

ROMAN DYGA

Wydział Mechaniczny, Politechnika Opolska, Opole

Wpływ udziału faz na wnikanie ciepła przy przepływie dwufazowym przez struktury siatkowe

Wprowadzenie

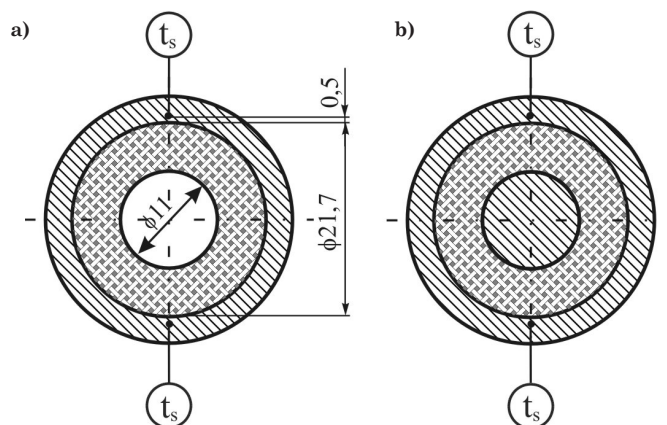
W praktyce przemysłowej często wykorzystuje się aparaty, których przestrzeń wewnętrzna wypełniona jest materiałem porowatym. Wypełnienie porowate w sposób zróżnicowany wpływa na intensywność wnikania ciepła do/od ścianki aparatu wypełnionego. Decydujące znaczenie w tym względzie ma struktura wypełnienia porowatego oraz warunki przepływu. Jednym z wielu stosowanych w praktyce przemysłowej wypełnień porowatych są struktury siatkowe złożone z kilku nałożonych na siebie warstw siatki metalowej. Możliwość wykonania siatki o praktycznie dowolnym rozmiarze oczka i średnicy druta pozwala kształtować wypełnienia z dużym zakresem zmian porowatości i powierzchni właściwej.

Większość prac, poruszających zagadnienia wymiany ciepła przy przepływie dwufazowym w aparatach wypełnionych, dotyczy przepływów dwufazowych jednoskładnikowych powstających na drodze odparowania lub kondensacji. Jedynie w nielicznych pracach [1, 2] opisywane są zjawiska cieplne występujące przy przepływie gaz – ciecz bez przemiany fazowej. Szczególnie mało informacji odnosi się do ruchu ciepła przez wypełnienie siatkowe. Jako przykład publikacji w tym zakresie można przytoczyć prace [3, 4].

Badania doświadczalne

Przeprowadzono własne badania doświadczalne, których przedmiotem było wyznaczenie strumienia ciepła wymiennego pomiędzy ogrzewaną ścianką kanału wypełnionego strukturą siatkową i przepływającym w nim płynem dwufazowym powietrze-woda. W tym celu prowadzono pomiary temperatury obydwu faz przed i za kanałem oraz temperatury powierzchni grzewczej. Na potrzeby bilansowania układu oraz interpretacji wyników badań prowadzono również pomiary rzeczywistych udziałów faz oraz ciśnienia w kanale. Badania realizowano w instalacji, której podstawowym elementem był wypełniony strukturą siatkową kanał pomiarowy o długości całkowitej 2 m. Wypełnienie wykonano ze zwiniętej siatki stalowej o rozmiarze oczka 1,3 mm i średnicy druta 0,25 mm. Zwinięta siatka tworzyła wielowarstwowe pierścieniowe wypełnienie o porowatości 76,4%. Badania prowadzono w kanałach wypełnionych na dwa sposoby. W pierwszym przypadku płyn przepływał przez wypełnienie siatkowe oraz niewypełniony rdzeń rury (Rys. 1a). W drugim kanale wolny od wypełnienia rdzeń rury zaślepiono nieporowatą masą na całej długości kanału. Uzyskano w ten sposób kanał o przekroju pierścieniowym całkowicie wypełniony strukturą siatkową (Rys. 1b).

Ogrzewanie kanału realizowano na długości 0,92 m za pomocą nawiniętego na zewnętrznej powierzchni rury elektrycznego sznura grzewczego. Na wylocie z kanału znajdował



Rys. 1. Rozmieszczenie wypełnienia siatkowego oraz termopar w ściance kanałów pomiarowych: a) kanał częściowo wypełniony; b) kanał całkowicie wypełniony

się izolowany cieplnie separator, w którym mierzono temperatury podgrzanych faz po ich grawitacyjnym rozdzielaniu. Pomiary temperatury realizowano za pomocą termopar typu K. Udziały objętościowe faz w sekcji grzewczej mierzono tzw. metodą pułapkową, w której równocześnie odcinany jest wlot i wylot kanału.

Analiza wyników badań

Analiza intensywności wymiany ciepła między ogrzewaną ścianką i mieszaniną dwufazową została przeprowadzona w oparciu o gęstość strumienia ciepła q_{2F} , tzn. strumień ciepła przypadającego na powierzchnię wewnętrzną A ogrzewanego odcinka kanału

$$q_{2F} = \frac{Q_{2F}}{A} \quad (1)$$

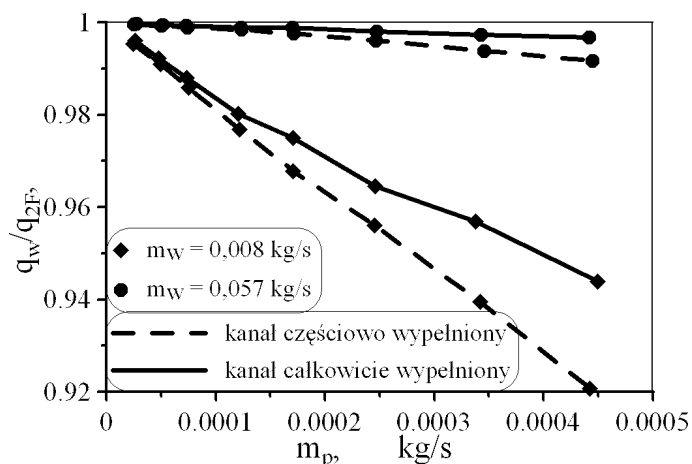
Strumień ciepła Q_{2F} jest liczbowo równy sumie strumieni ciepła pobranych przez powietrze Q_p i wodę Q_w

$$Q_{2F} = Q_w + Q_p \quad (2)$$

Wartość strumieni Q_w i Q_p wyznaczono w oparciu o bilans ciepła, na podstawie zmierzonych temperatur faz przed i za sekcją (odpowiednio $t_{i,1}$ i $t_{i,2}$) grzewczą oraz ich strumieni masowych m_i . Ciepło niezbędne do podniesienia temperatury fazy i wynosi zatem:

$$Q_i = m_i(i_{i,2} - i_{i,1}); \quad i = w, p \quad (3)$$

Strumień ciepła pobranego przez powietrze obliczono z uwzględnieniem utajonego ciepła odparowania wody.



Rys. 2. Porównanie strumienia ciepła zaabsorbowanego przez wodę i całkowitego ciepła pochłoniętego przez mieszaninę powietrze – woda.

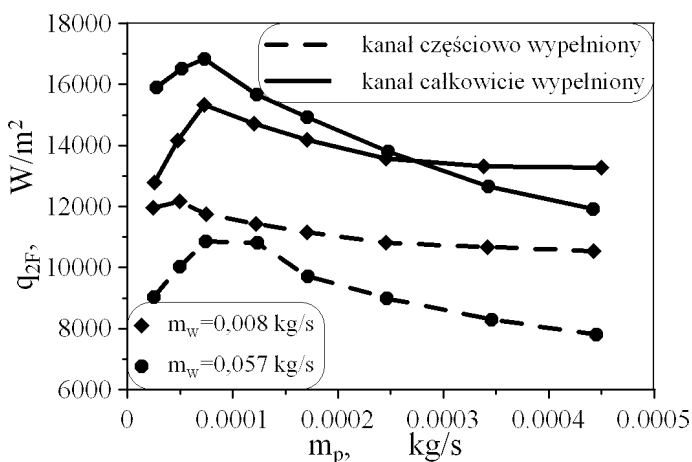
Zdecydowanie większa część ciepła pochłoniętego przez mieszaninę dwufazową zostaje zaabsorbowana przez wodę. Stwierdzono, że udział ciepła pobranego przez wodę w całkowitym strumieniu wymienianego ciepła wynosi od 92 do blisko 100% (Rys. 2).

Ilość ciepła wymienionego między ogrzewaną ścianką a mieszaniną dwufazową jest większa przy przepływie przez kanał całkowicie wypełniony (Rys. 3). Ze względu na pierścieniowy przekrój tego kanału, duża część masy płynu przepływa w bezpośrednim sąsiedztwie ścianki grzewczej. Ponadto, mniejszy przekrój kanału całkowicie wypełnionego (w stosunku do kanału częściowo wypełnionego) powoduje, że prędkość mieszaniny w tym kanale jest większa, a co za tym idzie intensywność wnikania ciepła jest wyższa (Rys. 4).

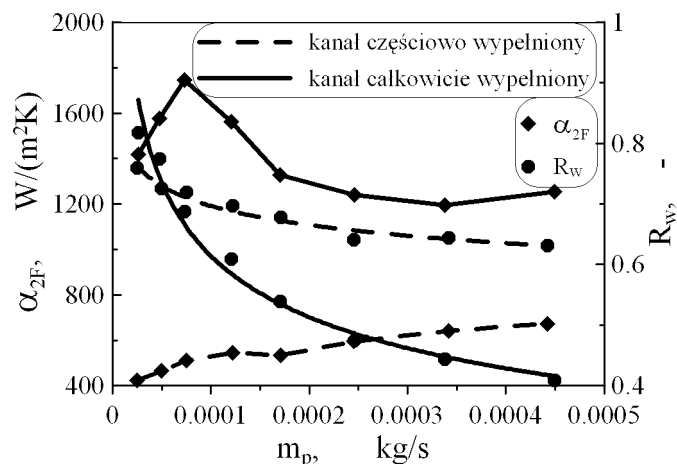
Wartość współczynnika wnika ciepła w przepływie dwufazowym α_{2F} obliczono na podstawie gęstości strumienia ciepła oraz średnich temperatur ścianki t_s i płynu t_{2F}

$$\alpha_{2F} = \frac{q_{2F}}{t_s - t_{2F}} \quad (4)$$

Temperatury średnie obliczono w oparciu o zmierzone temperatury na wlocie i wylocie sekcji grzewczej kanału. W przepływie przez kanał całkowicie wypełniony, wzrost strumienia powietrza początkowo powoduje zwiększenie wartości współczynnika wnika ciepła, co wynika ze wzrostu prędkości przepływu. Po osiągnięciu pewnej wartości maksymalnej,



Rys. 3. Gęstość strumienia ciepła wymianianego między ścianką grzewczą i mieszaniną powietrze-woda



Rys. 4. Wpływ strumienia powietrza na zmiany współczynnika wnika ciepła oraz udział wody w przepływie dwufazowym ($m_w = 0,008$ kg/s)

wartość współczynnika wnika ciepła zmniejsza się przy dalszym zwiększaniu strumienia powietrza. Fakt ten należy wiązać z wyraźnym zmniejszaniem się udziału wody R_w w mieszaninie dwufazowej. Zmniejsza się również powierzchnia ścianki grzewczej, która jest zwilżana przez wodę.

W przypadku kanału częściowo wypełnionego współczynniki wnika ciepła zwiększa się w sposób ciągły wraz ze wzrostem strumienia powietrza. Przy przepływie kanałem częściowo wypełnionym udziały faz w mieszaninie zmieniają się w niewielkim stopniu. Wartość udziału wody wskazuje, że bez względu na strumień powietrza ilość wody w mieszaninie odpowiada w przybliżeniu pojemności porów pierścieniowej warstwy wypełnienia siatkowego.

Można więc przypuszczać, że powietrze ma tendencję do przepływu niewypełnionym rdzeniem kanału a w bezpośrednim kontakcie z powierzchnią grzewczą pozostaje głównie woda. Szybciej płynące powietrze w pewnym stopniu pociąga za sobą wodę, co powoduje niewielki wzrost wartości współczynnika wnika ciepła.

Podsumowanie

Stwierdzono duży wpływ sposobu wypełnienia kanału na intensywność wymiany ciepła przy przepływie dwufazowym przez wypełnienie siatkowe. Lepszy kontakt płynu z powierzchnią grzewczą w kanale całkowicie wypełnionym o przekroju pierścieniowym, umożliwia uzyskanie większej wartości współczynnika wnika ciepła i wyższej gęstości strumienia ciepła. Decydującą rolę w wymianie ciepła przy przepływie gaz – ciecz odgrywa faza ciekła. Wpływ gazu na wnikanie ciepła wyraźniej widoczny jest w kanale całkowicie wypełnionym. Przyrost strumienia gazu z jednej strony zwiększa prędkość przepływu dwufazowego co intensyfikuje wnikanie ciepła, z drugiej – ogranicza kontakt cieczy ze ścianką kanału i w efekcie zmniejsza wartość współczynnika wnika ciepła.

LITERATURA

1. M. Jamialahmadi, H. Mueller-Steinhagen, M.R. Izadpanah: Int. J. of Heat and Fluid Flow, 26, 156 (2005).
2. T.B. Zhukova, V.N. Pisarenko, V.V. Kafarov: Int. Chem. Eng., 30, 57 (1990).
3. M. Özdemir, F. Özgüc: Heat and Mass Transfer, 33, 129 (1997).
4. Y. Ikeda: ASME Proceedings of the National Heat transfer Conference, Houston, 1, 717 (1988).