

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МАТЕРИАЛОВ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ С ВЫСОКОСКОРОСТНЫМИ ПОТОКАМИ КОСМИЧЕСКОЙ ПЫЛИ

Ю. С. Ушеренко¹, А. И. Белоус², А. Н. Петлицкий³, С. А. Ленкевич¹

¹Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

²Национальная академия наук Беларуси, Отделение физики, математики и информатики, Минск, Республика Беларусь

³ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ», Минск, Республика Беларусь

Столкновения космических аппаратов с твердыми телами естественного и искусственного происхождения относятся к числу наиболее важных факторов, вызывающих повреждение и разрушение космических аппаратов [1]. Скорости столкновения космических аппаратов с метеоритными телами и объектами космического мусора находятся в диапазоне от 1 до 70 км/с. Твердые частицы с поперечными размерами менее 1 мм (космическая пыль) можно рассматривать как постоянно действующий на космические аппараты фактор, характеризующийся плотностью их потока. Предыдущие исследования показали, что при таких скоростях столкновения происходит интенсивное выделение энергии в ограниченном объеме вещества, сопровождающееся образованием ударных волн с последующими механическими повреждениями, плавлением, испарением и образованием плазмы, появлением электромагнитного излучения, способного отключить находящееся рядом электрооборудование [1, 2]. Столкновения потоков частиц пыли с металлическими модулями космических аппаратов долгое время рассматривались только с позиции эрозии наружной поверхности. Однако исследования показывают, что это не так [3, 4]. Дорогостоящей задачей является проведение натурных испытаний защитных свойств различных материалов, поэтому часто используется компьютерное моделирование, которое не всегда может обеспечить полное соответствие реальным условиям.

Использование метода динамического нагружения материала высокоскоростным потоком частиц порошка (в режиме СГП) обеспечивают простой и эффективный способ проверки поведения материалов и электронных систем в наземных условиях. Сверхглубокое проникание (СГП) – сложное физическое явление, когда за доли секунды поток частиц порошка с фракцией менее 200 мкм, ускоренный до скоростей 700–3000 м/с, проникает в твердое металлическое тело на глубину в десятки, сотни мм [3, 4]. Экспериментальные данные, полученные методом СГП в наземных условиях, показывают, что предложенный метод позволяет выполнить предварительную оценку влияния высокоскоростного потока на различные материалы. Исследование структуры и свойств материалов (сталей, алюминия, полимеров), подвергающихся высокоскоростному нагружению в режиме СГП, показывает, что структура материалов (рис. 1), в отличие от стандартной концепции кратерообразования, остается цельной

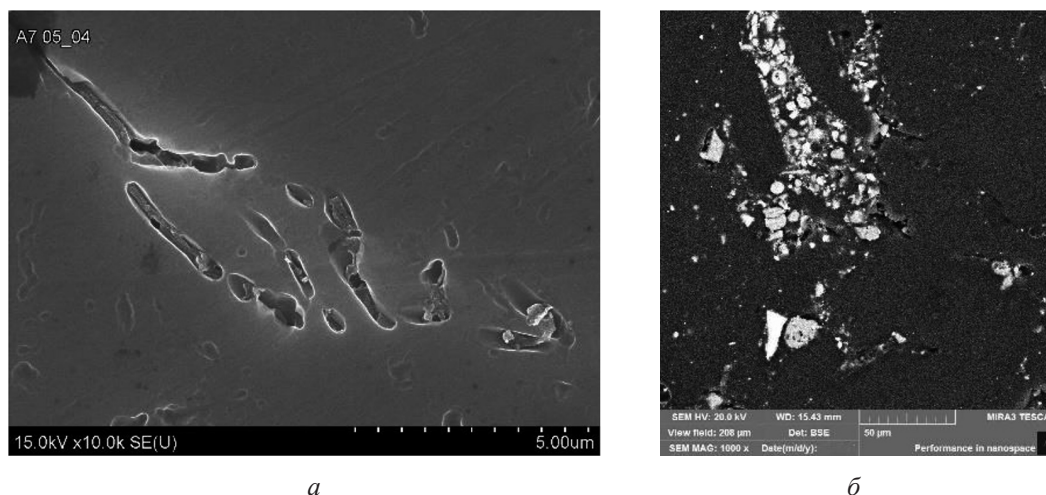


Рис. 1. *а* – Структура сплава алюминия А7 после обработки в режиме СГП потоком частиц SiC; *б* – элемент остатков порошкового потока (SiC+Al) в полимерной матрице после обработки в режиме СГП

(не образуются сквозные отверстия или кратеры), но претерпевает существенные изменения. Большой риск представляет изменение структуры и, соответственно, свойств материалов и конструкций. Показано, что изменяются такие свойства, как твердость и электропроводность, работа выхода электрона. Такое воздействие может привести к ускоренной деградации материалов и конструкций, повлиять на работу систем управления и мониторинга. На основании полученных экспериментальных данных об изменении структуры и свойств материалов под воздействием высокоскоростных потоков частиц можно сделать вывод, что такие постоянные потоки космической пыли оказывают существенное влияние на материалы, конструкции, систему управления космическими аппаратами.

Литература

1. **Belous, A.** High velocity microparticles in space: influence mechanisms and mitigating effects of electromagnetic irradiation [Text] / A. Belous, V. Saladukha, S. Shvedau. – Springer, 2019.
 2. **Hew, Y. M.** Hypervelocity impact flash and plasma on electrically biased spacecraft surfaces [Text] / Y. M. Hew et al. // International Journal of Impact Engineering. – 2018. – Vol. 121. – P. 1–11.
 3. **Ушеренко, С. М.** Объемное легирование стали в твердой фазе [Текст] / С. М. Ушеренко, Ю. С. Ушеренко, Дж. Яздани / Экстремальные состояния вещества. Детонация. Ударные волны: материалы Междунар. конф. XIX Харитоновские научные чтения. – Саров : РФЯЦ – ВНИИЭФ, 2017. – С. 253–254.
 4. **Usherenko, Y.** Dynamic Alloying of Steels in the Super-Deep Penetration Mode [Text] / Y. Usherenko et al. // Materials. – 2022. – Vol. 15, No. 6. – С. 2280.
-