

*Гришин А.Н.,
токарь 5 разряда
АО «НПО Энергомаш имени академика В.П. Глушко»
Россия, г. Химки*

ФУНКЦИОНАЛЬНО-ГРАДИЕНТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

***Аннотация:** в настоящее время функционально-градиентные материалы, набирая большую популярность в промышленности и в науке, широко используются ввиду своих преимуществ. Эти преимущества обусловлены их уникальными свойствами, которые рассматриваются автором в данной обзорной научной статье. Приведены данные об успешном использовании функционально-градиентных материалов в аэрокосмической и смежных отраслях.*

***Ключевые слова:** функционально-градиентные материалы, композиты, применение функционально-градиентных материалов в ракетостроении, космические аппараты.*

***Annotation:** functionally gradient materials gaining popularity in industry and science have been extensively used because of their advantages. The benefits are due to their unique properties, which are overviewed by the author in this review. The paper provides examples of successful implementation of functionally gradient materials in the aerospace and related areas.*

***Key words:** functionally graded materials, composites, aerospace applications of functionally graded materials, spacecraft.*

Актуальность статьи обусловлена огромным интересом к функционально-градиентным материалам (ФГМ), поиском возможности

производить материалы со свойствами, подходящими для множества высокотехнологичных вариантов применения в аэрокосмической, биоинженерной и ядерной промышленности.

Недостатком обычных композитных материалов является подверженность деформациям на дискретных стыках используемых материалов ввиду различий в их функциональных свойствах. Поэтому в 1984 году японские исследователи изобрели принципиально новый вид синергетических композитных материалов, а именно ФГМ, которые были необходимы для революционного аэрокосмического проекта [1, с. 1]. Функциональные свойства такого материала равномерно или скачкообразно изменяются при эксплуатации в экстремальных условиях (т.е., значительные градиенты механических нагрузок и температуры) за счёт градиентности состава. ФГМ совмещают в себе свойства двух (или более) материалов. Например, ФГМ, произведённый с использованием керамики и металла, обладает механической прочностью металла вкуче с термостойкостью и антикоррозийностью керамики. Благодаря возможности устранения некоторых ограничений, присущих конвенциональным композитам, ФГМ нашли обширное применение во многих научно-технологических сферах.

При запуске космический аппарат нагревается до максимальных температур, ввиду чего первоначально одной из основных целей исследования ФГМ было создание термобарьерных покрытий для космических аппаратов [2, с. 1; 3, с. 1].

В частности, жидкостные ракетные двигатели представляют собой сверхсложную конструкторскую задачу для инженеров. В камере сгорания создаются крайне неблагоприятные условия, с очень высокой температурой и внутренним давлением. Это значительно затрудняет разработку безопасной, эффективной и экономически выгодной камеры сгорания. Кроме того, традиционные методы производства ограничивают возможности решения проблемы экстремальных условий в ракетных двигателях. В случае

применения ФГМ градиентный характер состава материала камеры сгорания позволяет эффективно управлять тепловой нагрузкой, уменьшая необходимое количество материала при сохранении надёжности конструкции. Камеры сгорания, разработанные с использованием ФГМ, демонстрируют улучшенные термоструктурные характеристики по сравнению с конвенциональными аналогами.

В крупных жидкостных ракетных двигателях термобарьерные покрытия в основном используются в турбонасосах высокого давления [4, с. 82; 5, с. 154]. Термобарьерные покрытия применяют в качестве футеровки для искровых воспламенителей, корпуса турбоагнетателя, хвостовиков турбинных лопаток, и пр.

Таким образом, тепломеханические свойства ФГМ позволяют проектировать и изготавливать композиционные конструкции с высокой функциональностью, совершенствуя физико-химические свойства применяемых конструкций.

Использованные источники:

1. Vaka V., Sathujoda P., Yelike S. A review on dynamic analysis of porous functionally graded rotor systems. Материалы научной конференции с международным участием «Materials, mechanics & modeling», 29-30 августа 2020 г., Дзамшедпур, Индия. – С. 020010.
2. Miyamoto Y., Kaysser W.A., Rabin B.H., Kawasaki A., Ford R.G. Functionally graded materials: design, processing and applications // Springer Science & Business Media. – 2013. – № 5. – С. 339.
3. Mardirossian G. Fundamentals of remote aerospace technology, NBU, Sofia, 2015, С. 240.
4. Miteva A., Bouzekova-Penkova A. Some aerospace applications of functionally graded materials //Aerospace Research in Bulgaria. – 2021. – № 33. – С. 79-84.

5. Bouzekova-Penkova A., Miteva A. Aluminium-Based Functionally Graded Materials. Материалы научной конференции с международным участием «Material science, hydro- and aerodynamics and national security-2014», 23-24 октября 2014 г., София, Болгария. – С. 152–156.