

Streszczenie pracy doktorskiej

mgr inż. Stanisław Hałon

pt. „Charakterystyka wysokotemperaturowego procesu wrzenia czynników chłodniczych w mikro kanałach”

Postępująca miniaturyzacja systemów elektronicznych powoduje, że jednym z kluczowych problemów technicznych tej branży jest znalezienie jak najefektywniejszego sposobu odprowadzenia ciepła, który umożliwiłaby minimalizację powierzchni wymiany ciepła przy jednoczesnej maksymalizacji wartości współczynników wnikania ciepła. Za jedną z najbardziej obiecujących metod uznaje się wrzenie przy przepływie przez mikro kanały.

Do najważniejszych zalet wrzenia w przepływie w skali mikro należy wysokie ciepło właściwe parowania, wysokie wartości współczynników wnikania ciepła oraz wysoka wartość stosunku pola powierzchni do objętości. Pozwala to odprowadzać ciepło o dużej gęstości przy spadku zapotrzebowania na czynnik roboczy. Jednak modelowanie wymiany ciepła w skali mikro jest utrudnione, gdyż mechanizmy za nią odpowiedzialne nie są w pełni poznane. Dodatkowo, badania dostępne w literaturze obejmują przede wszystkim temperatury do 40°C. Hamuje to opracowanie modeli o szerokim spektrum stosowalności, które pozwoliłyby optymalizować proces wrzenia pod kątem zastosowań wysokotemperaturowych, takich jak np. elektronika pracująca w trudnych warunkach.

Prezentowana rozprawa doktorska skupia się przede wszystkim na eksperymentalnej identyfikacji dominującego mechanizmu wymiany ciepła dla wrzenia w przepływie przez mikro kanały w zakresie temperatur od 40 do 85°C. Badanym czynnikiem roboczym był niskociśnieniowy R245fa, gdyż pozwala on uzyskać analizowany zakres temperatur przy obniżonym ciśnieniu (np. dla temperatury nasycenia 80°C wynosi ono 8 bar, podczas gdy dla R134a 26.4 bar).

Pierwszy rozdział pracy poświęcony jest przeglądowi literatury związanej z wrzeniem w przepływie w małej skali R245fa oraz mającego podobne właściwości R236fa. W jego ramach utworzono bazę danych eksperymentalnych dotyczących wartości współczynnika wnikania ciepła w funkcji stopnia suchości pary, gęstości strumienia masy i ciepła oraz temperatury nasycenia. Zidentyfikowano luki w przebadanych warunkach eksperymentalnych i geometriach kanałów. Dokonano przeglądu modeli służących przewidywaniu wartości współczynnika wnikania ciepła podczas wrzenia w przepływie oraz porównania ich dokładności względem zebranych danych eksperymentalnych. Zidentyfikowano modele o najlepszym stopniu odwzorowania danych pochodzących z badań, jak i warunki, w których odnotowywano największe rozbieżności.

Częstym sposobem modelowania wrzenia w przepływie jest założenie, że wymiana ciepła zachodzi na drodze dwóch nakładających się mechanizmów – konwekcji wymuszonej związanej z przepływem czynnika, oraz wrzenia pęcherzykowego związanego z nukleacją pęcherzy parowych w dużej objętości nieruchomego płynu. Drugi rozdział rozprawy poświęcony jest badaniom referencyjnym wysokotemperaturowego wrzenia w dużej objętości R245fa. W jego ramach zidentyfikowano charakter zależności między współczynnikiem wnikania ciepła a gęstością strumienia ciepła i temperaturą nasycenia. Zidentyfikowano model wrzenia pęcherzykowego w dużej objętości o największej dokładności odwzorowania zebranych danych eksperymentalnych, który został wykorzystany w ostatnim rozdziale pracy do zwiększenia dokładności jednego z modeli wrzenia w przepływie.

Trzeci rozdział pracy dotyczy badań eksperymentalnych wrzenia R245fa w przepływie przez mikro kanały o średnicy hydraulicznej 1 mm. Skupia się on na ustaleniu zależności między współczynnikiem wnikania ciepła a stopniem suchości pary, gęstością strumienia masy, ciepła, temperaturą nasycenia. Charakter tych zależności uznawany jest w literaturze za wyznacznik dominującego mechanizmu wymiany ciepła – konwekcji wymuszonej lub wrzenia pęcherzykowego. Na podstawie uzyskanych wyników dokonano identyfikacji dominującego mechanizmu w zależności od charakteru przepływu (przechłodzonego lub nasyconego). Dodatkowo rejestrowano struktury przepływu dwufazowego w kanałach (pęcherzykową, korkową i pierścieniową) przy pomocy kamery szybkoklatkowej. Na podstawie wykonanych zdjęć opracowano mapy struktur przepływu oraz sprawdzono czy istnieje związek między strukturą przepływu a dominującym mechanizmem wymiany ciepła.

Ostatni rozdział rozprawy poświęcony jest opracowaniu modyfikacji jednego z modeli wrzenia w przepływie z rozdziału pierwszego. Uwzględnia on zastosowanie modelu z rozdziału drugiego do wyznaczenia współczynnika wnikania ciepła związanego z wrzeniem pęcherzykowym oraz propozycję postaci współczynników korekcyjnych uwzględniających interakcję między konwekcją wymuszoną a wrzeniem pęcherzykowym. Do oceny dokładności proponowanej modyfikacji zastosowano zarówno powszechnie stosowane w literaturze kryteria ilościowe jak i nieuwzględniane wcześniej kryterium jakościowe. Do pierwszej grupy należały średni absolutny błąd procentowy oraz jego odchylenie standardowe. Do oceny jakościowej wykorzystano autorskie kryterium bazujące na geometrii analitycznej, które pozwala ocenić stopień odwzorowania charakteru zależności współczynnika wnikania ciepła od stopnia suchości pary (rosnącej, malejącej czy stałej).

Stanisława Kacior