

Dr hab. inż. Marek Warzecha, prof. PCz
Katedra Metalurgii i Technologii Metali
Politechnika Częstochowska

ul. Armii Krajowej 19
42-201 Częstochowa
tel.: 34 3250673; fax: 34 3250797
e-mail: marek.warzecha@pcz.pl

Częstochowa, 10.05.2022

R e c e n z j a

rozprawy doktorskiej mgr inż. Kamila Piotra Kuglina:

„Modelowanie zjawisk fizykochemicznych w procesie rafinacji barbotażowej ciekłego aluminium”.

Recenzja została opracowana na zlecenie Przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa (Wydział Metali Nieżelaznych) Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, prof. dr hab. inż. Agnieszki Kopii, zawarte w piśmie z dn. 07.03.2022 r.

Tematyka recenzowanej pracy dotyczy badania zjawisk fizykochemicznych w procesie rafinacji barbotażowej aluminium. Proces ten jest powszechnie stosowany w przemyśle hutniczym i odlewniczym aluminium. Istotną cechą procesu jest możliwość maksymalne usunięcie gazów oraz zanieczyszczeń występujących w ciekłym metalu tak, aby w końcowym etapie produkcji uniknąć występowania wad odlewów w postaci wtrąceń niemetalicznych i porowatości. Rafinacja barbotażowa może być realizowana przy pomocy: umieszczonej w dnie reaktora porowatej kształtki gazoprzepuszczalnej, lancy lub tzw. wirującego rotora. Pomimo szeregu dostępnych na rynku rozwiązań technicznych, metoda rafinacji barbotażowej jest ciągle udoskonalana w celu osiągnięcia wymaganej przez odbiorców coraz wyższej czystości metalurgicznej. Biorąc to pod uwagę, wybór tematyki badań można uznać za wciąż aktualny i uzasadniony.

Temat rozprawy, jej zakres oraz zastosowane metody badawcze pozwalają zakwalifikować ją do dyscypliny inżynieria materiałowa. Prezentowane w pracy badania należy zakwalifikować do badań podstawowych, niemniej jednak ich wyniki mogą potencjalnie zostać wykorzystane do rozwiązań przemysłowych.

Rozprawa doktorska, autorstwa mgr inż. Kamila Kuglina, składa się z sześciu rozdziałów i liczy 108 stron. Praca nie ma układu klasycznego, z podziałem na część teoretyczną i praktyczną, a napisana jest bardziej w formie złożonych części, każda z bardziej lub mniej rozbudowaną częścią wprowadzającą (teoretyczną), a każdy z rozdziałów, za wyjątkiem Wniosków, zakończony jest bibliografią. Ilość i zakres cytowanej literatury został dobrany prawidłowo i jest wystarczający do prezentacji tematu rozprawy, niemniej jednak spora część pozycji literaturowych to prace opublikowane w latach 80-tych i 90-tych, trudno znaleźć też prace po 2010 roku. Brak również sformułowanej tezy pracy, podano tylko jej cele.

W rozdziale 1 (Wprowadzenie), Doktorant opisuje procesy technologiczne otrzymywania aluminium oraz charakteryzuje parametry tego metalu, głównie pod kątem występujących w nim zanieczyszczeń. Ta część pracy stanowi teoretyczne opracowanie zawierające informacje o urządzeniach i sposobach usuwania zanieczyszczeń z ciekłego aluminium. W rozdziale 2 Doktorant podaje podstawowe parametry charakteryzujące proces rafinacji barbotażowej aluminium. W tym rozdziale podano najważniejsze cele rozprawy i zakres prowadzonych badań. Rozdział 3 obejmuje zagadnienia wprowadzania i usuwania wodoru z aluminium, na drodze transportu i dyfuzji w ciekłym aluminium. Doktorant podaje i opisuje wzory matematyczne i parametry związane z tymi procesami, następnie korzystając z modelu Kitamury wykonuje obliczenia usuwania wodoru, dla zadanych parametrów procesu. W tych pierwszych trzech rozdziałach pracy, które - pomimo nieklasycznego układu pracy - można pokusić się aby nazwać pewną formą wprowadzenia do tematyki badań, pojawia się duża ilość pojęć i definicji, popartych wzorami i zależnościami. Sporo tutaj zamieszania i niejasności, dla przykładu (str. 14 rys. 1 i 2) stosowanie odmiennych oznaczeń dla tych samych przepływów (utrudnia to porównanie) a w dalszej części pracy (np. rys 9), jeszcze inne oznaczenia - brak konsekwencji. Błędne są również oznaczenia przy równaniach, np. pęcherz gazowy oznaczany jest indeksem p a innym razem B . Ponadto, zdarza się, że brak jest wyjaśnienia pojawiających się nowych oznaczeń. Standardem jest, iż w pracach stosuje się wydzielony spis oznaczeń albo oznaczenia, w raz z jednostkami, opisywane są wraz z pierwszym ich pojawieniem się w tekście. Tutaj brak konsekwencji - spisu nie ma, natomiast gdy pojawia się jakieś oznaczenie, czasem jest z opisem, czasem bez, raz z jednostkami, a przy niektórych oznaczeniach całkowicie brak wyjaśnienia. Dodatkowo, w niektórych tabelach (np. Tabela 5) nie podano jednostek.

Rozdział 4 poświęcony jest zagadnieniom inżynierii wtrąceń w ciekłym metalu. Autor zajmuje się zjawiskami kolizji pęcherzyków gazowych i zanieczyszczeń. Do tego celu

wykorzystuje metodę PSG (Particle Size Grouping). Metoda ta jest wykorzystywana głównie do analizy zjawiska aglomeracji wtrąceń niemetalicznych w ciekłej stali. Na podstawie uzyskanych wyników symulacji, dla zadanych parametrów wtrąceń niemetalicznych, Autor stwierdza, że usunięcie drobnodispersyjnych wtrąceń niemetalicznych na drodze kolizji turbulentnych jest trudne do zrealizowania. Doktorant podaje, że symulację zachowania się cząstki na granicy faz obliczono programem komputerowym w języku C++, jednak niestety nie informuje czy jest to jego własny kod, czy może jest dostępny w Jednostce (gdzie realizował pracę) lub czy jest to jednak kod komercyjny. W tej części pracy również znajduje się sporo niejasnych sformułowań, czy błędnych oznaczeń, dla przykładu: pod tym samym oznaczeniem znajdziemy raz topnik, raz rafinator; użycie sformułowania „siła wyporności” (natomiast mamy siłę wyporu i/lub wyporność ciała zanurzonego w cieczy). W rozdziale 4 Autor opisuje również drugą metodę usuwania wtrąceń niemetalicznych, wykorzystując do tego celu rafinujący żużel pokrywający powierzchnię ciekłego metalu. Obliczenia skuteczności usuwania wybranych wtrąceń do żużla, Doktorant badał przy pomocy opracowanego w tym celu programu komputerowego. Obliczenia zostały przeprowadzone dla jednego wariantu żużla rafinującego, o zadanej składzie chemicznym. Dobór składu chemicznego jest bardzo istotny dla skuteczności usuwania, lub transportu, zanieczyszczeń do powierzchni ciekłego metalu. Tutaj również Autor wprowadza sporo zamieszania, nazywając ten proces adsorbacją („... wtrącenie zostało trwale zaadsorbowane do żużla...”) lub asymilacją, czasem nawet zamiennie. Pomijając błędy w pisowni, Autor myli pojęcia adsorbacja i absorpcja. Chodzi mu chyba o proces wnikania wtrąceń do wnętrza fazy żużlowej (absorbację) a nie gromadzenie cząstek na granicy faz metal-żużel (adsorbacja)? Ciekawe jest również, co Autor rozumie przez „małe wartości liczby Reynoldsa”.

Rozdział 5 (Model głowicy rotora), zawiera istotne wyniki badań modelowych, będących rezultatem zarówno modelowania fizycznego jak i numerycznego. O skuteczności procesu rafinacji barbotażowej, w dużej mierze decydują parametry konstrukcyjne wirników. Autor zaprojektował sześć typów wirników, korzystając z programu Solid Works, następnie wydrukował modele techniką druku 3D. Kolejny etap obejmował przeprowadzenie eksperymentów, z wykorzystaniem opracowanych i wytworzonych wirników, na modelu fizycznym urządzenia przemysłowego. Jest to model wodny reaktora URO 200, znajdujący się w Katedrze Metalurgii i Recyklingu na Politechnice Śląskiej. Na podstawie badań eksperymentalnych, Doktorant wytypował najbardziej optymalne rozwiązania konstrukcyjne. Rozdział piąty zawiera również wyniki symulacji numerycznych, dla wybranych wariantów głowic, przeprowadzone z wykorzystaniem programu Flow 3D. Co zastanawia, to

zamieszczenie wyników symulacji numerycznych w podrozdziale zatytułowanym „Badania z wykorzystaniem modelu fizycznego”. Z czego to wynika? Czy Autor uważa modelowanie numeryczne za integralną część modeli fizycznych? Pomijam fakt zdawkowego opisu modelu numerycznego i brak lub niepełny opis warunków początkowych i brzegowych procesu. Analizując podane w tym rozdziale założenia modelu numerycznego, nasuwa się pytanie, czy przy dzisiejszych mocach obliczeniowych komputerów i dostępnej pamięci RAM, nie można było się pokusić o przeprowadzenie obliczeń wielofazowych, bez konieczności stosowania niektórych uproszczeń? Pomimo wskazanych braków i niedociągnięć, ten rozdział pracy doktorskiej stanowi oryginalny wkład Doktoranta w rozwój nauki w zakresie inżynierii wtrąceń niemetalicznych w ciekłym aluminium, w szczególności w zakresie projektowania wirników.

Rozdział 6 zatytułowano Wnioski, natomiast de facto, zawiera on stwierdzenia i wnioski. Zamiast podawać siedemnaście bardzo obszernych wniosków (jak nazywa je Autor, choć jak wspomniałem, nie wszystkie nimi są), na podstawie zaprezentowanego w pracy materiału można było pokusić się o przedstawienie treściwego podsumowania całej pracy i wyłuskanie kilku najbardziej istotnych dla dysertacji wniosków. W moim odczuciu, Autor powinien to skorygować podczas publicznej obrony pracy.

Ogólnie - poza wykazanymi nieścisłościami i błędami wskazanymi częściowo w recenzji a w całości przekazane Autorowi - praca jest napisana poprawnym, zrozumiałym językiem a sformułowania techniczne zostały w większości dobrane właściwie. Szata graficzna jest schludna, rysunki o dużej jakości, z wyraźnymi podpisami. Jakość wizualną pracy można ocenić bardzo pozytywnie.

Podczas lektury rozprawy doktorskiej, nasuwają się pewne pytania i wątpliwości, które powinny zostać przedyskutowane i wyjaśnione podczas publicznej obrony:

1. Na jakiej podstawie Autor twierdzi, że „Wyniki symulacji numerycznej (rys. 67) dają dobrą zgodność z eksperymentami wykonanymi z zastosowaniem modelu fizycznego”. Czy przeprowadzono jakąkolwiek analizę ilościową dla badanych wariantów, w przypadku modelowania fizycznego lub numerycznego?
2. Z uwagi na liczne niejasności i niedociągnięcia w recenzowanej pracy, w zakresie mechaniki płynów, proszę podać i krótko scharakteryzować siły działające na ciało stałe (wtrącenie) zanurzone w cieczy (ciekły metal).
3. We wnioskach do rozdziału 3. Usuwanie wodoru z ciekłego aluminium, Autor stwierdza, że „Usuwanie wodoru polega na jego dyfuzji do pęcherzyka gazu obojętnego.

Czynnikiem ograniczającym efektywność tego procesu jest tworzenie się warstwy dyfuzyjnej na powierzchni pęcherza związanej np. z tworzeniem warstewki np. $MgCl_2$ ”. Na jakiej podstawie Autor sformułował taki wniosek? Czy było to przedmiotem prowadzonych przez Autora badań?

4. W części pracy dotyczącej symulacji numerycznych, Autor podaje „W momencie osiągnięcia wymaganej prędkości rozpoczęto generowanie losowo rozmieszczonych pęcherzyków wokół wirnika z prędkością 2000 na sekundę.” Proszę o wyjaśnienie w jaki sposób to realizowano, oraz dokładne wyjaśnienie, czego dotyczy sformułowanie prędkość 2000 na sekundę.

Materiał zawarty w pracy pozwala stwierdzić, iż Autor zrealizował postawione sobie cele, przedstawione w rozdziale drugim. Do rozwiązania badanych zjawisk zastosował podejście kompleksowe, stosując badania oparte o modelowanie hybrydowe. Zawiera ono zarówno wyniki badań modelowania fizycznego jak i numerycznego, dotyczące optymalizacji warunków usuwania zanieczyszczeń (wtrąceń i wodoru) z ciekłego aluminium. W pracy Autor zaproponował alternatywne konstrukcje głowic rotorów, które zostały poddane badaniom i weryfikacji. Wnioski zostały sformułowane adekwatnie do otrzymanych wyników, choć są zbyt rozbudowane.

Reasumując uważam, że przedstawiona do recenzji rozprawa jest samodzielnym rozwiązaniem złożonego problemu badawczego o charakterze podstawowym a ponadto ma również potencjał użyteczny. Doktorant wniósł oryginalny wkład w rozwój wiedzy dotyczącej zjawisk fizykochemicznych w procesie rafinacji barbotażowej ciekłego aluminium, w szczególności w zakresie projektowania konstrukcji głowic rotorów. Uzyskane wyniki badań poszerzają wiedzę z zakresu inżynierii wtrąceń niemetalicznych w ciekłym aluminium. Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Kamila Kuglina spełnia w stopniu wystarczającym wymogi Ustawy o Stopniach i Tytule Naukowym z dn. 14 marca 2003 r. (D.U. RP nr 65 z 16 kwietnia 2003r. poz. 595 z późn. zm.) i wnoszę o dopuszczenie pracy do publicznej obrony.

