

## ВПЛИВ МЕТОДУ ВИГОТОВЛЕННЯ РІЗЬБОВОГО ВИПАРНИКА ГРАВІТАЦІЙНИХ ТЕПЛОВИХ ТРУБ НА ЇХНІ ТЕПЛОПЕРЕДАВАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Dr. Р. С. Мельник, Л. В. Ліпніцький, д. т. н. Ю. Є. Ніколаєнко, к. т. н. Д. В. Козак

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
Україна, м. Київ  
m.roman.kpi@gmail.com, yunikola@ukr.net

*Наведено результати експериментальних досліджень теплового опору двох гравітаційних теплових труб з різьбовим випарником, які відрізнялися між собою методом нарізання різьби: за допомогою мітчика та за допомогою різця, при двох кутах нахилу до горизонту: 90° та 15°. Показано, що різниця між величинами теплового опору досліджуваних зразків лежить в межах 3–17 % залежно від значень теплового потоку.*

*Ключові слова:* гравітаційна тепла труба, різьбовий випарник, тепловий опір, теплопередача.

Інтенсифікація процесів теплопередачі у двофазних системах не втрачає своєї актуальності у зв'язку з постійним збільшенням теплових навантажень електронних компонентів, для термостабілізації яких використовуються двофазні теплопередавальні пристрої. Крім того, важливу роль у розвитку цього напрямку відіграє також простота методів інтенсифікації та спрощення виробничих процесів. Найпоширенішим методом інтенсифікації теплопередачі у гравітаційних теплових трубах (ГРТТ) є зміна форми та властивостей внутрішньої поверхні, наприклад: створення канавок за допомогою протягування, напилення покриттів для нарощення шорсткості, виконання різьбових канавок та ін. [1]. Одним з найпростіших методів є нарізання різьбових канавок. Оскільки існує декілька способів створення таких поверхонь, важливо знати, чи впливають вони на теплопередавальні характеристики ГРТТ, а якщо так, то необхідно визначити основні фактори такого впливу.

Метою цієї роботи є вивчення впливу метода виконання різьбової поверхні в зоні нагріву ГРТТ на її тепловий опір при двох кутах нахилу до горизонту: 90° (вертикальна орієнтація) та 15°.

а) б)

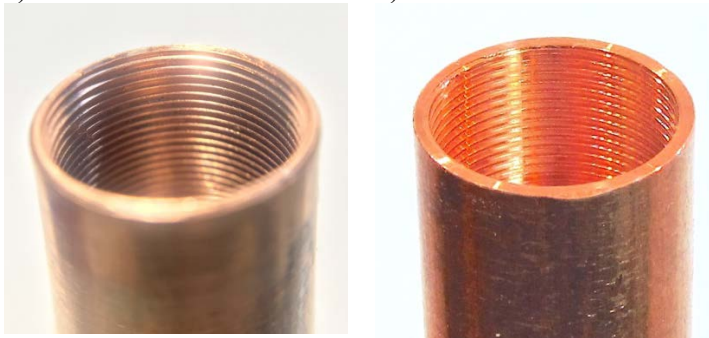


Рис. 1. Загальний вигляд зразків різьбових випарників, виготовлених за допомогою мітчика (а) та різця (б)

Для досліджень було виготовлено дві ГРТТ. Загальна довжина кожної ГРТТ складала 258 мм, довжина зони нагріву — 40 мм, довжина різьби — також 40 мм. В одній ГРТТ різьбові канавки в зоні нагріву виконувалися за допомогою мітчика (рис. 1, а, надалі зразок 1), в другій — нарізанням різьби різцем на токарно-гвинтовому верстаті (рис. 1, б, надалі зразок 2). Теплоносієм слугував фреон R141b. Коефіцієнт заповнення внутрішнього об'єму зони нагріву становив 0,46 для зразка 1 та 0,5 для зразка 2.

В обох ГРТТ для охолодження використовувався радіатор стандартного профілю в умовах вимушеної конвекції (середня швидкість руху охолоджувального повітря в каналах — на рівні 1м/с, температура повітря 20±1°C). Довжина зони охолодження — 200 мм. Для зменшення контактного теплового опору між імітатором теплового потоку та ГРТТ, а також між радіатором та ГРТТ було використано теплопровідну пасту КПТ-8. Дослідження проводились за методикою, описаною в [2].

З рис. 1, а видно, що при використанні мітчика профіль різьби є “неповним” (вершини дещо притуплені), що пов'язано безпосередньо з конструкцією мітчика. Крім того, помітні дефекти, що

виникли в процесі нарізання різьби та пов'язані з характеристиками міді, яка є досить пластичним і «в'язким» матеріалом, що призводить до підвищення ризиків виникнення дефектів при обробленні. Також помітна різниця в якості поверхні. Що ж до різьби, виконаної різцем (рис. 1, б), то вона позбавлена описаних вище дефектів, має «повний» профіль і більш гладку поверхню.

Результати експериментальних досліджень теплового опору  $R$  обох ГРТТ представлено на рис. 2.

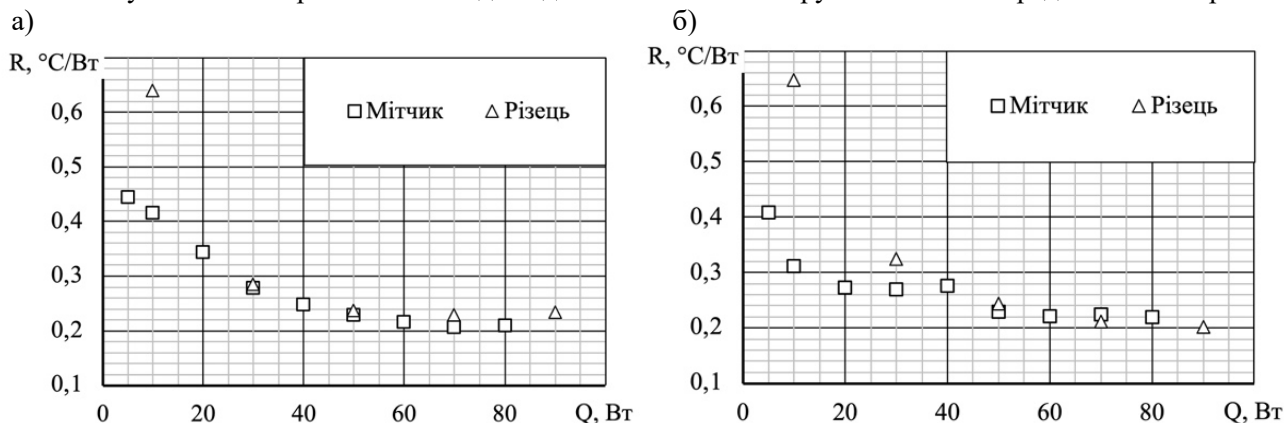


Рис. 2. Залежність теплового опору ГРТТ від підведеного теплового потоку в умовах кута нахилу до горизонту 90° (а) та 15° (б)

Як видно, найбільша різниця між значеннями  $R$  зразків ГРТТ спостерігається при малих значеннях теплового потоку  $Q$  незалежно від кута нахилу. При вертикальній орієнтації ГРТТ (рис. 2, а) та  $Q = 10$  Вт тепловий опір зразка 2 вищий, ніж зразка 1, на 53,8%, а при куті нахилу ГРТТ 15° (рис. 2, б) — перевищує його більше ніж вдвічі. Це можна пояснити тим, що при малих теплових потоках важливу роль відіграє шорсткість поверхні, що впливає на ефективність функціонування у випарному режимі. Різьба зразка 2 є більш якісною, проте це підвищує тепловий опір на початку функціонування. Подальше зростання теплового потоку в обох випадках призводить до зменшення різниці в значеннях теплового опору, адже змінюється режим функціонування з випарного на активне кипіння. Так, наприклад, якщо при  $Q = 30$  Вт й куті нахилу 15° різниця в тепловому опорі становить 17%, то при  $Q = 70$  Вт вона не перевищує 5%. Тобто, з підвищенням теплового потоку та активізацією кипіння роль якості поверхні різьби зменшується. Навіть при тому, що на більш шорстких поверхнях виникає більше центрів пароутворення, вплив їхньої кількості нівелюється в умовах активного кипіння зі зростанням теплового потоку. Механізм нівелювання впливу базується на захопленні парових бульбашок, що не відірвались від поверхні, а також злиттям сусідніх центрів пароутворення.

Таким чином, можна зробити висновок, що в умовах малих теплових потоків якість поверхні різьби значно впливає на теплопередавальні характеристики ГРТТ, і за допомогою правильного вибору методу нарізання різьби можна покращити їхні стартові характеристики.

#### ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Dhanalakota P., Abraham S., Mahapatra P. S. et al. Thermal performance of a two-phase flat thermosyphon with surface wettability modifications. *Appl. Thermal Eng.*, 2022, vol. 204, 117862.
2. Ліпницький Л. В., Мельник Р. С., Ніколаєнко Ю. Є та ін. Вплив форми гравітаційної теплової труби з різьбовим випарником на її теплопередавальні характеристики. *Технологія та конструювання в електронній апаратурі*, 2023, № 1-2, с. 27–33. <https://doi.org/10.15222/ТКЕА2023.1-2.27>

R. S. Melnyk, L. V. Lipnitskyi, Yu. Ye. Nikolaenko, D. V. Kozak

#### Dependence of heat transfer characteristics of gravity heat pipes on threaded evaporator manufacturing method

The paper presents the results of experimental studies of the thermal resistance of two gravity heat pipes (GHPs) with a threaded evaporator. The difference between the two was in the method of threading: one used a tap, while the other a cutter, at two angles of inclination to the horizon: 90° and 15°. It is shown that, depending on the values of the heat flux, the difference between the values of the thermal resistance of the studied samples is within the range of 3–17%.

Keywords: gravity heat pipe, threaded evaporator, thermal resistance, heat transfer.