



NARODOWE CENTRUM NAUKI

PRELUDIUM-18

2019/35/N/ST8/03697

Badanie degradacji wielofazowych materiałów ogniotrwałych w kontakcie z ciekłym metalem z wykorzystaniem mikrotomografii komputerowej i modelowania numerycznego w geometrii 3D

Investigations of multiphase refractory materials degradation in contact with molten metal using micro-computed tomography and numerical modeling in 3D geometry

dr inż. Jakub Józef Stec

Principal Investigator

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w
Krakowie

Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki

POPULARNONAUKOWE STRESZCZENIE PROJEKTU

Transport w ośrodku porowatym jest procesem spotykanym w wielu dziedzinach nauki i techniki – od rolnictwa, inżynierii chemicznej i naftowej, budownictwa po bromatologię i geologię. W inżynierii materiałowej transport taki odgrywa znaczącą rolę w wytwarzaniu i degradacji materiałów. W przypadku procesów wytwarzania jest istotny w otrzymywaniu materiałów kompozytowych o osnowach metalicznych i polimerowych, poprzez impregnację ziarnistych lub włóknistych wzmocnień ciekłym materiałem osnowy. Przykładem procesu degradacji zależnego od transportu w porach materiału może być niszczenie wyłożenia ogniotrwałego w kontakcie z ciekłym metalem. Proces ten jest jednym z mechanizmów degradacji materiałów węglowych i grafitowych stosowanych jako wyłożenie w garze wielkiego pieca. Jednym z narzędzi jakie można wykorzystać do badania procesów transportu w ośrodku porowatym jest modelowanie. Pozwala ono na badanie skomplikowanych procesów bez kosztownych badań eksperymentalnych. Badanie procesów transportu w ośrodkach porowatych pozwala na określenie jakie czynniki mają znaczący wpływ na te procesy, co w konsekwencji może zostać wykorzystane do projektowania materiałów bardziej odpornych na degradację oraz pozwoli zoptymalizować procesy wytwarzania.

Celem projektu jest opracowanie nowej metody badania mechanizmu degradacji wielofazowych ogniotrwałych materiałów węglowych w kontakcie z ciekłym metalem poprzez połączenie zaawansowanego modelowania 3D z mikrotomografią komputerową (XCT). Model pozwoli na wykonanie obliczeń zależnego od czasu przepływu w porach materiału z ruchomym frontem infiltracji połączonego z selektywnym rozpuszczaniem mikroporowatego materiału węglowego w ciekłym metalu. Po raz pierwszy obliczenia zostaną wykonane w geometrii trójwymiarowej (3D) reprezentującej mikrostrukturę rzeczywistego mikroporowatego materiału węglowego, która zostanie otrzymana przy pomocy mikrotomografii komputerowej (XCT). Model zostanie zweryfikowany testem odporności na infiltrację ciekłym metalem. Zastosowanie nieniszczącej metody badawczej (XCT) pozwoli na analizę tej samej próbki przed i po teście odporności na infiltrację, dzięki czemu możliwe będzie porównanie degradacji zmierzonej eksperymentalnie i obliczonej na podstawie modelu.

Projekt składa się z dwóch części. W części doświadczalnej mikrostruktura, porowatość oraz przepuszczalność mikroporowatych materiałów węglowych zostaną zbadane przy pomocy nieniszczących metod laboratoryjnych takich jak: porozymetria helowa, gazoprzepuszczalność i XCT. Następnie próbki zostaną poddane testowi odporności na infiltrację. Po teście próbki zostaną zbadane raz jeszcze przy pomocy nieniszczących metod w celu określenia strefy impregnacji i oraz wpływu na mikrostrukturę, w szczególności na strukturę porów. Dodatkowo zostaną wykonane badania zwilżalności mikroporowatego materiału węglowego przez ciekłe żelazo z dodatkami o różnych zawartościach węgla, siarki i krzemu. Dane uzyskane w części eksperymentalnej zostaną następnie wykorzystane w części obliczeniowej.

Na podstawie pomiarów XCT zostaną zbudowane geometrie 3D reprezentujące mikrostrukturę rzeczywistego materiału, które zostaną wykorzystane w obliczeniach. Przepływ ciekłego metalu zostanie opisany przy pomocy równania Stokesa, połączonych z metodą Phase Field, która pozwoli wykonać obliczenia z uwzględnieniem ruchomego frontu infiltracji. Zmiany zawartości węgla w metalu, zostaną opisane przez równanie bilansu masy wraz z warunkami brzegowymi opisującymi kinetykę rozpuszczania mikroporowatego materiału węglowego. Obliczenia numeryczne będą oparte na metodzie elementów skończonych. Obliczona degradacja mikroporowatego materiału węglowego zostanie porównana z wynikami testu odporności na infiltrację w celu zweryfikowania modelu. Badania pozwolą na określenie elementów mikrostruktury najbardziej narażonych na degradację.

Opracowany model zostanie wykorzystany do zbadania wpływu zależności składu metalu na szybkość procesu infiltracji, stopnia impregnacji oraz rozpuszczania mikroporowatego materiału węglowego. Przeprowadzone badania pozwolą na lepsze zrozumienie procesu degradacji materiałów stosowanych w wielkim piecu, co może zostać wykorzystane do optymalizacji sterowania technologią wielkopieczową oraz projektowania materiałów bardziej odpornych na degradację. Ze względu na obecność procesów transportu w ośrodku porowatym w wielu dziedzinach nauki i techniki, opracowany model może zostać zaadaptowany do badania podobnych materiałów i procesów.