

Исследование процессов теплообмена в керамических материалах для обеспечения нормального теплового режима электронной аппаратуры

М.В. Поклонская

Донской государственный технический университет

Аннотация: В данной статье рассматривается возможность применения керамических материалов с высоким коэффициентом теплопроводности в качестве материала теплоотвода для решения проблемы отвода тепла в теплонагруженных элементах электронной аппаратуры, что позволит значительно улучшить тепловые характеристики приборов и надежность их работы.

Ключевые слова: нормальный тепловой режим, тепломассоперенос, высокие температуры, коэффициент теплопроводности, керамика.

Введение

В настоящее время керамические материалы с высоким коэффициентом теплопроводности широко применяются в многочисленных областях науки и техники. Фактически, они особенно интересны для приложений, требующих многофункциональности. Благодаря своим термомеханическим свойствам они могут быть реализованы в различных системах, таких, как легковесные структуры [1], системы поглощения ударной и взрывной энергии [2], звукопоглотители [3], компактные теплотеплообменники [4], экраны электромагнитных волн и др. Нас, в рамках данного исследования, будет интересовать возможность применения керамики в качестве материала теплоотвода.

Количество опубликованных исследований, экспериментально или теоретически описывающих тепловые свойства керамических материалов при высоких температурах, относительно невелико. Поэтому целью данной статьи является разработка и описание математической модели для оценки тепловых свойств керамических материалов на основе полной численной модели сопряженной теплопередачи [5, 6].

Описание исследования

Знание свойств теплопередачи материала имеет первостепенное значение для определения размеров теплоотводящей конструкции. С тепловой точки зрения, при температуре окружающей среды в теплопередаче преобладает теплопроводность, поэтому механизмы теплопередачи в керамических материалах достаточно хорошо идентифицируются и характеризуются. При повышении температуры в электронной аппаратуре эти механизмы остаются идентичными, но радиационный перенос тепла начинает играть более значительную роль, поскольку излучаемая тепловая энергия возрастает пропорционально четвертой степени температуры [7, 8].

Определение интенсивности теплопередачи в керамических материалах с использованием стандартных методов при повышенных температурах является достаточно трудной задачей, поскольку требует дополнительных расчетов. В связи с этим рассматриваемая проблема представляет собой крупную область исследований, в том числе, и для будущих ученых [9, 10].

Для количественной оценки теплопроводности обычно используют обычное уравнение тепловой диффузии:

$$Q = k_c \cdot gradT.,$$

где Q - количество теплоты,

k_c – эффективный коэффициент теплопроводности

T – температура

Аналитическая модель нахождения значения температуры направлена на получение представления исследователями и специалистами о тепловом поведении керамического материала при повышенных температурах. При этом ставится задача расчета совмещенной теплопередачи в присутствии излучения, в соответствии с уравнениями энергии и радиационного переноса:

$$-\nabla(q_t) = -\nabla(q_c + q_r) = \left(k_c \times \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\partial T}{\partial z} + \frac{\partial k_c}{\partial z} \right) - \nabla(q_r),$$

где q_t, q_c, q_r – плотности излучательного, теплопроводного и полного тепловых потоков

k_c – эффективный коэффициент теплопроводности

T – температура

$$\mu \frac{\partial I_\lambda(z, \bar{\Delta})}{\partial z} + \beta_\lambda I_\lambda(z, \bar{\Delta}) = k_\lambda I_\lambda^0(T) + \frac{\sigma_\lambda}{2} \int_0^\pi P_\lambda(\mu' \rightarrow \mu) \times I_\lambda(z, \mu') d\mu',$$

где μ – направление интенсивности излучения,

I_λ – спектральная интенсивность излучения,

β_λ – коэффициент поглощения излучения,

σ_λ – коэффициент рассеяния излучения,

P_λ – фазовая функция рассеяния излучения,

Значение q_r берем из формулы (1)

$$z_r^z(z) = 2\pi \int_0^\infty \int_{-1}^1 I_\lambda(z, \bar{\Delta}) \mu d\mu d\lambda. \quad (1)$$

описывающей изменения координаты z .

Данная система уравнений может быть решена с использованием численных методов, таких как итеративный метод регулирования объема для уравнения энергии и метод дискретных ординат. В случае с керамическими материалами, на основании многочисленных результатов, полученных на различных структурах с различными оптическими свойствами, общая плотность теплового потока передается через поверхность. Отводимую тепловую мощность можно точно оценить сложением теплопроводного и излучательного тепловых потоков, вычисляемых независимо.

Синтез полученных численных результатов, рассчитанных с помощью аналитической модели, дает возможность оценить теплопроводные и излучающие проводимости для температур в диапазоне от температуры

окружающей среды до повышенной рабочей температуры электронной аппаратуры.

Сравнение значений, предсказанных нашей аналитической моделью, эффективных теплопроводностей, полученных для различных керамических материалов, с крупной зернистой структурой ($D/d=1$) и мелкой зернистой структурой ($D/d=4$) показано на рисунке.

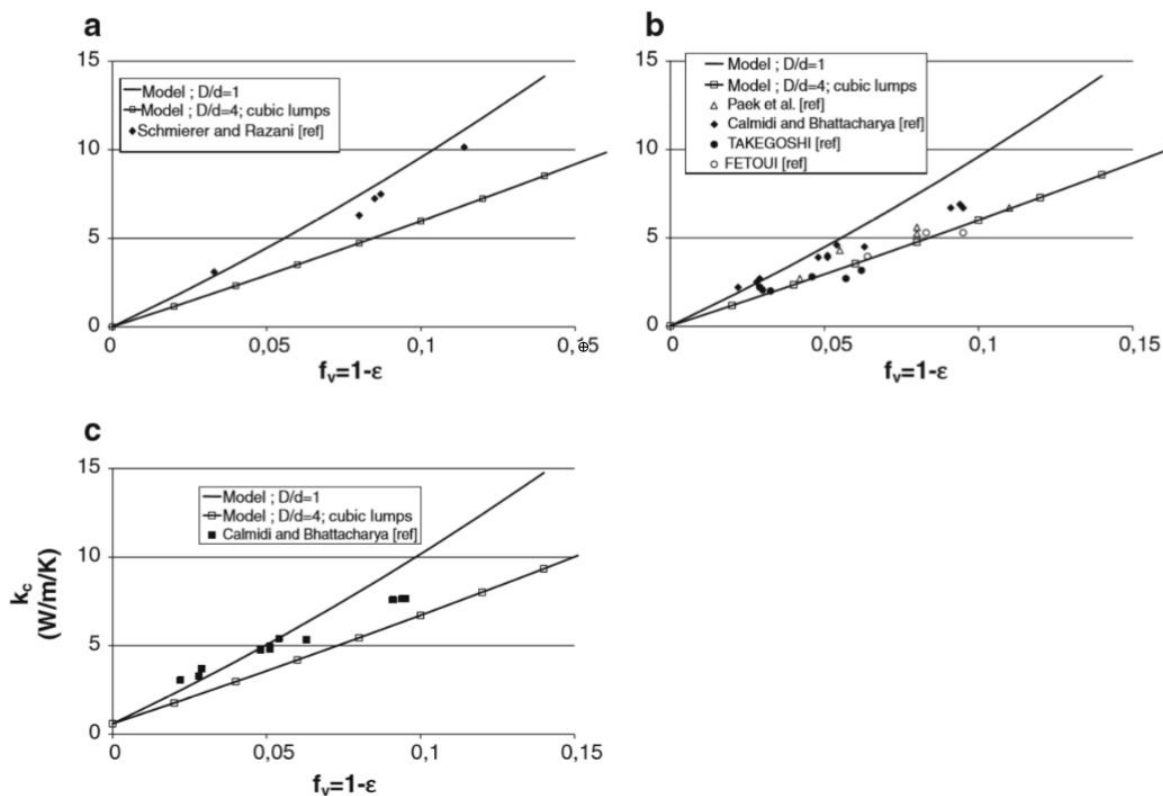


Рисунок 1. – Сравнение значений аналитических и эмпирических эффективных теплопроводностей

Теплопроводность керамического материала и воды, используемых для расчетов при температуре окружающей среды, составляет, соответственно, 218 Вт/м/К и 0,6 Вт/м/К, в то время как теплопроводность воздуха составляет 0,003 Вт/м/К.

Заключение

В заключение следует отметить, что керамические материалы обладают достаточно широким диапазоном термических и механических свойств, благодаря своей композитной природе. Именно поэтому они эффективно или потенциально широко используются, и, в частности, могут быть применены в качестве материала теплоотводящей системы.

Для обоснования выбора материала и его применения требуется точное знание теплового поведения, которое можно получить аналитически и эмпирически. Эти соотношения были построены, основываясь на результатах, полученных благодаря использованию численной модели, учитывающей реальную морфологию зернистой структуры материала.

Литература

1. Карнаух В.В., Гинкул С.И., Бирюков А.Б. Теплообмен. Теория и практика – Инфра-Инженерия, 2021, 332 с. – С. 204.
2. Лариков Н.Н. Теплотехника. Учебное пособие – М.: Стройиздат, 1985, 432 с. – С. 406.
3. Бажан П.И. Справочник по теплообменным аппаратам – М.: Машиностроение, 1989, 200 с. – С. 126.
4. Вулис Л.А. Тепловой режим горения – Л.: Госэнергоиздат, 1954, 288 с. – С. 25.
5. Салахов А.М., Салахова Р.А. Керамика: исследование сырья, структура, свойства – Издательство КНИТУ, 2013, 316 с. – С. 84.

6. Сидоров В.В. Сетчатая керамика – Археология евразийских степей, 2017 – Сс. 304-315.
7. Преснов В.А., Якубеня М.П. Спаивание керамики с металлом – Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов, 1956, Том 91 – Сс. 437-452.
8. Карпов А.Г. Титан или керамика? – Экспозиция Нефть Газ, 2012, №1 – Сс. 9-10.
9. Бердников И.М., Лохов Д.Н. Сетчатая керамика аплинского типа – Известия Иркутского государственного университета. Серия: Геоархеология. Этнология. Антропология, 2013, №2 – С. 72-83.
10. Красуцкая Н.С., Чижова Е.А., Бусель Т.С., Кладынюк А.И. Термоэлектрические свойства керамики – Труды БГТУ. №3. Химия и технология неорганических веществ, 2013, №3 – Сс. 38-42.

References

1. Karnaux V.V., Ginkul S.I., Biryukov A.B. Teploobmen. Teoriya i praktika [Heat exchange. Theory and practice]. Infra-Inzheneriya, 2021, 332 p. P. 204.
 2. Larikov N.N. Teplotexnika. Uchebnoe posobie [Heat engineering. Tutorial]. M.: Strojizdat, 1985, 432 p. P. 406.
 3. Bazhan P.I. Spravochnik po teploobmenny`m apparatam [Handbook of heat exchangers]. M.: Mashinostroenie, 1989, 200 p. P. 126.
 4. Vulis L.A. Teplovoj rezhim gorenija [Thermal regime of combustion]. L.: Gose`nergoizdat, 1954, 288 p. P. 25.
 5. Salaxov A.M., Salaxova R.A. Keramika: issledovanie sy`r`ya, struktura, svojstva [Ceramics: research of raw materials, structure, properties]. Izdatel`stvo KNITU, 2013, 316 p. P. 84.
-



6. Sidorov V.V. Arxeologiya evrazijskix stepej, 2017, pp. 304-315.
7. Presnov V.A., Yakubenya M.P. Izvestiya Tomskogo politexnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov, 1956, Tom 91, pp. 437-452.
8. Karpov A.G. E`kspoziciya Neft` Gaz, 2012, №1, pp. 9-10.
9. Berdnikov I.M., Loxov D.N. Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geoarxeologiya. E`tnologiya. Antropologiya, 2013, №2, pp. 72-83.
10. Krasuczkaya N.S., Chizhova E.A., Busel` T.S., Klady`nyuk A.I. Trudy` BGTU. №3. Ximiya i texnologiya neorganicheskix veshhestv, 2013, №3, pp. 38-42.