

MAGDALENA PIASECKA

Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, Politechnika Świętokrzyska, Kielce

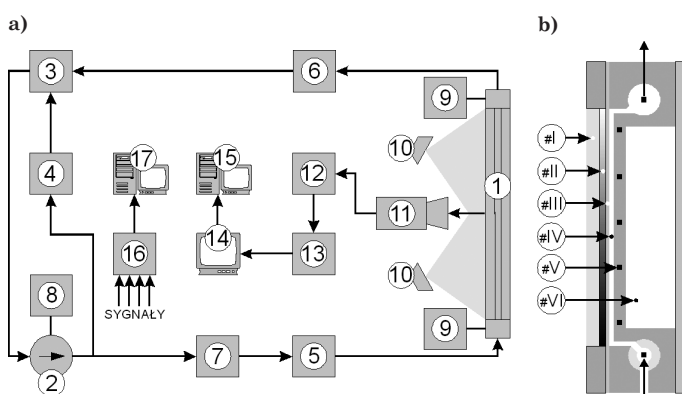
Analiza wpływu wybranych parametrów na inicjację wrzenia w przepływie płynu chłodniczego przez prostokątny minikanal o zmiennej orientacji przestrzennej

Cel badań

Celem badań jest rozpoznanie inicjacji i rozwoju wrzenia w przepływie płynu chłodniczego przez minikanal. Analizę wpływu wybranych parametrów cieplno-przepływowych (ciśnienie na wlocie do kanału, prędkość przepływu), geometrii minikanalu o przekroju prostokątnym (głębokość) oraz orientacji przestrzennej minikanalu (pochylenie od położenia pionowego do poziomego) przeprowadzono w oparciu o analizę zmian temperatury powierzchni grzejnej oraz lokalnych wartości współczynników przejmowania ciepła na powierzchni oddzielającej powierzchnię grzejną i płyn chłodniczy w minikanale [1–4]. Pomiar rozkładu temperatury na powierzchni grzejnej od strony szkła realizowany jest za pomocą termografii ciekłokrystalicznej [5].

Stanowisko badawcze

Stanowisko badawcze zawiera następujące elementy podstawowe (Rys. 1a): moduł pomiarowy z minikanalem – 1, pompa wirowa – 2, zbiornik wyrównawczy – 3, wymienniki ciepła – 4–6, układ rotametrów – 7, falownik regulujący prędkość obrotową wirnika pompy – 8, przetworniki ciśnienia – 9, termopary typu *K*. W rozwiązaniu konstrukcyjnym umożli-



Rys. 1. Schemat: a) głównych elementów stanowiska: 1 – moduł pomiarowy, 2 – pompa wirowa, 3 – zbiornik wyrównawczy, 4–6 – wymienniki ciepła, 7 – rotametry, 8 – falownik, 9 – przetworniki ciśnienia; 10 – kamera wideo CCD, 11 – świetlówki, 12 – dekompozytor sygnału, 13 – magnetowid, 14 – monitor, 15 – komputer z kartą akwizycji obrazu kolorowego, 16 – stacja akwizycji danych pomiarowych, 17 – komputer; b) modułu pomiarowego z minikanalem: I – szkło, II – ciekłe kryształy, III – folia grzejna, IV – minikanal, V – powierzchnia quasiadiabatyeczna, VI – kanał wodny, • – termopara

wiającym pochylenie minikanalu od położenia pionowego do poziomego (z regulacją zmiany kąta o 30°, Rys. 3) moduł główny z minikanalem umocowany jest na ramie obrotowej i połączony przewodami elastycznymi z pozostałymi elementami układu przepływowego. W układzie akwizycji i przetwarzania danych i obrazów kolorowych przewidziano: dwie świetlówki emitujące zimne światło białe – 10, kamerę wideo CCD – 11 z dekompozytorem sygnału na RGB – 12, magnetowid *Betacam* – 13 z monitorem – 14, komputer z kartą akwizycji obrazu kolorowego – 15. Układ rejestracji obrazu uzupełnia oprogramowanie współpracujące z kartą akwizycji i umożliwiające obróbkę danych pomiarowych. Kontrolę i akwizycję temperatury umożliwia stacja akwizycji danych pomiarowych – 16 wraz z oprogramowaniem.

W module pomiarowym (Rys. 1b) znajduje się minikanal prostokątny – IV o zmiennej głębokości (0,7; 1; 1,5 lub 2 mm) i szerokości (20 lub 40 mm), przez który przepływa płyn chłodniczy (R 11, R 123, FC-72). Jedną ze ścian kanału stanowi folia grzejna – III zasilana prądem stałym o regulowanym natężeniu. Rozkład temperatury na jej powierzchni wyznaczana jest na podstawie rozkładu barwy (na folię naniesiono warstwę ciekłych kryształów – II, powierzchnia obserwowana jest przez przesłoniętą szybą otwór – D). Kanały pomocnicze w tylnej pokrywie modułu, w tym wodny – VI, umożliwiają na regulację temperatury na powierzchni minikanalu, uznawanej za quasi-adiabatyeczna – V.

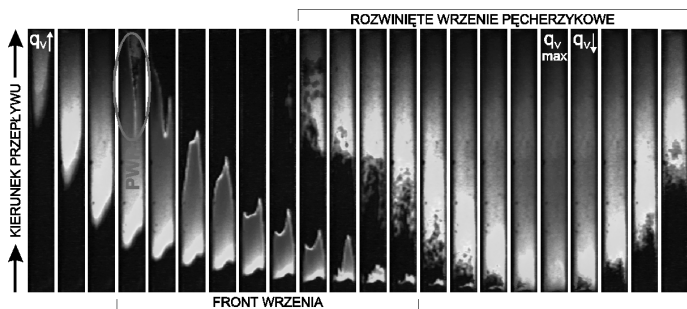
Wyniki badań

Na rys. 2 pokazano przykładowe rozkłady barwy na powierzchni grzejnej, w tym z widocznym *frontem wrzenia* przesuającym się w kierunku przeciwnym do kierunku przepływu. Interpretację obrazów oraz obliczenia cieplne omówiono w pracach [1–4].

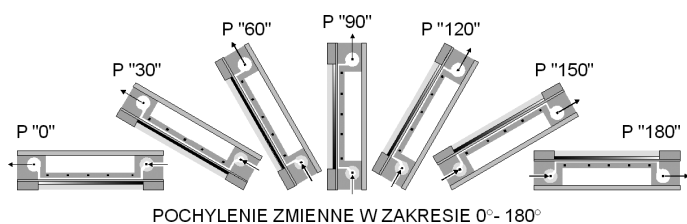
Oznaczenia położenia przestrzennego modułu z minikanalem pokazano na rys. 3.

W wyniku analizy danych w obszarze inicjacji wrzenia zaobserwowano, że:

- wraz ze wzrostem ciśnienia na wlocie do minikanalu:
 - wzrasta odległość wystąpienia frontu wrzenia od wlotu do minikanalu,
 - nieznacznie wzrasta uskok temperatury folii grzejnej towarzyszący histerezie nukleacji [2–4] oraz współczynnik przejmowania ciepła w obszarze inicjacji wrzenia;
- wraz ze wzrostem prędkości przepływu płynu w minikanale:



Rys. 2. Przykładowe obrazy rozkładu temperatury na powierzchni grzejnej podczas zwiększania i zmniejszania strumienia ciepła, PWP – początek wrzenia pęcherzykowego, q_v – objętościowy strumień dostarczany do powierzchni grzejnej



Rys. 3. Oznaczenia orientacji przestrzennej modułu pomiarowego w zależności od pochylenia

- wzrasta odległość wystąpienia *frontu wrzenia* od wlotu do minikanalu,
 - wzrasta uskok temperatury folii oraz współczynnik przejmowania ciepła w obszarze inicjacji wrzenia, zwłaszcza dla wyższych ciśnień i kanału pionowego (powyżej 0,3 kPa),
 - prędkość przepływu płynu w minikanale nie wpływa na długość frontu wrzenia;
- 3) podczas zmiany orientacji przestrzennej minikanalu:
- przy położeniu minikanalu (P°180°) i (P°150°), przy niewielkich prędkościach przepływu płynu w minikanale, występuje zwiększona liczba obszarów inicjacji wrzenia pęcherzykowego, zamiast obserwowanego zwykle przy położeniach bliskich pionowemu (P°90°) – jednego, dobrze rozpoznawalnego obszaru; w takich przypadkach znacząco zmniejsza się długość odcinka, na którym obserwowany jest spadek temperatury powierzchni grzejnej, towarzyszący inicjacji wrzenia,
 - przy położeniach minikanalu, w których płyn znajduje się nad powierzchnią grzejną (np. P°150°), obserwowany jest wyższy spadek temperatury powierzchni grzejnej oraz wyższa wartość współczynnika przejmowania ciepła podczas inicjacji wrzenia, w porównaniu do położen, w których płyn znajduje się pod powierzchnią grzejnika (np. P°60°), a wzrost prędkości nie wykazuje wpływu na odległość wystąpienia frontu wrzenia od wlotu do minikanalu;
- 4) wraz ze wzrostem głębokości minikanalu, inicjacja wrzenia zaczyna się w coraz dalszej odległości od wlotu do kanału,

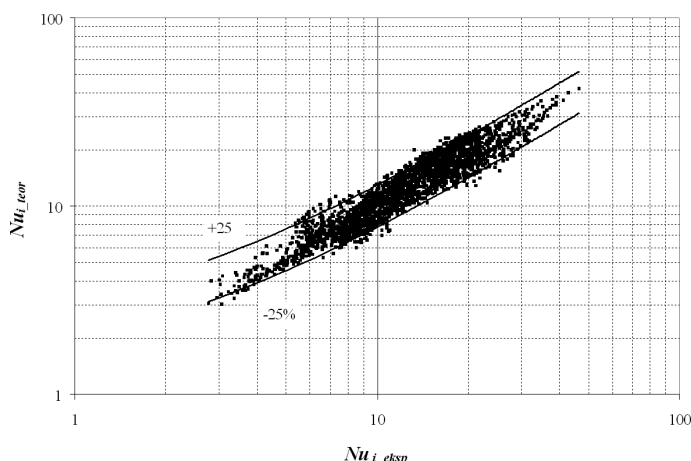
natomiast wartości współczynnika przejmowania wrzenia odpowiadające inicjacji wrzenia okazują się niższe.

Równanie kryterialne

W celu oszacowania wartości parametrów regresji uwzględniono 2 384 danych dla punktu PWP, w badaniach z wykorzystaniem R 123, R 11, FC-72 i minikanalu o zmiennej głębokości (0,7; 1; 1,5; 2 mm), szerokości (20; 40 mm) i zmiennej orientacji przestrzennej (od położenia pionowego do poziomego). Zaproponowano zmodyfikowane równanie kryterialne:

$$Nu_{i_teor} = 0,7 Re \cdot Bo^{0,9} Pr^{0,2} \quad (1)$$

Uzyskano wysoką wartość współczynnika determinacji ($R^2 \approx 0,84$) i niskie wartości błędów standardowych ($\delta \approx 0,09$). Analizowane równanie, z tolerancją $\pm 25\%$, jest zgodne z wynikami pomiarów dla ponad 89% obserwowanych *frontów wrzenia*. Liczbę Nu_{i_teor} , wyliczoną ze wzoru (1) porównano z liczbą *Nusselta* wyznaczoną eksperymentalnie (Rys. 4). Przedstawiona zależność (1) odnosi się do następujących zakresów liczb podobieństwa: $2,76 \leq Nu_i \leq 46,42$; $387 \leq Re \leq 4\ 703$; $9,78 \cdot 10^{-5} \leq Bo \leq 1,92 \cdot 10^{-3}$; $2,86 \leq Pr \leq 13,54$.



Rys. 4. Równanie (1) dla inicjacji wrzenia R 123, R 11 i FC-72 w minikanale o głębokości 0,7–2 mm o różnej orientacji przestrzennej

LITERATURA

1. M. Piasecka, S. Hożejowska, L. Hożejowski, M.E. Poniewski: Inż. Ap. Chem., **45**, nr 6s, 190 (2006).
2. M. Piasecka, M. E. Poniewski: Heat Transfer Eng. J. **25**, No. 3, 44 (2004).
3. M. Piasecka, S. Hożejowska, M. E. Poniewski: Int. J. of Heat and Fluid Flow **25**, 159 (2004).
4. S. Hożejowska, M. Piasecka, M. E. Poniewski: Int. J. of Thermal Sciences **48**, No 6, 1049 (2009).
5. M. Piasecka, M. E. Poniewski: Metrology and Measurement Systems, Quarterly of Polish Academy of Sciences **11**, No. 3, 259 (2004).