

Wrocław, 24.02.2021

mgr inż. Karolina Wojtasik

Polski promotor: dr hab. inż. Bartosz Zajączkowski

Francuski promotor: prof. Jocelyn Bonjour

Tytuł pracy: „*Boiling of water at low pressure: the role of subcooling and thermophysical properties on the bubble dynamics and heat transfer*”

Streszczenie rozprawy doktorskiej

Proces wrzenia polega na przemianie cieczy w gaz, najczęściej z powstawaniem pęcherzy gazowych. Zjawisko to uznawane jest za efektywny proces wymiany ciepła, ponieważ charakteryzuje się wyższymi wartościami współczynnika wnikania ciepła niż w przypadku konwekcji naturalnej czy wymuszonej [1]. Z tego powodu wykorzystuje się go w szerokiej gamie zastosowań, np. w systemach chłodniczych, rurach ciepła itd.

Zwiększające się światowe zapotrzebowanie na energię elektryczną prowadzi do zanieczyszczeń środowiska naturalnego i wyczerpywania zasobów paliw kopalnych. Wraz ze wzrostem świadomości ekologicznej, coraz większy nacisk kładzie się działania przeciwko postępującym zmianom klimatu. Niezbędne stało się poszukiwanie efektywnych i bardziej ekologicznych technologii chłodniczych. System taki powinien bazować na neutralnych dla środowiska czynnikach chłodniczych, takich jak woda.

Woda posiada wiele zalet, które czynią ją potencjalnie dobrym czynnikiem chłodniczym. Jest łatwo dostępna, nietoksyczna, niepalna, tania i charakteryzuje się wysokim ciepłem parowania. Niestety posiada także pewne ograniczenia. Aby móc wykorzystać wodę do celów chłodniczych, należy obniżyć jej ciśnienie do ok. 1 -2 kPa. Ilość danych dotyczących wrzenia niskociśnieniowego stale wzrasta, wciąż jest jednak niewystarczająca. Dlatego niezbędne są dalsze fundamentalne badania nad fizyką zjawiska wrzenia.

W pobliżu punktu potrójnego, proces wrzenia znacząco różni się od zjawiska obserwowanego przy ciśnieniu atmosferycznym. Przegrzanie ścianki wymagane do zainicjowania procesu zwiększa się i często przekracza 10 K [2]. Generowane pęcherze gazowe mają dużą średnicę i odrywają się z niewielką częstotliwością [2]. Dodatkowo, współczynniki wnikania ciepła ulegają zmniejszeniu i korelacje dostępne w literaturze nie są uzyskują zgodności z pomiarami eksperymentalnymi [3]. Wszystko to wpływa niekorzystnie na rozmiar niskociśnieniowych wymienników ciepła i efektywność tego typu urządzeń.

Głównym celem doktoratu było poszerzenie wiedzy dotyczącej fundamentalnych aspektów wrzenia i parowania czynnika w warunkach sub-atmosferycznych. Zakres prac obejmował przeprowadzenie pomiarów eksperymentalnych i analizę termodynamiczną omawianych zjawisk. Badania przeprowadzono z wykorzystaniem nowoczesnego sensora gęstości strumienia ciepła, dokonującego niezależnych pomiarów w siedmiu koncentrycznych strefach. W zależności od przygotowania powierzchni grzejnej, testy przeprowadzono na wypolerowanej powierzchni grzewczej z pojedynczą strefą nukleacji oraz z powierzchni chropowatej.

Analiza pojedynczych pęcherzy gazowych pozwoliła wyróżnić trzy podstawowe typy pęcherzy niskociśnieniowych. Jeden z nich nie był wcześniej wyróżniony w literaturze. Jego rozróżnienie było możliwe jedynie dzięki synchronizacji odpowiedzi sensora gęstości strumienia ciepła i nagrań z kamery szybkiej.

W pracy omówiono także wpływ wysokości słupa cieczy na proces wrzenia. W niskim ciśnieniu parametr ten znacząco wpływa na przechłodzenie czynnika powodując zmianę w dynamice pęcherzy gazowych. Dla szerokiego spektrum parametrów pracy (ciśnienie, wysokość słupa cieczy, moc grzewcza) i powierzchni chropowatej omówiono także rodzaje reżimów wrzenia występujących w niskim ciśnieniu. W celu lepszej interpretowalności zaproponowano bezwymiarową mapę wrzenia. Istotnym wnioskiem płynącym z tych badań jest fakt, że wrzenie w niskim ciśnieniu nie jest szczególnie efektywne termodynamicznie. W związku z tym korzystne było przeprowadzenie także badań wstępnych dotyczących odparowania kropli cieczy w warunkach obniżonego ciśnienia. Pozwoliło to wyróżnić dominujące procesy cieplnych występujące w trakcie zjawiska.

Alternatywnym rozwiązaniem dla niektórych rodzajów wymienników ciepła (np. płaszczowo-rurowych) może być odparowanie niewielkich kropli cieczy rozproszonych na powierzchni grzewczej (tzw. 'spray cooling'). W niskim ciśnieniu takie rozwiązanie może być szczególnie korzystne, ponieważ duże pęcherze gazowe mogłyby powodować, otoczenie znacznej części wymiennika jedynie przez fazę gazową utrudniając efektywną wymianę ciepła. W literaturze brak jest informacji dotyczących odparowania kropli cieczy w warunkach obniżonego ciśnienia.

Literatura:

- [1] Hewitt G.F. Handbook of heat transfer. Chapter 15: Boiling. Editors: W. Rohsenow, J. Hartnett, Y. Cho. McGraw-Hill (1998).
- [2] Michaie S., Rullière R., Bonjour J. Experimental study of bubble dynamics of isolated bubbles in water pool boiling at subatmospheric pressures. Exp. Therm. Fluid Sci. 87 pp. 117-128 (2017).
- [3] Zajaczkowski B., Halon T., Krolicki Z. Experimental verification of heat transfer coefficient for nucleate boiling at sub-atmospheric pressure and small heat fluxes. Heat Mass Transfer. 52 (2), pp. 205-215 (2016).

.....
Kojtenik

Podpis doktorantki