

prof. dr hab. inż. Zbigniew Konopka

Wydział Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów

Katedra Odlewnictwa

Politechnika Częstochowska

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Pawła Krajewskiego

**pt.: "Zależność przewodności cieplnej wybranych mas formierskich
od temperatury"**

opracowana na zlecenie Dziekana Wydziału Odlewnictwa
Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie

1. Ocena przedmiotu rozprawy

Przedstawiona do oceny rozprawa dotyczy badania wpływu temperatury na przewodność cieplną wybranych mas formierskich metodą pomiaru pola temperatury w formie odlewniczej nagrzewanej ciepłem stygnącego i krzepnącego metalu odlewu. Zagadnienie pomiaru współczynnika przewodności cieplnej i jego temperaturowej zależności wielu materiałów w tym mas formierskich jest znane, rozwinięte od strony metodyki badania i szeroko opisane w literaturze naukowej.

Potrzeba wykonywania takich badań wynika z konieczności urealniania danych zawartych w bazach materiałowych wykorzystywanych w komercyjnych programach symulujących różne technologie szeroko i powszechnie stosowanych w procesie projektowania, w tym odlewów i technologii w przemyśle odlewniczym. Z tego właśnie względu należy uznać za zasadne podjęcie badań w tym zakresie. Duża różnorodność stosowanych w technologii materiałów wręcz wymusza badania ich właściwości. Wierne odtworzenie przewodności cieplnej konkretnej masy formierskiej uzyskane dzięki pomiarowi

w rzeczywistych warunkach stygnięcia i krzepnięcia odlewu w formie gwarantuje najlepszą jakość symulacji procesu i w tym sensie wyniki badań uzyskane w pracy należy zaliczyć do kategorii high technology. Ze względu na przedstawione powyżej elementy praca lokuje się w innowacyjnym obszarze badań naukowych.

2. Charakterystyka i ocena rozprawy

Tekst rozprawy liczy 204 strony, który uzupełniają: bibliografia zawierająca 218 pozycji literaturowych, wykazy 119 rysunków i 29 tabel. Rozprawa składa się z dwóch głównych części. W pierwszej części przedstawiono przegląd literatury dotyczący: charakterystyki metod pomiaru współczynnika ciepła materiałów (rozdział 2) oraz oceny opisanych metod wraz z bogatym zbiorem wyników badań przewodności cieplnej różnych mas formierskich przedstawionych w literaturze światowej (rozdział 3). Oba te fragmenty pracy zostały napisane bardzo dobrze pod względem merytorycznym, językowym i edytorskim. Klarowność, szczegółowość i obszerność przedstawionych informacji (łącznie 100 stron) określają, w mojej ocenie, wysoką jakość opisu przeglądu literatury zagadnienia, a ta część pracy mogłoby być niezależnym opracowaniem monograficznym, które bez wątplenia odpowiada wymogom pracy doktorskiej.

W drugiej części pracy Autor przedstawia badania własne formułując na wstępie tezy pracy w brzmieniu: „**wilgotność form odlewniczych wywiera istotny wpływ na zakres i charakter zmian ich współczynnika przewodzenia ciepła**” oraz „**znajomość pełnej charakterystyki temperaturowej zależności współczynnika przewodzenia ciepła, uwzględniającej parowanie wody, pozwoli uzyskać wysoką jakość numerycznego modelowania procesu stygnięcia i krzepnięcia odlewu w formie wilgotnej**”. Teza pierwsza formułuje ogólnie znany w teorii wpływ wilgotności masy formierskiej na jej właściwości termofizyczne. W drugiej tezie, a raczej hipotezie Autor nie określa nawet jakościowo związku przyczynowo-skutkowego, ani kryterium oceny jakości modelowania. Jest to natomiast pionierska próba rozwiązania tego trudnego i złożonego zagadnienia.

Autor formułując powyższe tezy przedstawił trafną argumentację ich wyboru opartą na wnikliwej analizie znanych wyników badań w tym zakresie w literaturze światowej. Wskazał istotne, nie uwzględniane szerzej czynniki, wpływające na właściwości cieplne masy formierskiej jak: zawartość wilgoci i parowanie wody uwzględnione w temperaturowej funkcji współczynnika przewodności cieplnej, ziarnistość osnowy piaskowej i stopień zagęszczenia (gęstość masy).

Dla udowodnienia tezy w pracy zrealizowano program badawczy o bardzo szerokim zakresie obejmującym: wykonanie form doświadczalnych z masy formierskiej na piasku kwarcowym, bentonicie z dodatkiem wody, w stanie wilgotnym i wysuszonym, pomiar pola temperatury w formie w czasie stygnięcia i krzepnięcia odlewu doświadczalnego wykonanego z czystego cynku, aluminium i miedzi, obliczenie współczynnika dyfuzji temperatury i przewodności cieplnej w funkcji temperatury dla każdego doświadczenia, wykonanie analizy termicznej stygnącego i krzepnącego odlewu z określeniem czasów i temperatury początku zarodkowania i końca krzepnięcia odlewu i metodą numeryczną za pomocą pakietu ProCAST.

Dla każdej serii doświadczeń wykonano jako bazowe masy formierskie o składzie masowym: piasek kwarcowy 90%, bentonit 7% i woda 3% (tzw. green sand) oraz dodatkowo wykonano formy z masy obiegowej o innej ziarnistości piasku od bazowych oraz z masy z dodatkiem 5 części wagowych pyłu węglowego. Wykonywano masy w wariacie formy wilgotnej i suszonej.

Wynikiem wykonanych badań są wykresy temperaturowej zależności współczynników dyfuzji temperatury i przewodności cieplnej badanych mas formierskich, w których wykonano doświadczalne odlewy z czystego cynku, aluminium i miedzi. Dla mas wilgotnych zarejestrowano zjawisko parowania wody i tworzenie się strefy przewilżonej w formie uwidocznione na wykresach zmian współczynnika przewodzenia ciepła w czasie nagrzewania i w funkcji temperatury. W badaniach Autor potwierdził, znane z teorii, większe przewodnictwo cieplne masy wilgotnej w porównaniu z przewodnictwem cieplnym masy suchej. W konsekwencji potwierdzono skrócenie czasu krzepnięcia odlewów w formach wilgotnych w porównaniu z krzepnięciem w formach suszonych.

Porównanie parametrów krzepnięcia odlewu jak: czas i temperatura początku zarodkowania i końca krzepnięcia odlewu uzyskane z obliczeń metodą numeryczną z wartościami tych wielkości z eksperymentu jednoznacznie potwierdziło dużą zgodność wyników. Dowodzi to wprost drugą tezę pracy ponieważ zaimplementowane do obliczeń numerycznych wyniki badań doświadczalnych uwzględniały między innymi zjawisko tworzenia strefy przewilżonej w formie odlewniczej, co stanowi osiągnięcie o charakterze naukowym. Uzyskane wyniki potwierdzają ich dużą przydatność dla praktyki przemysłowej przez zwiększenie zbieżności wyników symulacji numerycznych z rzeczywistymi przebiegami.

Wysoko oceniam pod względem naukowym i interpretacyjnym treści rozdziałów 6.4 i 7. W opisie tym Autor przedstawił jasną analizę uzyskanych wyników opartą na znanej

dotychczas teorii. Analiza ta została wzbogacona równaniami zależności współczynnika przewodności cieplnej mas formierskich od temperatury z uwzględnieniem wpływu wilgotności masy, ziarnistości osnowy piaskowej i stopnia zagęszczenia (gęstości). Przedstawione równania i wykresy zaczerpnięto z wcześniej opublikowanych prac własnych Autora.

Te oryginalne wyniki mają bardzo dużą wartość naukową i znaczenie dla technologii odlewów głównie w zakresie sterowania szybkością stygnięcia w formie, co decyduje o uzyskiwanych właściwościach, a także pozwala uniknąć wielu nienaprawialnych wad odlewów.

Wnioski wynikające z analizy wyników są zgodne ze znaną do tej pory teorią. Opracowanie to dowodzi dojrzałości naukowej Doktoranta i jego zdolności do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. W moim przekonaniu Autorowi udało się osiągnąć cel pracy, a jednocześnie zebrany bogaty materiał badawczy pozwolił na udowodnienie postawionych w pracy tez.

3. Uwagi

O ile warunki każdego doświadczenia opisano bardzo precyzyjnie w postaci mierzalnej charakteryzując właściwości metalu, materiału formy i warunki pomiaru to prezentacja uzyskanych wyników ograniczyła się do przedstawienia tylko ich postaci wykresowej, stosunkowo mało czytelnej ze względu na mnogość linii na jednym wykresie, ich zbyt dużą grubość, zgrubną skalę mierzącą wielkości na osiach i małą powierzchnię wykresu. Uniemożliwia to odczytanie dokładnych wartości danej wielkości. W pracy nie przedstawiono wyników pierwotnych uzyskanych w doświadczeniu, a także z obliczeń w formie liczbowych wartości np. w tabelach.

Autor zaproponował 3 czyste metale Zn, Al i Cu jako materiał odlewów doświadczalnych i przede wszystkim źródło ciepła nagrzewania badanych form. W pracy nie uzasadniono dlaczego dokonano takiego wyboru, a prawdopodobnie chodziło o rozszerzenie zakresu pomiarowego temperatury i ewentualne zróżnicowanie szybkości nagrzewania formy. W wynikach badań przedstawiono dla każdego doświadczenia szybkość nagrzewania formy w postaci wykresów dT/dt w funkcji czasu. Analiza tych wykresów pokazuje, że szybkości te są porównywalne i wynoszą średnio 1K/s dla wszystkich metali odlewu. Oczekuję, że Autor skomentuje uzyskane wyniki w tym zakresie w trakcie publicznej obrony. Dodatkowo proszę o wyjaśnienie dlaczego w badaniach zastosowano różne przegrzania metalu (seria A1-5K i seria A2-41K, serie Cu1,Cu5,Cu6 odpowiednio 9K, 0K i 2.5K oraz seria Cu7-45K) i różne

wymiary charakterystyczne odlewów doświadczalnych (płyta 160x148x15.8mm i płyta 130x130x13 mm). Przegrzanie metalu (seria Al1 i Al2) i (serie zalewanie formy Cu) nie spowodowało zmiany temperatury powierzchni nagrzewanej formy, dlaczego?

W wynikach doświadczeń podaje się zmierzone wartości gęstości badanych mas będące miarą stopnia zagęszczenia masy. W kilku przypadkach gęstości masy suszonej są większe od gęstości masy wilgotnej. Jak Autor tłumaczy takie wyniki?

4. Ocena końcowa

Stwierdzam, że rozprawa Pana mgr inż. Pawła Krajewskiego spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim ponieważ:

- sformułowano tezę i cel badanego problemu naukowego,
- zaplanowano i zrealizowano badania stosując nowoczesne narzędzia naukowe według przyjętej metodyki badań, co dowodzi umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez doktoranta,
- logicznie zinterpretowano uzyskane wyniki i sformułowano wnioski, co wskazuje na szeroką ogólną wiedzę teoretyczną kandydata,
- doktorant udowodnił postawioną tezę, a uzyskane wyniki wnoszą oryginalny wkład naukowy i praktyczny w teorię i praktykę projektowania odlewów i technologii.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgr inż. Pawła Krajewskiego pt.: **”Zależność przewodności cieplnej wybranych mas formierskich od temperatury”** spełnia wymogi określone w Ustawie o stopniach i tytule naukowym. W związku z tym wnoszę o dopuszczenie Pana mgr inż. Pawła Krajewskiego do publicznej dyskusji nad Jego rozprawą doktorską przed Radą Wydziału Odlewnictwa Akademii Górniczo-Hutniczej.

Krzysztof Uligas

