

## ДО РОЗРАХУНКІВ ПОЧАТКУ ЗАКИПАННЯ ВОДИ НА ПОРИСТИХ ПОВЕРХНЯХ ТЕПЛОВИХ ТРУБ І ТЕРМОСИФОНІВ

ШАПОВАЛ А.А., к.т.н., с.н.с., СТРЕЛЬЦОВА Ю.В., асп-нт, магістр  
НТУУ України «Київський політехнічний інститут», м. Київ

*Метою роботи є дослідження впливу характеристик і параметрів металоволокнистих по-ристих матеріалів (МВПМ), які є перспективними для практичного застосування у двофазних те-плопередавальних пристроях, на процеси закипання води на металевих поверхнях, вкритих МВПМ. Створено спеціальне обладнання для експериментальних досліджень. Досліджено вплив ряду па-раметрів і характеристик МВПМ на температурні напори початку кипіння води на поверхнях, вкритих пористими матеріалами. Отримані результати узагальнені у вигляді емпіричної форму-ли, що враховує основні фізичні характеристики МВПМ; формула є придатною для відповідних інженерних розрахунків*

Теплові труби (ТТ) і термосифони (ТТ) з капілярними структурами (КС) є перспективними фізико-технічними двофазними пристроями, всередині яких теплота переноситься на відносно ве-ликі відстані від зон нагрівання ТТ (теплопідведення) до зон охолодження (тепловідведення). ТТ та їх різновиди – ТС мають широкий спектр технічного застосування і використання у багатьох га-лузях техніки. За допомогою ТТ можна успішно вирішувати ряд складних теплофізичних проб-лем та теплотехнічних задач [1]. Проблемним питанням сьогодення є створення серійного вироб-ництва вітчизняних ТТ і ТС та ефективних капілярно-пористих металевих матеріалів (останні є важливими конструктивними складовими елементами ТТ і ТС). Фізико-технічні характеристики КС (пористість  $\Theta_{\text{КС}}$ , теплопровідність  $\lambda_{\text{КС}}$ , товщина  $\delta_{\text{КС}}$ , проникність та інші) здатні істотно вплива-ти на теплофізичну ефективність ТТ і ТС. Одним із важливих чинників, що впливають на роботу (функціонування) ТТ і ТС, є температурний напір – різниця температур  $\Delta t = t_{\text{ст}} - t_{\text{рід}}$ . При віднос-но невеликих значеннях температурних напорів початку закипання рідин-теплоносіїв  $\Delta t_{\text{пз}}$  (всере-дині теплових труб, у зонах їх нагрівання) теплові труби працюють («стартують») більш ефектив-но. Експериментальні дослідження впливу характеристик КС на  $\Delta t_{\text{пз}}$  раніше майже не проводи-лись. Авторами здійснено такі дослідження; деякі результати представлено нижче.

Для проведення експериментальних досліджень впливу на  $\Delta t_{\text{пз}}$  характеристик пористих мета-левих КС волокнистої будови [2] створено відповідне обладнання (в Інституті проблем матеріало-знавства НАН України; рис. 1). Виконано ряд експериментальних досліджень. У процесі експери-ментів основною змінною характеристикою КС була їх пористість  $\Theta_{\text{КС}}$ ; діапазон зміни значень:  $\Theta_{\text{КС}} = 40-87\%$ . Товщина КС становила  $\delta_{\text{КС}} = 0,2 - 4,0$  мм (значення  $\delta_{\text{КС}}$  обумовлені товщинами КС всередині ТТ). Матеріали МВКС – технічна мідь (М1) та іржостійка сталь (9Х18Н10Т).

Методика проведення експериментів та теплофізичних вимірювань була аналогічною мето-дикам, які детально описано у працях [3,4]. З метою підвищення точності отримуваних результатів досліди проведено як у режимах поступового збільшення підведених (до зразка КС) значень гус-тини теплового потоку  $q$  [Вт/м<sup>2</sup>], так і при поступовому зменшенні таких значень. Процес початку закипання води на пористій поверхні фіксували візуально, при першому появленні парового стру-меня у найбільш крупних порах металевого пористого покриття (капілярної структури).

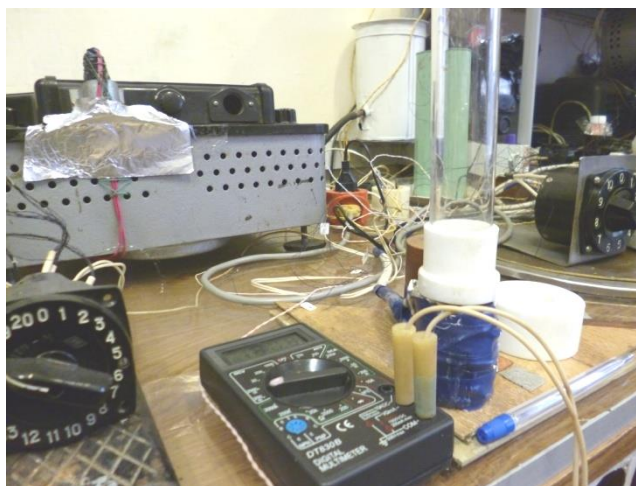
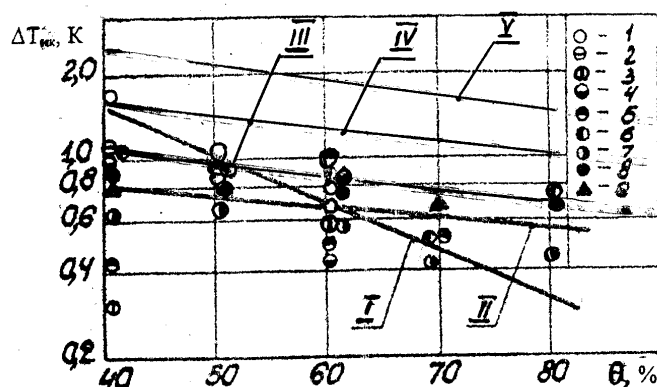


Рис. 1. Загальний вигляд експериментальної установки для досліджень впливу характеристик пористих капілярних структур-покриттів на початок закипання води в умовах її вільного руху на пористих поверхнях

Ряд отриманих експериментальних даних представлено на рис. 2. Результати досліджень за-свідчили наступні факти: 1) значення температурних напорів  $\Delta t_{\text{пз}}$  є істотно нижчими порівняно з кипінням на гладких технічних поверхнях (в аналогічних умовах руху води); 2) в основному на  $\Delta t_{\text{пз}}$  у даних умовах впливає пористість КС. Величини  $\Delta t_{\text{пз}}$  при кипінні води на відносно «гладких» технічних поверхнях становлять від 7 до 12°C (за даними різних дослідників). Отриманий у наших дослідках діапазон  $\Delta t_{\text{пз}}$  становить 0,5-2,0°C. Фізична інтерпретація зменшення значень температурних напорів на пористих поверхнях полягає у наступному: каркас пористої структури у мікропорах, утворюваних у місцях приєднання КС до гладкої поверхні, інтенсивно підігриває мік-рошар рідини (води), за рахунок своєрідного «мікрооребрення». При цьому рідина починає закипати раніше, ніж на гладких поверхнях.



Товщина шару пористих волокнистих матеріалів (покриттів): 1 – 0,1 мм; 2 – 0,2; 3 – 0,4; 4 – 0,6; 5 – 0,8; 6 – 1,0; 7 – 2,0; 8 – 4,0; 9 – 10,0. Криві: I – результати розрахунків за формулою, отриманою у [5]; розрахунки за формулою авторів: II – для мідних КС; III – для алюмінієвих КС; IV – для сталевих КС (Ст45); V – для КС з іржостійкої сталі (9X18H10T)

Рис.2. Вплив характеристик металевих пористих волокнистих матеріалів на температурні напори при закипанні на пористих поверхнях (в умовах вільного руху води)

У ряді робіт [2,5,6] показано, що при зменшенні пористості КС так звана «каркасна» теплопро-відність КС (коефіцієнти  $\lambda_{\text{к}}$ ) істотно збільшується. При зменшенні пористості  $\theta_{\text{кв}}$  значення серед-ніх розмірів пор  $D_{\text{еф}}$  у КС відповідно зменшуються. Вихід парової фази рідини (води) через парові канали-стволи утруднюється, а температурні напори  $\Delta t_{\text{пз}}$  – відповідно збільшуються. В результаті процес зменшення пористості  $\theta_{\text{кв}}$  поступово «наближає» властивості пористої поверхні до властивостей гладкої поверхні, тобто – до відповідного

збільшення значень  $\Delta t_{пз}$ . Отримані нами експериментальні результати, представлені на рис. 2, підтверджують цей факт.

Отримані в роботі результати експериментальних досліджень авторів задовільно узагальнюються емпіричною формулою, яка дозволяє розраховувати температурні напори при закипанні води на поверхнях із металоволокнистими КС:

$$\Delta T_{пк} = c \cdot \Delta T_{пк.г.г.} \cdot \lambda_k^m \cdot \Theta^n \cdot d_{эф}^p,$$

де  $\Delta T_{пк.г.г.}$  – температурний напір початку кипіння на гладкій технічній поверхні, [K];  $c$  – коефіцієнт пропорційності;  $\lambda_k$  – коефіцієнт каркасної теплопровідності КС (покриття), [Вт/(м·К)];  $\Theta$  – пористість КС (діапазон зміни  $\Theta$  – від 0 до 1);  $d$  – ефективний (середній) розмір пор КС [м];  $c = 0,25$ ;  $m = 0,25$ ;  $n = 0,2$ ;  $p = 0,15$ .

Формула може бути рекомендована для практичних інженерних розрахунків, необхідних для розробок і конструювання замкнутих теплопередавальних пристроїв (зокрема, наприклад – термосифонів з КС), які функціонують у режимах двофазного теплообміну.

### Література

1. Справочник по теплообменникам в 2-х т. Т. 2 [Текст] / Пер. с англ. под ред. О.Г.Мартыненко и др. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 352 с.: ил.
2. Косторнов, А.Г. Проницаемые металлические волокновые материалы [Текст] / А.Г.Косторнов – К.: Техніка, 1983. – 128 с.
3. Kostornov, A.G. A Study of Heat Pipe Evaporators with Metal Fiber Capillary Structures [Текст] / A.G.Kostornov, A.A.Shapoval, M.G.Lalor, O.Mgaloblishvili, J.C.Legros // USA, Journal of Enhanced Heat Transfer, 19 (1): 43-52 (2012).
4. Шаповал, А.А. До розрахунків коефіцієнтів тепловіддачі в зонах нагрівання теплових труб і термосифонів з металевими високопроникними капілярними структурами [Текст] / А.А.Шаповал, Є.М.Панов, Ю.В.Сауліна та ін. // Ресурсо-енергоефективні процеси, технології та обладнання хім. вир-тв і підпр-тв: Зб-к доп. III Всеукр. н.-пр. конф. студ., асп., наук-ців. – К.: НТУУ „КПІ”. – 2014, 23-24 квітня. – С. 5-6.
5. Семена, М.Г. Тепловые трубы с металловолоконными капиллярными структурами [Текст] / М.Г.Семена, А.Н.Гершуни, В.К.,Зарипов – К.: Вища школа, 1984. – 215 с.
6. Вишенский, С.А. Характеристики капиллярно-пористых материалов [Текст] / С.А.Вишенский, В.С.Каштан В.С. и др. – К.: Вища школа, 1988. – 168 с.