С. М. Хайрнасов, С. А. Руденький, Ю. Е. Николаенко,
Е. Н. Письменный, Б. М. Рассамакин, В. С. Кресанов

г. Киев, НТУУ «КПИ»

УДК 536.248.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КАПИЛЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ ПОРОШКА ОКСИДА АЛЮМИНИЯ ДЛЯ ИСПАРИТЕЛЯ АЛЮМИНИЕВОЙ КОНТУРНОЙ ТЕПЛОВОЙ ТРУБЫ

Представлены разработанные высокопористые капиллярные структуры на основе оксидов алюминия, предназначенные для применения в конструкциях контурных тепловых труб, работающих в системах охлаждения РЭА. Приведены результаты исследования параметров разработанных капиллярных структур (средний, минимальный и максимальный диаметры пор, пористость).

Определяющим направлением в работе по созданию научно-технической базы рационального конструирования контурных тепловых труб является разработка новых и совершенствование существующих капиллярных структур [1,2]. Главным ограничением теплопередающей способности является капиллярно-транспортное ограничение, обусловленное противоречивостью основных свойств капиллярной структуры – капиллярного давления и коэффициента проницаемости. Создание капиллярных структур, обладающих одновременно высоким коэффициентом проницаемости и капиллярным давлением, позволит повысить предел теплопереноса контурных тепловых труб.

Кроме того, основной проблемой стабильной работы контурных тепловых труб в условиях внешних знакопеременных тепловых нагрузок и неблагоприятных воздействий условий эксплуатации (произвольная ориентация устройства в пространстве, действие ускорений, вибраций и т.п.), что определяют условия работы РЭА [3], могут стать динамические режимы их функционирования. Так, запуск алюминиевых контурных тепловых труб [4] будет во многом зависеть от эффективной теплопроводности корпуса и капиллярной структуры, которые для алюминиевой тепловой трубы достаточно высоки. По этой причине также возможно снижение максимальной теплопередающей способности.

Поскольку применение капиллярной структуры из других металлов в конструкции алюминиевых контурных тепловых труб может привести к снижению их ресурса работы из-за коррозионной несовместимости, то необходимо искать иные конструктивно-технологические решения для повышения стабильности запуска и теплопередающей способности.

Например, для обеспечения стабильного запуска алюминиевых тепловых труб необходимо создавать высокопористые капиллярные структуры на основе оксидов алюминия с низкой теплопроводностью, а для повышения максимальной теплопередающей способности — структуры с переменной пористостью.

Хорошее сочетание капиллярных свойств, высокие прочностные свойства и возможность создания капиллярной структуры на основе оксидов алюминия с переменной пористостью и эффективной теплопроводностью могут обеспечить высокие и стабильные характеристики алюминиевой тепловой трубы, а высокие технологические свойства и сравнительно небольшая стоимость делают их перспективными для массового серийного производства.

Как указывалось выше, капиллярная структура характеризуется противоречивостью свойств, определяющих эксплутационные характеристики тепловой трубы (капиллярное давление увеличивается с уменьшение размера пор, а проницаемость при этом уменьшается). В связи с этим стоит задача поиска оптимальной поровой структуры капиллярной структуры для каждой конструкции алюминиевой тепловой трубы. Следует учитывать и возможность создания капиллярной структуры с переменной пористостью и переменной эффективной теплопроводностью. Для решения этих задач был проведен ряд работ по отработке изготовления высокопористой капиллярной структуры на основе порошка оксида алюминия Al_2O_3 с целью создания техпроцесса получения такой структуры с необходимыми параметрами.

Была разработана технология и получен материал (высокопористая оксидная керамика) на основе ультродисперсного порошка оксида алюминия (Al_2O_3 > 97 % об.) со средним диаметром частиц < 40 мкм. При этом применялись традиционные методы порошковой металлургии [5] для изготовления таких высокопористых материалов. Так, на начальном этапе техпроцесса применялось смешивание порошка определенной фракции с порообразователем, объемное содержание которого составляло более 50% об. В связи с тем, что наибольшая пористость получается в материалах с формой частиц приближенной к округлой [6,7] оксид алюминия подвергали специальной обработке в процессе смешивания.

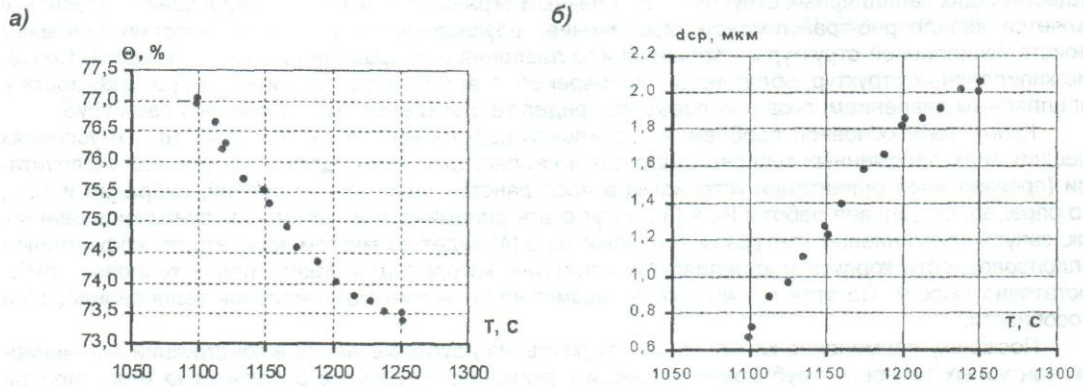
Известно [8], что при одностороннем прессовании брикетов в обычных пресс-формах плотность по высоте распределена неравномерно, возрастая с увеличением отношения высоты образца к его диаметру. Технологически допускается неравномерность распределения плотности при одностороннем прессовании при соотношении высоты к диаметру брикета равном 0,5. Более равномерное распределение плотности обеспечивается двусторонним прессованием. Поэтому формование образцов высокопористой керамики проводилось двусторонним прессованием в жестких стальных пресс-формах при давлении близком к 50 МПа. При этом достигалась высокая прочность прессовки. Высота образцов составляла от 10 до 20 мм.

В дальнейшем происходила отгонка порообразователя по отработанному режиму до температуры 900°С на воздухе. Образец приобретал необходимую прочность для его дальнейшей транспортировки и обработки.

Спекание высокопористой керамики проводилось в вакуумной печи при температуре 1100...1300°С и при давлении остаточных газов не более 10^{-4} Па. Для формирования соответствующей структуры и пористости выдержка при спекании составляла 0,5...1 час.

По окончании спекания объемная усадка такого материала составляла 55...60%.

Добавка оксида итрия стабилизировала процесс термообработки (спекания) и понизила температуру спекания пористой керамики до 1200...1300°С. В зависимости от температуры регулировались пористость и средний диаметр пор (см. р и с у н о к).



Влияние температуры спекания на пористость (*а*) и средний диаметр (*б*) получаемого образца капиллярной структуры на основе оксида алюминия

Использование такого порошка со средним диаметром частиц < 40 мкм и специальной его обработки дала возможность получить пористый материал для капиллярных насосов контурных тепловых труб.

Распределение объема пор по размерам определяли методом ртутной порометрии на поромере «Пор-Сайзер» фирмы «Micromeritics». По данным вдавливания ртути под прикладываемым давлениям строилась интегральная (суммарная) кривая распределения объемов пор по размерам, которая в свою очередь перестраивалась в дифференциальную кривую, показывающую области основных $d_{откр.пор.}$ Основные параметры капиллярной структуры пористости Θ_1,% (общая, открытая, закрытая), диаметры открытых пор $d_{откр.пор}$, мкм (максимальный, средний, минимальный), суммарный объем открытых пор $\Sigma V_{от.п.}$, см^3/г, удельная поверхность $s_{уд}$, м^2/г (м^2/см^3), рассчитывались по интегральной кривой распределения $V = f(d)$ *b* $\Delta V = f(d)$.

Обобщенные результаты по общей пористости и среднему диаметру пор приведены на рисунке.

Прочностные испытания, проводившиеся на машине для испытаний на прочность ТИРАТЕСТ 2150 R 16/88 показали, что полученный материал характеризуется относительно хорошей прочностью на изгиб (около 20 МПа).

Применяемая авторами технология получения высокопористого материала из ультродисперсного порошка имеет новшество. Это специальная подготовка — обработка смеси ультразвуком перед формованием.

Данное нововведение позволило регулировать в зависимости от исходного диаметра частиц порошка оксида алюминия пористость и диаметр паровых каналов, получать сравнительно однородную структуру распределения паровых каналов в объеме указанных выше размеров образцов материала.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований по созданию высокопористого материала для капиллярного насоса контурных тепловых труб на основе ультродисперсных порошков оксида алюминия была разработана технология получения такого материала.

Получены материалы с пористостью 70...80% и диаметром (средним) в пределах 0,7...2,2 мкм. Довольно высокие показатели по пределу прочности при изгибе (около 20 МПа), а также хорошая смачиваемость жидкостями (теплоносителями) позволяет ожидать улучшение рабочих параметров контурных тепловых труб.

Хотя двухсторонним прессованием обеспечивается более равномерное распределение плотности, однако и в этом случае образуется довольно широкая центральная зона с пониженной плотностью в середине брикета и повышенной — по краям, что соответственно влияет на равномерность распределения пористости в объеме не только прессовки, но и спеченного образца высокопористой керамики из ультродисперсного порошка Al_2O_3.

В то же время необходимо провести ряд экспериментальных работ для придания однородности структуры материала в объеме, уменьшения извилистости паровых каналов и узкого распределения паровых каналов по размерам в пределах 2...6 мкм; а также для получения образцов другими способами формования, что даст возможность создать капиллярную структуру с переменной пористостью и переменной эффективной теплопроводностью.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yu.F.Maidanik, Yu.G.Fershtater. Theoretical Basis and Classification Loop Heat Pipes and Capillary Pumped Loops // Proceedings of the 10-th International Heat Pipe Conference. – Stuttgart, Germany, 1997.
2. Кисеев В.М., Погорелов Н.П. Контурные тепловые трубы: анализ и нерешенные проблемы // Труды 2-й Российской Национальной Конференции по тепломассообмену. – М.: МЗИ, 1998.
3. Кисеев В.М., Белоногов А.Г., Беляев А.А. Влияние неблагоприятных ускорений на работу «Антигравитационной» тепловой трубы // Инж.-физ. журн. – 1986. – Vol. L, №4.
4. Экспериментальное моделирование контурной тепловой трубы / Хайрнасов С.М., Письменный Е.Н., Николаенко Ю.Е. и др. // Тепловые режимы и охлаждение радиоэлектронной аппаратуры. – 1999. – Вып.1.
5. Степанчук А.Н., Билык И.И., Бойко П.А. Технология порошковой металлургии. – К.: Выща школа, 1989.
6. Белов С.В. Пористые металлы в машиностроении. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1981.
7. Беркман А.С. Пористая проницаемая керамика. – Л.: Стройиздат, 1969.
8. Федорченко И.М., Андриевский Р.А. Порошковая металлургия. – Киев: Наукова думка, 1967.

Получено 10.01.2001