

УДК 536.24

ОСОБЛИВОСТІ ЗАКИПАННЯ ВОДИ НА ПОРИСТИХ ПОВЕРХНЯХ ТЕПЛОПЕРЕДАВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ ХІМІКО-ТЕХНІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Шаповал А.А., к.т.н., доц., Панов Є.М., д.т.н., проф., Стрельцова Ю.В., аспірант,
Руденок М.В., магістрант, Мандрійчук О.М., магістрант
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Представлено результати експериментальних досліджень та інженерних розрахунків впливу основних характеристик і параметрів пористих металевих волокнистих структур на початок закипання води на пористих поверхнях двофазних теплопередавальних пристроїв. Отримано емпіричну формулу, необхідну для інженерних розрахунків коефіцієнтів тепловіддачі в умовах, типових для зон нагрівання теплових труб і термосифонів, функціонуючих у складі хімічного та пакувального обладнання

Дослідження впливу характеристик металевих капілярно-пористих матеріалів-структур (МК ПМ) [1,2], приєднаних до поверхонь зон нагрівання елементів технічних пристроїв, на початок кипіння води на таких поверхнях є важливою науково-технічною задачею. Пористі матеріали є функціональними елементами двофазних теплопередавальних пристроїв: теплових труб (ТТ) та термосифонів (ТС) [3-5], розвиток та практичне застосування яких є одним із аспектів сучасної техніки.

До ряду визначальних характеристик МПКМ належать пористість Θ , теплопровідність λ , розміри пор (середній D_{ef} та максимальний D_{max}), інші характеристики. Параметри волокнистих МПКМ – товщина δ , довжина L волокон та їх діаметр d . Показники впливу зазначених характеристик та параметрів на температурні напори при закипанні рідин на поверхнях з МПКМ на сьогодні майже не досліджені; останнє стало метою роботи.

Використано експериментальну установку Інституту проблем матеріалознавства НАН України, елементи якої представлено на рис.1. Імітувались умови функціонування ТС: кипіння в умовах вільної конвекції води та кипіння (пароутворення) в умовах капілярного транспорту води (умови роботи ТТ). Дослідні зразки металоволокнистих матеріалів мали різні характеристики та параметри, які варіювались у діапазонах: пористість $\Theta_{пм} = 35-95\%$ (0,35-0,95); теплопровідність $\lambda_{пм} = 0,2-70$ Вт/(м·К); товщина $\delta_{пм} = 0,1-10$ мм; довжина металевих волокон (фракцій) $L_{в} = 3-12$ мм; діаметр волокон $d_{в} = 20-70$ мікронів; матеріали МПКМ – мідь (М1) та іржостійка сталь (9Х18Н10Т).

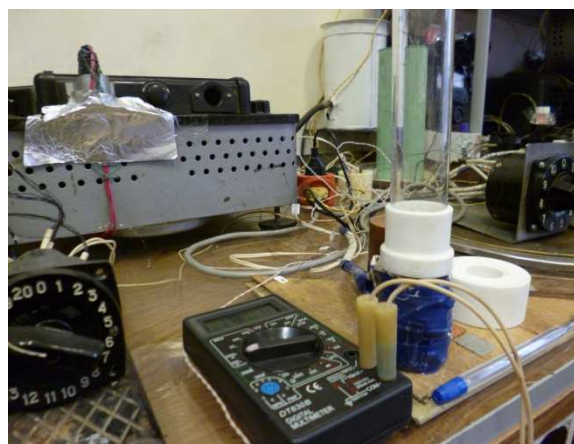
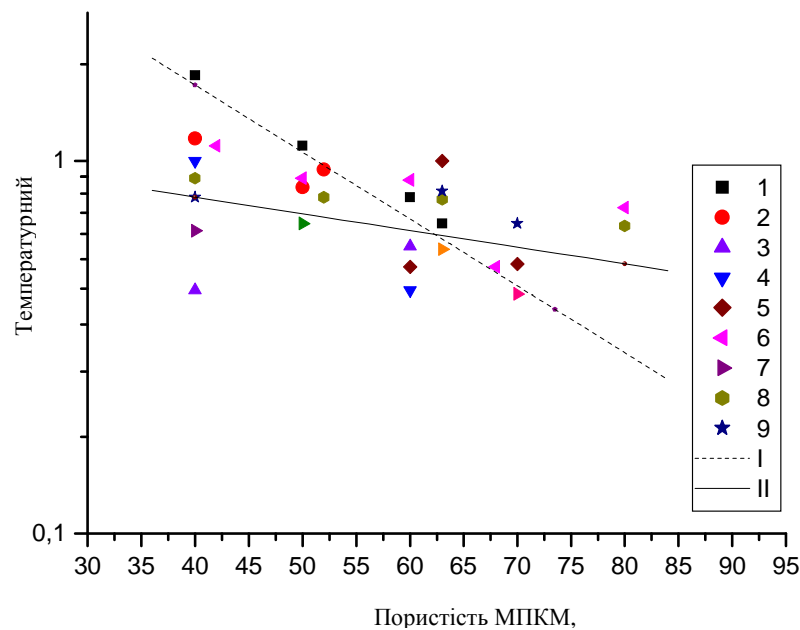


Рис. 1. Обладнання та робочі ділянки експериментальної установки для досліджень впливу характеристик пористих матеріалів на початок закипання води на пористих поверхнях

Особливістю досліджень було наступне: експерименти в умовах вільного руху води виконували з існуванням певного «недогріву» води до температури кипіння. За розрахункові приймали температурні напори $\Delta T_{\text{зак}}$, які отримували в умовах досягнення температури води, близької до значень температури «догріву» (майже до кипіння). Початок закипання води фіксували візуально, при появі та відриві перших парових пухирців (парових струменів), які утворювались у порах-ка-налах. Вимірювали значення температурних напорів $\Delta T_{\text{зак}}$ (для кожного експериментального зразка МПКМ), які вважали визначальними для початку закипання води на пористих поверхнях.

Результати експериментів, виконаних в умовах вільного руху води на пористих поверхнях, представлено на рис. 2 у вигляді залежності $\Delta T_{\text{зак}} = f(\Theta_{\text{пм}})$, при зміні значень теплопровідності $\lambda_{\text{пм}}$ МПКМ та середнього (ефективного) діаметра пор $D_{\text{еф}}$.



Товщина шару пористих волокнистих матеріалів (покрив): 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 [2]; II – розрахунки за формулою авторів, для мідних МПКМ

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

При кипінні води на гладких технічних поверхнях в умовах її вільної конвекції температурні напори ($\Delta T = T_{\text{пов}} - T_{\text{кип}}$), необхідні для процесу закипання, знаходяться у діапазоні 7-10 °С [2,3]. Результати авторів [2], відображені у вигляді кривої I (рис. 2), свідчать, що зі збільшенням пористості волокнистих МПКМ температурні напори початку закипання зменшуються. Для високопористих МПКМ характерним є наявність великої кількості «крупних» пор, у яких капілярні сили є слабкішими у порівнянні з такими силами у «мільких» порах. Дія капілярних сил має істотне значення для росту парових пухирців та руху пари через парові канали. Теплофізичні характеристики МПКМ, у першу чергу – їх теплопровідність $\lambda_{\text{пм}}$, також впливають на процеси пароутворення та на вихід пари через канали («стволу»). Як свідчать отримані авторами експериментальні дані (рис. 2), вплив пористості $\Theta_{\text{пм}}$ волокнистих МПКМ на температурні напори закипання $\Delta T_{\text{зак}}$ є аналогічним, порівняно з даними авторів [2] (крива I на рис. 2 розрахована за формулою, запропонованою у [2]). Проте наші результати (крива II на рис. 2) свідчать, що ступінь впливу пористості Θ МПКМ є істотно меншим (слабкішим), порівняно з результатами розрахунків, виконаними за відповідною формулою авторів [2].

В результаті узагальнення значної кількості отриманих експериментальних даних запропоновано емпіричну формулу, що дозволяє визначати температурні напори закипання води при її вільній конвекції (умови, типові для функціонування термосифонів) на поверхнях з волокнистими МПКМ, для умов атмосферного тиску повітря:

$$\Delta T_3 = c \cdot k \cdot \Delta T_3^{0,25} \cdot \Theta^m \cdot \lambda_{\kappa} \cdot D_{\text{эф}}^p, \quad (1)$$

де $\Delta T_3^{0,25}$ – температурний напір початку закипання води на технічних гладких поверхнях (визначається за формулами, відомими з літератури); коефіцієнт $c = 0,25$; $m = 0,25$; $n = 0,2$; $p = 0,15$. Коефіцієнт k залежить від теплопровідності вихідних металів волокнистих фракцій МПКМ; розраховується він за емпіричною формулою наступним чином:

$$k = 2,15 - 0,003 \cdot \lambda_{\text{мет}}. \quad (2)$$

Вплив теплопровідності волокон, отриманих з інших металів (крім міді), на початок закипання води та інших рідин в умовах їх вільного руху має бути дослідженим додатково. Значення розрахункових параметрів і характеристик МПКМ у отриманих формулах (у системі СІ) застосовуються у безрозмірному вигляді.

Виконані дослідження дозволяють кількісно оцінити вплив характеристик і параметрів металевих пористих волокнистих пористих матеріалів на початок закипання води в умовах, типових для функціонування двофазних теплопередавальних пристроїв – теплових труб і термосифонів. Отримані результати досліджень узагальнено у вигляді емпіричної формули, що дозволяє здійснювати інженерні розрахунки значень температурних напорів закипання води на пористих поверхнях перспективних теплообмінних пристроїв, призначених для ефективних систем хіміко-технічного обладнання.

Література

1. Белов С.В. Пористые материалы в машиностроении [Текст] / С.В.Белов // – М.: Машиностроение, 1981. – 352 с.
2. Семена М.Г. Тепловые трубы с металловолоконными структурами [Текст] / М.Г.Семена, А.Н.Гершуни, В.К.Зарипов– К.: Техніка, 1984. – 282 с.
3. Дан П. Тепловые трубы [Текст] / П.Дан, Д.Рей // – М.: Машиностроение, 1981. – 352 с.
4. Васильев Л.Л. Теплообменники на тепловых трубах [Текст] /Л.Л.Васильев // – Минск: Наука и техника, 1981. – 144 с.
5. Шаповал А.А. К моделированию процессов теплообмена при кипении на поверхностях с неупорядоченными пористыми структурами [Текст] / А.А.Шаповал // Минск: Тепломассообмен ММФ-2000, т.5: Тепломассообмен в двухфазных системах. – 2000. – С. 198-204.