Streszczenie

Głównym celem niniejszej pracy naukowej było opracowanie oraz eksperymentalna walidacji trójwymiarowego, wielofizycznego modelu numerycznego opisującego zachowanie stopionego żużla podczas procesu odmiedziowania w elektrycznym piecu oporowym z elektrodami grafitowymi. Badania skupiały się na etapie sedymentacji kropel miedzi, w którym kluczowe znaczenie mają warunki hydrodynamiczne oraz temperatura kąpieli żużlowej. W celu walidacji modelu przeprowadzono eksperymenty na pilotowej instalacji pieca z dwiema elektrodami, co wymagało opracowania nowatorskiej, pośredniej metody estymacji bardzo powolnego przepływu żużla w ekstremalnych temperaturach sięgających 1400 °C. Metoda ta opierała się na pomiarze naporu hydrodynamicznego cieczy na zanurzoną sondę ze stali żaroodpornej przy użyciu miernika momentu obrotowego, co uzupełniono o ciągłe pomiary parametrów elektrycznych oraz temperatury żużla i wymurówki. Opracowany model sprzęgał zjawiska elektromagnetyczne, takie jak generacja ciepła Joule'a-Lenza i sił Lorentza, z hydrodynamiką oraz wymianą ciepła, umożliwiając symulację przepływu i rozkładu temperatur dla różnych wariantów zanurzenia elektrod. Uzyskane z symulacji wyniki wykazały bardzo dobrą zgodność z danymi eksperymentalnymi, potwierdzając wiarygodność modelu. Badania udowodniły, że ruch żużla ma charakter w pełni laminarny i jest napędzany głównie przez konwekcję naturalną, przy czym najintensywniejszy przepływ występuje w pobliżu elektrod, a z dala od nich tworzą się niepożądane strefy stagnacji. Na podstawie zwalidowanego modelu wykazano ostatecznie, że choć zmiana częstotliwości prądu zasilającego nie wpływa na hydrodynamikę układu, to optymalizacja ułożenia elektrod pozwala na zwiększenie średniej prędkości mieszania żużla aż o 60%, skutecznie redukując obszary o niskiej dynamice przepływu.