

А.М.Жижкин

УПРУГИЙ ПОРИСТЫЙ МАТЕРИАЛ МР В ТЕПЛОВЫХ ТРУБАХ

Возросшие требования к надежности техники повысили интерес к тепловым трубам (ТТ). Это объясняется высокой эффективностью тепловых труб при низкой удельной массе конструкции, высокой надежностью и широкими возможностями изменения их рабочих характеристик.

Важнейшим элементом ТТ является фитиль. Правильный выбор конструкции фитиля и его структуры определяет эффективность тепловой трубы. Обычно в ТТ фитиль выполняет функции насоса, создающего капиллярный напор; трубопровода; тела, в котором испаряется и конденсируется жидкость, что обуславливает противоречивые требования к геометрическим и структурным характеристикам фитиля и вызывает необходимость их оптимизации /1/. Ограничение теплопередающей способности, обусловленное транспортными свойствами фитилей, является одним из основных в работе низкотемпературных ТТ /2/.

В технике наиболее широко используются в качестве капиллярно-пористых тел сеточные конструкции, пористые порошковые и волокнистые материалы. Основными их достоинствами являются возможность автоматизации изготовления фитилей простых геометрических форм из порошковых материалов и простота изготовления сеточных конструкций.

Однако такие структуры имеют и недостатки, ограничивающие в ряде случаев возможности их применения: нестабильность структурных характеристик, недостаточная жесткость конструкции, нетехнологичность сеточных фитилей в трубах сложной конфигурации, чувствительность к вибрационным и ударным воздействиям (для спеченных пористых металлов).

Материалом, свободным от указанных недостатков, является упругий пористый металл МР. Он представляет собой однородную пористую массу, полученную холодным прессованием дозированной по массе вытянутой проволоочной спирали и является упругодемпфирующим, металлическим аналогом резины по своим механическим свойствам. МР имеет высокие упругодемпфирующие свойства, стабильность структуры во времени, большую активную поверхность, сравнительно простую технологию изготовления, широкий диапазон изменения пористости ($0,1 \leq \Pi \leq 0,95$), высокую статическую и динамическую прочность, работоспособность в

широком диапазоне температур (4-1800 К) и в агрессивных средах за счет применения проволок из коррозионно-стойких металлов.

В Куйбышевском авиационном институте была разработана технология изготовления фитилей простых и сложных геометрических форм из материала МР. Структурами таких изделий можно управлять технологическими приемами в процессе изготовления. Это позволяет изготавливать фитили с заранее заданными свойствами.

Вследствие особенностей структуры и возможностей технологии изготовления материал МР имеет широкие перспективы для применения в конструкциях фитилей самых различных ТТ, в том числе и гибких.

Для успешного применения в ТТ фитилей из МР необходимо знать прежде всего их транспортные свойства. Для оценки транспортных свойств фитилей ТТ используются параметр капиллярного насоса $K/\Delta L_{cp}$, представляющий отношение коэффициента проницаемости K в уравнении Дарси к среднему диаметру пор ΔL_{cp} пористой среды, максимальная высота подъема жидкости в фитиле H , комплекс KH [2].

Уравнение движения в форме закона Дарси известно из теории фильтрации [3]:

$$v = \frac{K}{\mu} \frac{\Delta P}{\Delta L}, \quad (1)$$

где v - скорость фильтрации; μ - коэффициент вязкости; $\Delta P/\Delta L$ - перепад давления на единицу длины участка фильтрации.

Средний диаметр пор ΔL_{cp} порового канала является одной из основных интегральных характеристик порового пространства. По среднему диаметру можно сравнивать материалы, изготовленные из частиц неодинаковой формы. В трубной гидравлике за определяющий размер принято использовать гидравлический диаметр Δ_2 . На основании проведенных исследований изделий из МР с изотропной структурой [4/

$$\Delta_{cp} = \Delta_2 = \frac{\pi d_n}{1 - \pi}, \quad (2)$$

где d_n - диаметр проволоки; π - пористость.

Уравнение, описывающее ламинарное течение жидкости в пористой конструкции из МР с изотропной структурой, имеет вид [4/

$$\frac{\Delta P}{\Delta L} = \frac{76.5(1 - \pi)^2}{\pi^3 d_n^2} \mu v. \quad (3)$$

Согласно уравнениям (1) и (3) для пористых конструкций из МР с изотропной структурой

$$K = \frac{\pi^3 d_n^2}{76.5(1 - \pi)^2}. \quad (4)$$

Используя выражения (2) и (4), получаем зависимость для параметра капиллярного насоса:

$$\frac{\lambda}{d_{cp}} = \frac{K}{D_2} = \frac{\pi^2 d_n}{76.5(1-\pi)} \quad (5)$$

Выражение для определения высоты подъема жидкости в МР может быть получено из уравнения равновесия капиллярных и гравитационных сил

$$\Delta H = 4\sigma \cos \theta / d_{cp};$$

$$\Delta H = \rho H,$$

где σ - коэффициент поверхностного натяжения; θ - угол смачивания; ρ - плотность жидкости.

Отсюда с учетом равенства (2)

$$H = \frac{4\sigma}{\rho} \frac{1-\pi}{\pi d_n} \cos \theta. \quad (6)$$

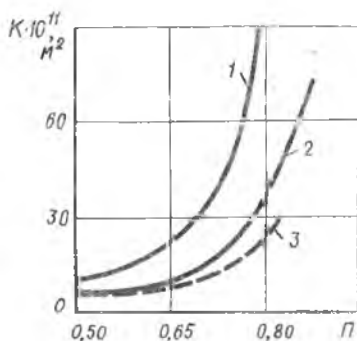
Используя уравнения (4) и (6), получим выражение для комплекса λH в фитилях из МР:

$$\lambda H = 5,23 \cdot 10^{-2} \frac{\sigma \pi^2 d_n}{\rho(1-\pi)} \cos \theta. \quad (7)$$

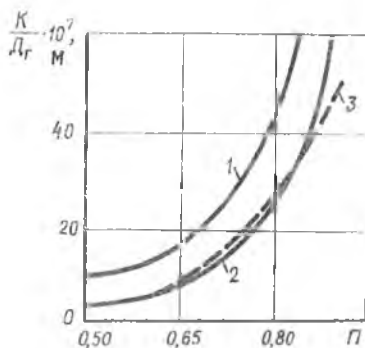
Из выражений (4) и (5) видно, что K и K/D_2 - возрастающие функции пористости и диаметра проволоки. Чем выше K и K/D_2 , тем меньше при прочих равных условиях гидравлические потери в пористом фитиле, тем больше передаваемая тепловой трубой мощность. Поэтому для тепловых труб летательных аппаратов необходимо применять конструкции с максимальными значениями K и K/D_2 [2]. Однако выбор значений пористости π и диаметра проволоки d_n имеет ограничения. Для низкотемпературных тепловых труб с металловолоконистыми фитилями (МВФ) максимальный теплоперенос обеспечивается при $\pi = 0,79$ [5]. Выбор диаметра проволоки имеет конструктивные и технологические ограничения. Как показали экспериментальные работы по созданию фитилей из материала МР [6], диапазон изменения диаметра проволок, рекомендуемый для применения, составляет 0,07...0,12 мм. Увеличение диаметра приводит к большим структурным неоднородностям конструкции. Применение диаметров менее 0,07 мм ведет к резкому возрастанию трудоемкости изготовления. Разработаны способы получения фитилей из материала МР, толщина которых 0,4...1 мм. Для их изготовления была ис-

пользована проволока из сплава ЗИ708А диаметром 0,05...0,12 мм.

На рис. 1 и 2 приведены графики зависимостей проницаемости и параметра капиллярного насоса K/d_2 от пористости Π для разных зна-



Р и с. 1. Проницаемость фитилей:
1 - $d_n = 0,09$ мм; 2 - $d_n = 0,05$ мм; 3 - МВФ

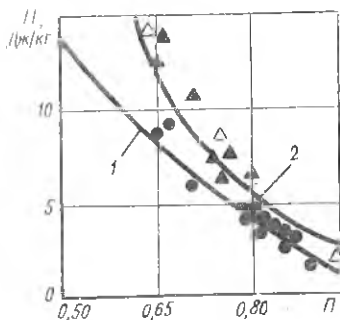


Р и с. 2. Параметр капиллярного насоса: 1 - $d_n = 0,09$ мм; 2 - $d_n = 0,05$ мм; 3 - МВФ

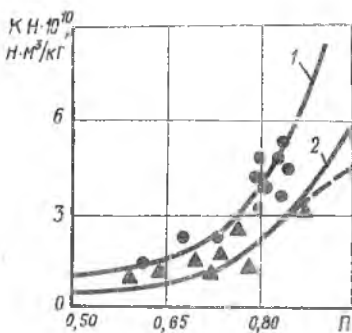
чений диаметра проволоки d_n . Штриховыми линиями приведены сравнительные данные для МВФ с оптимальной характеристикой ($e/d_B = 75$, $d_B = 0,04$ мм, где e - длина, d_B - диаметр волокна). Из графиков видно, что проницаемость у фитилей из МР выше, а параметр K/Π имеет близкие к МВФ значения.

На рис. 3 представлена графическая интерпретация зависимости (6) для максимальной высоты подъема жидкости H от пористости Π в фитиле из материала МР при угле смачивания $\theta = 0$. Точками обозначены экспериментальные данные, полученные при пропитке (заполнении) фитилей ацетоном. Экспериментальные данные хорошо согласуются с аналитической расчетной зависимостью, что позволяет принимать за эффективный размер пор фитилей из МР при пропитке жидкостью гидравлический диаметр пористой среды d_2 . Для контроля структуры фитилей могут быть использованы данные о высоте подъема в них жидкости, которые сравниваются с расчетными значениями, полученными по зависимости (1).

Комплекс K/H характеризует горизонтальную транспортную способность фитиля $/I/$ с учетом физических свойств применяемой жидкости. На рис. 4 изображена зависимость (?) K/H от пористости. Результаты экспериментов, отмеченные точками, удовлетворительно совпадают с данными расчета. Исключением служат образцы с пористостью $\Pi > 0,83$.



Р и с. 3. Высота максимального подъема
 иждкости: 1 - ● - $d_n = 0,09$ мм;
 2 - ▲ - $d_n = 0,05$ мм; Δ - МВФ
 ($d_n = 0,04$ мм; $t/d_B = 75$)



Р и с. 4. Зависимость параметра KH от пористости: 1 - ● - $d_n = 0,09$ мм; 2 - ▲ - $d_n = 0,05$ мм; рабочая жидкость - ацетон

Исхождение может быть объяснено влиянием структурной неоднородности при больших пористостях структуры изделий.

Упругий пористый материал МР эффективен для применения в ТТ простой и сложной конфигурации, работающих в условиях вибрационных и ударных нагрузок, а также в гибких ТТ.

Конструктивные и технологические возможности материала МР при использовании в ТТ шире, чем у спеченных пористых и тканых сеточных фитилей по возможностям применения различных металлов и изготовления простых и сложных форм при достаточной жесткости пористых конструкций из МР, что обеспечивает их плотное прилегание к стенкам корпуса и повышение теплопередающих свойств.

Транспортные характеристики фитилей из материала МР можно рассчитывать по полученным аналитическим зависимостям, которые удовлетворительно совпадают с результатами экспериментальных исследований. Из проведенных исследований следует, что транспортные свойства фитилей из материала МР с изотропной структурой находятся на уровне наиболее эффективных конструкций из металловолоконистых материалов.

Библиографический список

1. Низкотемпературные тепловые трубы для летательных аппаратов / Под ред. Г.И.Воронина. - М.:Машиностроение, 1976. - 200 с.

2. Исследование характеристик капиллярного впитывания фитилей тепловых труб / М.Г.Семена, А.Г.Косторной, А.Н.Гершуни и др.- Инженерно-физический журнал, 1974, т.27, №6, с.1009-1014.
3. Развитие исследований по теории фильтрации в СССР.- М.:Наука, 1969. - 546 с.
4. Белоусов А.И., Изжеуров Е.А., Сетин А.Д. Исследование гидродинамических и фильтровальных характеристик пористого материала МР.- В сб.: Вибрационная прочность и надежность двигателей и систем летательных аппаратов. Куйбышев:КуАИ, 1975, вып. 2, с.70-79.
5. Аптекарь Б.Ф., Баум Я.М., Сербин В.И. Низкотемпературные тепловые трубы.- В сб.: Теплофизические исследования. Обнинск, 1980, ч.1, с.5-41.
6. Жижкин А.М., Изжеуров Е.А., Онуфриенко А.И. Изготовление цилиндрических фитилей тепловых труб из пористого материала МР.- В сб.: Вибрационная прочность и надежность двигателей и систем летательных аппаратов. Куйбышев:КуАИ, 1985, с.20-24.

УДК 629.7.036.017.1:621.452.3.017

К.А.Жуков, В.А.Кочуров, С.Я.Селезнев

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ГТД ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПО СОСТОЯНИЮ

Академиком Н.Д.Кузнецовым неоднократно подчеркивалось, что высокий уровень конструкционной прочности авиационных газотурбинных двигателей (ГТД), как и других изделий машиностроения, определяется всеми этапами их жизненного цикла: проектированием, доводкой, производством и эксплуатацией. Чем выше научно-технический уровень решений в процессе выполнения этих этапов, тем выше прочность изделий.

В статье рассмотрены два метода диагностирования ГТД в эксплуатации:

диагностика состояния узлов проточной части по термогазодинамическим (ТГД) параметрам двигателей;

определение запаса газодинамической устойчивости (ГДУ).

Метод диагностирования проточной части ГТД по ТГД-параметрам разработан с учетом следующих требований: осуществление диагностиро-