

совые) эквивалентно-циклические испытания указанного двигателя, а также конструкторские ходовые испытания объекта.

УДК 536.546

А.М.Жижкин

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ФИТИЛЯХ ИЗ МАТЕРИАЛА МР

Гидравлические потери в пористых конструкциях определяются особенностями их внутреннего строения, физическими свойствами рабочего тела и кинематическими характеристиками потока. В общем случае зависимость между этими факторами может быть записана в виде

$$\Delta P / \Delta L = f(v_x, D_x, \rho, \mu), \quad (1)$$

где $\Delta P / \Delta L$ - потери давления, отнесенные к единице длины пористого образца;

v_x - характерная скорость течения;

ρ - плотность;

D_x - определяющий размер образца;

μ - вязкость рабочей среды [1].

Исследованию влияния различных параметров на $\Delta P / \Delta L$ в (1) посвящены многочисленные работы по пористым средам [1]. Для описания закономерностей течения жидкости при ламинарном режиме в фитилях из материала МР в [2] применена известная полуэмпирическая зависимость

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

где v - скорость фильтрации; Π - пористость; d_n - диаметр проволоки.

Используя определение коэффициента гидравлического сопротивления ξ и числа Рейнольдса Re для МР, зависимость (2) можно представить в критериальной форме [3]:

$$\xi_{дг} = \frac{153}{Re_{дг}}, \quad (3)$$

где

$$\xi_{дг} = 2\Delta\rho\Pi^3 d_{п} / \rho v^2 \Delta L (1-\Pi); \quad (4)$$

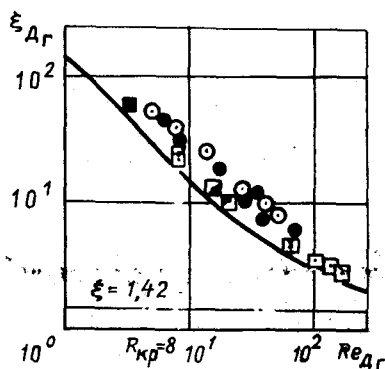
$$Re_{дг} = \rho v d_{п} / ((1-\Pi)\mu). \quad (5)$$

За определяющий размер пористой среды в формулах (3) - (5) принимали гидравлический диаметр пористой среды [3]

$$d_{г} = \Pi d_{п} / (1-\Pi). \quad (6)$$

Графическая интерпретация зависимости коэффициента гидравлических потерь $\xi_{дг}$ от числа Рейнольдса $Re_{дг}$ [3] приведена на рис. I.

Для экспериментальных исследований гидравлических потерь в фитилях из материала МР, изготовленных по [4], применялись конструкции из проволоки ЭИ708А диаметром 0,05...0,10 мм, толщина которых 0,5...0,6 мм, пористость 0,61...0,88. В качестве модельной жидкости использовали ацетон и фреон - IГЗ. Скорость фильтрации определяли по геометрическим данным образца и объему отфильтрованной в единицу времени жидкости. Коэффициент гидравлических потерь ξ и число Рейнольдса Re вычисляли по зависимостям (4), (5).



На рис. I точками показаны результаты обработки экспериментальных данных проливок фитилей. За характерный размер пористой среды был принят гидравлический диаметр (6). Отклонение положения точек от кривой [3] составляет 200%. Полученный результат нельзя объяснить погрешностью эксперимента, равной 15%. Экспериментальные точки располагаются на линиях эквидистантно кривой [3], что позволяет сделать вывод о качественной неизменности ха-

Р и с. I. Зависимость коэффициента гидравлических потерь $\xi_{дг}$ от числа Рейнольдса $Re_{дг}$ ($d_{п} = 0,09$ мм):

○	- $\Pi = 0,741$;	$\alpha = 1,56$;
●	- $\Pi = 0,752$;	$\alpha = 1,48$;
□	- $\Pi = 0,808$;	$\alpha = 1,32$;
■	- $\Pi = 0,614$;	$\alpha = 1,30$

характера течения. Однако полученные значения ξ_{Br} существенно отличаются от приведенных в [3], что указывает на различия в микро- или микроструктуре пористых конструкций. Обобщение результатов проливок образцов в критериальной форме с использованием в качестве характерного размера гидравлического диаметра обосновано для пористых сред с одинаковой внутренней конструкцией. При разных строениях внутренней геометрии лишь распределение пор по размерам является полной характеристикой микроструктуры образцов [5]. Для фитилей из МР статистическая функция плотности распределения пор по размерам, полученная методом исследования микрошлифов, выражается гамма-распределением с параметрами α и β . За характерный размер пористой структуры фитилей необходимо принять параметр, определяющий как масштабный, так и случайный факторы внутреннего строения. Такой характеристикой среды может быть отношение среднего диаметра D_{cp} к параметру распределения α :

$$\xi_{\beta} = \frac{D_{cp}}{\alpha} = \frac{D_{cp}}{D_{cp}^2 / D} = \frac{1}{\beta}, \quad (7)$$

где D — дисперсия размеров пор. использование в расчетах среднего диаметра пористой среды неудобно из-за трудоемкости его определения. Поэтому следует применить другой интегральный параметр — гидравлический диаметр пористой среды, который получен для МР аналитическим расчетом в работе [5]. Тогда, положив в (7) $D_{cp} = D_r$, (4) и (5) представим следующим образом:

$$\xi_{Br} = \frac{2 \Delta P \Pi^2 D_r}{\rho v^2 \Delta L \alpha} = \frac{2 \Delta P \Pi^3 d_n}{\rho v^2 \Delta L (1 - \Pi) \alpha}, \quad (8)$$

$$Re_{Br} = \frac{\rho v D_r}{\mu \alpha} = \frac{\rho v d_n}{\mu (1 - \Pi) \alpha}, \quad (9)$$

Зависимость коэффициента гидравлических потерь ξ_{Br} от числа Рейнольдса Re_{Br} , вычисленных по формулам (8) и (9), показана на рис. 2. Аналитическое выражение $\xi_{Br} = f(Re_{Br})$ при ламинарном режиме течения будет иметь вид

$$\xi_{Br} = \frac{112}{Re_{Br}}, \quad (10)$$

при переходном

$$\xi_{\beta r} = \frac{100}{Re_{\beta r}} + 1,42. \quad (II)$$

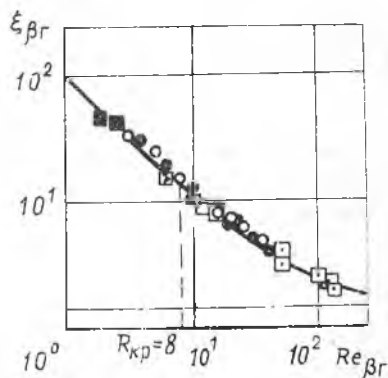
Выражения (Ю), (II), используя (8), (9), запишем так:

$$\frac{\Delta P}{\Delta L_{(л)}} = \frac{50\alpha^2(1-\Pi)^2}{\Pi^3 d_n^2} \mu v, \quad (12)$$

$$\frac{\Delta P}{\Delta L_{(л)}} = \frac{50\alpha^2(1-\Pi)^2}{\Pi^3 d_n^2} \mu v +$$

$$+ \frac{0,71\alpha(1-\Pi)}{\Pi^3 d_n} \rho v^2. \quad (13)$$

Значение параметра α для тонкостенных фитилей из МР может измениться в зависимости от равномерности укладки проволоочной спирали от 0,6 до 1,6. При равномерной укладке $\alpha = 1,4 \dots 1,6$. Значение критического числа Рейнольдса, при котором режим течения жидкости начинает отклоняться от ламинарного, равен $Re_{кр} = 8$ (см. рис. 2). Полученные результаты обработки данных по проливкам фитилей из МР показали, что различия их гидравлических потерь объясняются неоднородностью микроструктуры, которая количественно может быть определена α - параметром функции плотности распределения пор по размерам. Параметр α не зависит от масштабного фактора пористой среды и является постоянным числом для каждого типа микроструктуры. Использование в качестве характерного размера пористой среды приведенного гидравлического диаметра $D_{\beta r}$ (отношение гидравлического диаметра к параметру α) позволило обобщить экспериментальные данные полуэмпирическими зависимостями, которые аналитически можно представить формулами (Ю), (II). Для инженерных расчетов удобно пользоваться зависимостями в форме (12), (13). Следовательно, приведенный гидравлический диаметр $D_{\beta r}$ наиболее полно определяет гидродинамические свойства тонкостенных фитилей из МР по сравнению с гидравлическим (средним) диаметром, принятым в [3].



Р и с. 2. Зависимость коэффициента гидравлических потерь от числа Рейнольдса $Re_{\beta r}$ ($d_n = 0,09$ мм):

- - $\Pi = 0,741$; $\alpha = 1,56$;
- - $\Pi = 0,752$; $\alpha = 1,40$;
- - $\Pi = 0,808$; $\alpha = 1,52$;
- - $\Pi = 0,814$; $\alpha = 1,50$

Проведенные исследования показали, что гидравлические потери у тонкостенных фитилей из МР больше, чем у образцов, исследованных ранее [3] и зависят от микроструктуры пористой среды, степень неоднородности которой количественно оценивается параметром функции плотности распределения пор по размерам α .

За характерный размер пористой среды предложено принять приведенный гидравлический диаметр $d_{гг}$, который полностью определяет гидравлические потери фитилей.

Библиографический список

1. Развитие исследований по теории фильтрации в СССР (1917-1968) - М.: Наука, 1969. - 545 с.
2. Жижкин А.М. Упругий пористый материал МР в тепловых трубах // Вибрационная прочность и надежность двигателей и систем летательных аппаратов: Сб. науч. тр. - Куйбышев: КуАИ, 1986. - С.45-50.
3. Белоусов А.И., Изжеуров Е.А., Сетин А.Д. Исследование гидродинамических и фильтровальных характеристик пористого материала МР // Вибрационная прочность и надежность двигателей и систем летательных аппаратов: Сб. науч. тр. - Куйбышев: КуАИ, 1975. - Вып.2.-С.70-79.
4. Жижкин А.М., Изжеуров Е.А., Онуфриенко А.И. Изготовление цилиндрических фитилей тепловых труб из пористого материала МР // Вибрационная прочность и надежность двигателей и систем летательных аппаратов: Сб. науч. тр. - Куйбышев: КуАИ, 1985. - С.20-24.
5. Белов С.В. Пористые металлы в машиностроении. - М.: Машиностроение, 1981. - 247 с.

УДК 593.3

Г.Г.Карташов, В.А.Юдин

ВЫБОР ФУНКЦИЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ И ПОПЕРЕЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПО ТОЛЩИНЕ СЛОИСТЫХ АНИЗОТРОПНЫХ ПЛАСТИН И ОБОЛОЧЕК

При построении теории анизотропных слоистых оболочек методом гипотез одним из основных является вопрос о выборе функций, характеризующих распределение поперечных напряжений $\sigma_{\mu}(\xi)$ и перемещений $f_{\mu}(\xi)$ по толщине пакета. Этот выбор во многом определяет эффектив-