

Streszczenie rozprawy

Tytuł rozprawy: Impact of ferromagnetic nanoparticles on heat transfer process in nanofluids

Autor rozprawy: mgr inż. Robert Mulka

Wydajność standardowych cieczy w systemach wymiany ciepła osiągnęła swoje limity, co wymusza poszukiwanie wysokoefektywnych alternatyw. Rozwój systemów wymiany ciepła oraz wymienników ciepła wymaga identyfikacji cieczy roboczych o wysokiej efektywności. Przykładem takiej cieczy jest ferronanociecz, nanociecz zawierająca nanocząstki ferromagnetyczne. Ferronanociecze stanowią obiecujące rozwiązanie dzięki swoim właściwościom termicznym i podatności na pole magnetyczne. Podatność ferronanocieczy na pole magnetyczne wpływa na transfer masy i ciepła, ale jednocześnie komplikuje analizę przepływu. Literatura dotycząca ferronanocieczy w kontekście konwekcyjnej wymiany ciepła pozostaje niejednoznaczna, szczególnie w odniesieniu do ich zastosowania w przepływach pochyłonych, które są powszechne w rzeczywistych zastosowaniach. Przedstawiona rozprawa ma na celu podjęcie tych kwestii.

Rozdział pierwszy przedstawia podstawy wymiany ciepła, skupiając się na konwekcyjnej wymianie ciepła oraz metodach jej poprawy w wymiennikach ciepła. Wskazano w nim potencjalne korzyści stosowania nanocieczy w systemach wymiany ciepła. Rozdział drugi opisuje nanociecze i ich elementy składowe oraz wyjaśnia mechanizmy stojące za ich wydajnością w wymianie ciepła. Przedstawiony został przegląd literatury dotyczący obecnych postępów w aplikacji nanocieczy oraz wyzwań, które utrudniają ich szerokie wykorzystanie.

Rozdział trzeci przedstawia przegląd literatury dotyczący zastosowania ferronanocieczy w konwekcyjnej wymianie ciepła, skupiając się na przepływach laminarnych i turbulentnych pod wpływem statycznego i zmiennego pola magnetycznego. Omawia konwekcję mieszaną w poziomych i pochyłonych przepływach nanocieczy. Rozdział kończy się wskazaniem luk w stanie wiedzy. Rozdział czwarty na podstawie tego przeglądu przedstawia cele rozprawy oraz hipotezy badawcze.

Rozdziały 5–7 przedstawiają badania eksperymentalne realizujące te cele. Rozdział piąty dotyczy charakterystyki użytej ferronanocieczy, w tym jej właściwości termofizycznych: lepkości, pojemności cieplnej, przewodności cieplnej i gęstości. Dodatkowo bada wpływ pola magnetycznego na dynamikę kropli ferronanocieczy i proces jej wysychania. Zidentyfikowano dwa reżimy zależne od natężenia pola magnetycznego: reżim przyczepienia, w którym kąt zwilżania zwiększa się bez ruchu linii kontaktu, oraz reżim odłączenia, charakteryzujący się zmniejszonym kątem zwilżania i wydłużeniem kropli w kierunku magnesów. Eksperymenty uzupełniono analizą osadów z kropli wysuszonych w polu magnetycznym. Efekt interakcji jest wyraźnie widoczny w końcowym wzorze pęknięć. W środowisku bez pola magnetycznego pęknięcia powstają w wyniku naprężeń sprężystych. Zastosowanie zewnętrznego pola magnetycznego generuje dodatkowe naprężenia magnetyczne. Pole magnetyczne porządkuje cząstki magnetytu, co prowadzi do uporządkowanego układania pęknięć wzdłuż linii pola magnetycznego. Obserwacje te potwierdzają potencjał wpływania na ferronanocząstki w eksperymentach wymiany ciepła.

Rozdział szósty analizuje wymianę ciepła w poziomym laminarnym przepływie ferronanocieczy pod wpływem pola magnetycznego. Orientacja pola magnetycznego w stosunku do ruchów wtórnych w cieczy definiuje zmianę wymiany ciepła. Umieszczenie magnesu pod rurą testową prowadzi do wzrostu liczby Nusselta, podczas gdy umieszczenie go powyżej powoduje tylko jej

spadek. Wynika to z oddziaływania sił magnetycznych wzmacniających lub przeciwdziałających ruchom wtórnym wywołanym gradientem temperatury. Na podstawie wprowadzonych liczb podobieństwa zidentyfikowano krytyczne wartości, poniżej których wpływ na wymianę ciepła jest pomijalny. Stwierdzono, że wartości te zależą od orientacji pola magnetycznego oraz mechanizmu interakcji między polem magnetycznym a ferronanocieczą.

Rozdział siódmy przedstawia badania przepływu ferronanociecz w górę pod kątami 30° , 60° i 90° , oraz analizuje wpływ magnezu na wymianę ciepła. Wyniki wskazują, że nachylenie przepływu dla liczb Reynoldsa $Re = 106$ i $Re = 185$ prowadzi do pogorszenia wymiany ciepła. Wynika to z osłabienia ruchów wtórnych, które osiągają minimum w pozycji pionowej. Wraz ze wzrostem sił bezwładności w przepływie negatywny efekt nachylenia na wymianę ciepła zmniejsza się i jest pomijalny od $Re = 264$. Wykazano, że możliwość poprawy wymiany ciepła w nachylonym przepływie za pomocą magnezu jest ograniczona. Dodatkowo, wybór konfiguracji magnetycznej jest trudny ze względu na orientację kierunku przepływu cieczy względem grawitacji oraz wynikające z tego warunki konwekcji mieszanej. Wpływ pola magnetycznego na wymianę ciepła należy analizować w kontekście transportu masy w cieczy. Strategiczne manipulowanie siłą magnetyczną działającą na nanocząstki ferronanociecz daje możliwość wzmocnienia lub osłabienia ruchów wtórnych, podobnie jak w przepływie poziomym. Aby to osiągnąć, konieczna jest analiza transportu masy zachodzącego wewnątrz przepływu pochylonego w warunkach konwekcji mieszanej.

Rozdział ósmy podsumowuje rozprawę, przedstawiając wnioski oraz kierunek dalszych badań.

Robert Mulla
06.02.2025