

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПЕРЕДАЮЩИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОВЫХ ТРУБ С ФИТИЛЯМИ ИЗ МАТЕРИАЛА МР

Белоусов А.И., Жижкин А.М.

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Для отработки конструкции тепловых труб (ТТ) с фитилями из материала МР, технологии изготовления и получения научных данных для создания методик расчета необходимы экспериментальные данные по их теплопередающим характеристикам. Кроме этого для подтверждения работоспособности конструкции в условиях эксплуатации проводят специальные испытания ТТ, предусмотренные техническим заданием (ТЗ) на разработку и техническими условиями (ТУ) на изготовление [1, 2].

Испытания ТТ с фитилями из МР проводились на экспериментальной базе заказчика по специальной программе. Основные положения из программы и методики испытаний приведены ниже. Заправочный и испытательный стенды были спроектированы для проверки работоспособности и снятия рабочих характеристик ТТ, предусмотренных ТЗ на разработку и ТУ, а также других специальных испытаний для отработки конструкций [2].

Программой испытаний для проверки работоспособности ТТ и соответствия ТЗ и ТУ заказчика предусматривался следующий объем испытаний [2].

После изготовления ТТ необходимо экспериментальное определение оптимальной дозы заправки ее теплоносителем с прямой транспортной зоной. Такие испытания проводились при отработке технологии изготовления ТТ, для проверки методик расчета доз заправки. Необходимость проведения таких испытаний связана со сложностью и неопределенностью внутренней геометрии структуры фитиля из МР и его заправки в корпус ТТ. Расчетная доза заправки ТТ определялась по зависимости

$$G_p = V_{\phi} \Pi \rho_{ж} + V_{\Pi} \rho_{\Pi},$$

где V_{ϕ} , Π – объем и пористость фитиля соответственно; $\rho_{ж}$, ρ_{Π} – плотность жидкости и насыщенных паров соответственно; V_{Π} – паровой объем ТТ. Величины расчетной дозы заправки приведены в табл.2.

Определение влияния угла наклона ТТ к горизонту на ее теплопередающие характеристики связано с проверкой возможности работы в условиях противодействия массовых сил (гравитации, ускорения и т.д.).

Оптимизация дозы заправки ТТ с изогнутой транспортной зоной (угол изгиба 180°) позволяет выявить влияние изгиба конструкции на внутреннюю геометрию фитиля и его прилегания к стенке корпуса на теплопередающие характеристики.

ТТ должна отработать определенный ресурс. Поэтому для обеспечения хранения и работы ТТ необходимо учесть убыль теплоносителя. Рабочая доза, учитывающая убыль теплоносителя, может быть определена по зависимости

$$G_T^P = G_T + A_D, \quad (1)$$

где G_T – оптимальная доза заправки; A_D – количество теплоносителя, необходимое для возмещения его убыли в процессе эксплуатации. Убыль теплоносителя обусловлена диффундированием его паров через стенки корпуса и сварные швы в течение всего срока эксплуатации ТТ. A_D определяется на основании экспериментальных данных.

Оптимальная доза заправки ТТ теплоносителем является то его количество, которое обеспечивает минимальный перепад температуры при заданной передаваемой тепловой мощности.

Максимальная тепловая мощность, передаваемая ТТ, заправленной рабочей дозой теплоносителя, позволяет оценить теплопередающие возможности конструкции, её запас по обеспечению работоспособности.

В качестве объекта исследования были использованы четыре нерегулируемых ТТ. Структурные характеристики фитилей приведены в табл.1.

Таблица 1

Структурные характеристики фитилей ТТ

№ фитиля	Пористость Π	Размеры, мм		
		Диаметр проволоки d_n	Диаметр спирали D_c	Толщина стенки фитиля δ_ϕ
1	0,760	0,09	0,7...0,8	0,50
2	0,783	0,09	1,2...1,3	0,50
3	0,620	0,05	0,5...0,6	0,50
4	0,750	0,09	0,7...0,8	0,20...0,55

Тепловые трубы с прямой транспортной зоной были повернуты следующим испытаниям.

Внутренний объем ТТ вакуумировали в заправочном стенде до давления не выше 10^{-3} мм рт. ст. и заправляли теплоносителем в количестве выше расчетного (в испытываемые ТТ заправлялись 6...8 г аммиака).

ТТ после заправки устанавливались в испытательный стенд и определялись теплопередающие характеристики. При этом фиксировалась температура испарителя ТТ (T_1), основного и охранный нагревателя (T_2 , T_3), теплоносителя ЛЗТК-2 (ТУ 38101388-79) на входе в стакан испытательного стенда (T_4) и на выходе из него (T_5), тепловая мощность основ-

ного нагревателя N_n .

Перепад температуры между испарителем и конденсатором

$$\Delta T = T_1 - T_4 \quad (2)$$

При уменьшении дозы заправки теплоносителя путем стравливания аммиака на 0,2...0,4г определялся перепад температуры на ТТ. Уменьшение дозы заправки G теплоносителя производили до значений, при которых после падения перепада температуры ΔT наблюдается его резкое возрастание. На основании полученных экспериментальных данных была построена графическая зависимость перепада температуры от дозы заправки $\Delta T=f(G)$. Из зависимости определены оптимальные дозы заправки, представленные в табл. 2.

Определение влияния угла установки ТТ (угла наклона продольной оси ТТ к горизонту) на ее теплопередающую способность производилось путем снятия и вычисления перепада температуры при разных углах наклона (рассматривается случай превышения испарительной зоны над конденсаторной).

Определение оптимальной дозы заправки с изогнутой транспортной зоной проводилось после изгиба транспортной зоны ТТ на 180° так, чтобы плоскость изгиба была перпендикулярна плоскости испарителя (радиус изгиба больше трех наружных диаметров корпуса тепловой трубы). Методика проведения испытаний аналогична приведенной для ТТ с прямыми транспортными зонами. Графики зависимостей представлены на рис.1, а результаты испытаний представлены в табл. 2.

Рабочая доза заправки была определена по зависимости (1), при этом принималось $A_D=0,17г$.

Определение максимальной передаваемой мощности ТТ было выполнено следующим образом.

К заправленной рабочей дозой теплоносителя ТТ была подведена начальная тепловая мощность 18 Вт (заданная по ТУ на ее изготовление) и определялся перепад температуры между испарителем и конденсатором.

Затем, увеличивая мощность на 2...5 Вт, определялся перепад температуры ΔT . Увеличение мощности производилось до тех пор, пока перепад температуры не превышал 9К или до резкого возрастания перепада температуры («запаривание» зоны испарения).

При передаче заданной по ТУ максимальной тепловой мощности перепад температуры на ТТ с фитилями из материала МР не превышает 10К, что удовлетворяет требованиям ТЗ на разработку.

Таблица 2

Дозы заправки нерегулируемых ТТ с фитилями из МР

№ тепловой трубы (фитиля)	Дозы заправки ТТ аммиаком, г			
	Расчетная	Оптимальная для прямой ТТ	Оптимальная для изогнутой ТТ	Рабочая
1	3,92	4,0	4,0	4,2
2	4,07	4,1	4,2	4,5
3	3,92	4,3	4,0	4,2
4	3,50	3,5	3,7	4,0

Анализ данных (см. табл.2) показал, что оптимальные дозы заправки для ТТ с прямыми и изогнутыми транспортными зонами отличаются в пределах погрешностей дозирования заправочного стенда. Это позволяет сделать вывод о независимости теплопередающих свойств от изгиба корпуса с фитилем относительно продольной оси. Таким образом, возможно применение материала МР в гибких тепловых трубах.

На рис. 1 и 2 приведены графики зависимостей $\Delta T=f(G)$ и $\Delta T=f(N)$ для ТТ с изогнутыми транспортными зонами (N – передаваемая мощность). Точками отмечены экспериментальные данные, а линиями их аппроксимации. Оптимальные дозы соответствуют минимальным значениям перепада температуры при передаваемой мощности 18 Вт. Из анализа экспериментальных данных следует, что при оптимальных дозах заправки разница перепадов температуры мала и составляет $0,2^{\circ}\text{C}$. Сами оптимальные дозы заправки отличаются от расчетных на 3...7%.

Такую потребность заправки может обеспечить заправочный стенд. ТТ № 1...3 не имели гофров фитилей, которые могут образоваться при гибки в случае установки фитиля в корпус с зазором. В ТТ №4 фитиль был установлен в корпус с зазором. При гибки ее корпуса образовались небольшие гофры величиной не более 1,5 мм. В результате анализа выявлено, что небольшие гофры фитиля, образовавшиеся при гибке ТТ №4, не влияют на теплопередающие свойства.

Кривая зависимости $\Delta T=f(N)$ для ТТ с фитилями №1, 2 близка к линейной. Эти ТТ передают мощность 27 Вт при перепаде температур 10К, что свидетельствует о значительном запасе по передаваемой мощности. ТТ с фитилем №3 в диапазоне передаваемых мощностей 18..25 Вт имеет резкое возрастание перепада температуры между испарителем и

конденсатором, что свидетельствует о исчерпаниии теплопередающих возможностей конструкции. Для ТТ с фитилем №4 зависимость $\Delta T=f(N)$

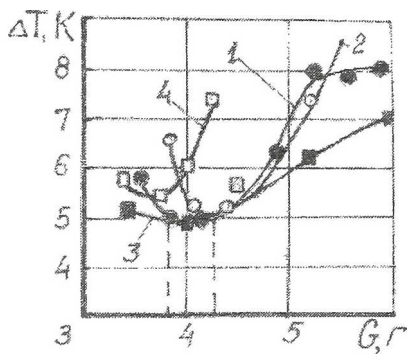


Рис.1 Зависимость перепада температуры от дозы заправки аммиаком при передаваемой мощности 18 Вт для фитилей:

● - №1; ○ - №2; ■ - №3; □ - №4

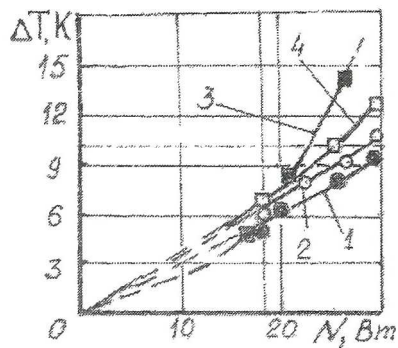


Рис. 2. Зависимость перепада температуры от передаваемой мощности при рабочей дозе заправки для фитилей:

● - №1; ○ - №2; ■ - №3; □ - №4

близка к прямой линии. Однако характер ее изменения более крутой по сравнению с предыдущими конструкциями. Причиной этому может служить неплотное прилегание фитиля к корпусу ТТ. В дальнейших работах этот фактор был исключен.

Все ТТ с фитилями из МР удовлетворяют требованиям ТЗ Заказчика на их разработку.

ТТ с фитилями из материала МР, имеющими большую пористость и диаметр проволоки, из которой они изготовлены, обладают бóльшим запасом по обеспечению работоспособности.

Список литературы

1. Дан П.Д., Рей Д.А. Тепловые трубы. М.: Энергия, 1979. -272с.
2. Разработка и исследование цилиндрических фитилей из материала МР: Отчет КуАИ. Руководитель Бузицкий В.Н. Тема 162-1. № Гос. регистрации 81063749. Инв. № 02850034916. - Куйбышев, 1983. -85 с.