развития техники, способной работать в экстремальных условиях космического пространства актуальной задачей становится разработка новых функциональных материалов и технологий их получения. В процессе эксплуатации космические аппараты подвергаются повреждениям из-за неоднократных столкновений с метеороидами и микроосколками космического мусора [1]. В наибольшей степени от этого страдают различные оптические элементы, такие как стекла иллюминаторов, линзы оптических аппаратов, фотоэлектрические преобразователи солнечных батарей и другие детали [2]. Вероятность встречи с крупной частицей очень мала, тогда как количество соударений с микрочастицами достаточно велико, так что за несколько лет эксплуатации на поверхности внешних стекол иллюминаторов или солнечных батарей образуется заметная эрозия и, соответственно, потеря оптических (электрических) характеристик.

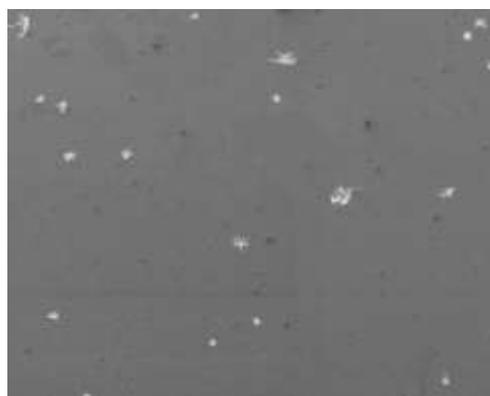
Возможным способом повышения ресурса работы указанных элементов конструкции КА может быть применение новых материалов, обладающих увеличенной стойкостью к ударам высокоскоростных частиц. В связи с этим целью данной работы являлось сравнительное изучение стойкости оптических материалов к ударному воздействию твердых микрочастиц железа.

Исследование механических характеристик проводилось на образцах перспективных оптических материалов, таких как радиационно-стойкие оптические стекла К-208 и лейкосапфир ЛВ. Испытания экспериментальных образцов стекол на ударное воздействие высокоскоростных сферических микрочастиц железа (5–8 км/с) проводили на двухступенчатой легкогазовой пушке МПХ23/8 [3]. Морфология поверхности изучалась с помощью растрового электронного микроскопа. Механические свойства (микротвердость, модуль упругости, предел прочности при центросимметричном изгибе образцов σ_B , а также трещиностойкость материала) определяли с помощью микро(нано)твердомера NanoHardnessTester ННТ–2 и деформационной машины Instron–3369.

Морфология поверхности пластины из радиационно-стойкого оптического стекла К-208 после ударного воздействия высокоскоростного потока микрочастиц железа, наблюдаемая с помощью растрового электронного микроскопа, показана на рис. 1, а.



а



б

Рис. 1. Вид поверхности пластин оптического стекла К-208 (а) и лейкосапфира ЛВ (б) после ударного воздействия высокоскоростного потока железных микрочастиц со средним диаметром ~56 мкм

Видно, что после бомбардировки высокоскоростными частицами железа в количестве, определенном массой разового заряда пушки 60 мг на полированной поверхности стекла образуются многочисленные локальные повреждения в виде кратеров – круговых углублений диаметром от нескольких десятков мкм до нескольких сотен мкм, окруженных многочисленными трещинами. Посредством определения количества кратеров (N), образовавшихся на поверхности образца, деленного на площадь поверхности образца (S), определяем поверхностную плотность кратеров (ρ). Очевидно, величина, обратная ей, будет характеризовать стойкость стекла против ударного воздействия указанного потока высокоскоростных частиц железа. В данном случае для оптического стекла К–208 (ρ) $\approx 25,2 \text{ мм}^{-2}$ (табл. 1).

Таблица 1

Средние значения поверхностной плотности кратеров ρ , предела прочности при центросимметричном изгибе σ_B , микротвердости H_μ , приведенного модуля упругости E^ и критического коэффициента интенсивности напряжений K_{IC}*

Образец	ρ , мм^{-2}	σ_B , МПа	H_μ , ГПа	E^* , ГПа	K_{IC} , МПа·м ^{1/2}
Стекло К-208	$25,2 \pm 5,3$	65 ± 8	$7,9 \pm 0,2$	$80 \pm 9,2$	$0,8 \pm 0,23$
Лейкосапфир ЛС-01	$4,73 \pm 1,8$	820 ± 14	$26,8 \pm 0,6$	402 ± 5	$2,4 \pm 0,26$

На рис. 1 (б) показана морфология поверхности пластины из лейкосапфира, наблюдаемая с помощью растрового электронного микроскопа при том же увеличении, что на рис.1 (а). Обстрел сапфировых образцов высокоскоростными частицами выполнялся по тому же режиму, что и в предыдущем эксперименте для оптического стекла. Видно, что в этом случае поверхностная плотность кратеров значительно меньше в $\sim 4,7$ раза (табл. 1). Определение предела прочности на изгиб образцов из этих материалов, микротвердости их поверхностного слоя, модуля упругости и трещиностойкости показало также значительно большие величины для лейкосапфира. По–видимому, более высокие механические свойства и обуславливают повышение стойкости пластин из лейкосапфира против ударного воздействия исследованного потока высокоскоростных частиц железа.

Таким образом, проведено сравнительное изучение стойкости перспективных оптических материалов (радиационно-стойкое оптическое стекло К–208 и лейкосапфир ЛВ) к ударному воздействию твердых микрочастиц железа, скорость которых находится в интервале 5–8 км/с. Показано, что при одном и том же режиме обстрела пластин высокоскоростными микрочастицами железа лейкосапфир обладает более высокой ударной стойкостью, чем оптическое стекло К–208, что обусловлено его лучшими механическими свойствами.

Исследование выполнено в рамках программ развития Томского политехнического университета.

Список литературы

1. Endo Y., Kojima H., Trivailo P.M. New formulation for evaluating status of space debris capture using tether-net, *Advances in Space Research.* – 2022. –Vol. 70. – P. 2976–3002.
2. Tursunkhanova R.B., Sergeev V.P., Kalashnikov M.P., Sergeev O.V., Stuzhuk V.V., Neufeld V.V. The formation of nanocomposite In-Sn-O coatings on glass to decrease local surface damage under the impact of hyper-velocity particles // *AIP Conference Proceedings.* – 2023. – Vol. 2899. – № 1. – P. 020147.
3. Герасимов А.В., Жалнин Е.В., Христенко Ю.Ф., Калашников М.П., Сергеев В.П. Стенд для исследования высокоскоростного соударения мелких частиц с преградой // Патент РФ на изобретение № 2610790, опубли. Бюл. № 5 от 15.02.2017 г.