

Częstochowa, 30 październik 2023

dr hab. inż. Adam Cwudziński, prof. PCz
Katedra Metalurgii i Technologii Metali,
Wydział Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów
Politechnika Częstochowska
Al. Armii Krajowej 19, 42-200 Częstochowa
tel. 343250779
adam.cwudzinski@pcz.pl

Recenzja

pracy doktorskiej mgr inż. Józefa Schwietza pt.

„Wykorzystanie dźwięku emitowanego przez pracujący piec elektryczny oraz wahań poboru mocy czynnej do wyznaczenia optymalnego momentu rozpoczęcia podawania spieniacza do pieca”

wykonana na podstawie zlecenia Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej prof. dr hab. inż. Marii Sozańskiej, z dnia 25 września 2023 r.

1. Wstęp

W sierpniu 2023 w Polsce wyprodukowano około 490,000 ton stali surowej. Poziom ten choć o prawie 120,000 niższy niż przed rokiem zapewnił Polsce, ex aequo z Belgią piąte miejsce w Unii Europejskiej. Łącznie w sierpniu 2023 roku w Unii Europejskiej wyprodukowano 9 mln ton stali, stąd rodzima produkcja stanowi 5% udział w wytwarzaniu stali na terenie Unii Europejskiej. Stal surową wytwarza się w konwertorze tlenowym bazując głównie na surówce żelaza lub łukowym piecu elektrycznym (ŁPE), do którego podstawowym wsadem jest złom stalowy. Łącznie, łukowe piece elektryczne wytwarzają 30% stali surowej, ze średnią emisją CO₂ na poziomie 0,39 Mg na 1 Mg stali i są głównie stosowane jako urządzenia do roztopiania złomu stalowego, natomiast właściwa rafinacja i przygotowanie do etapu odlewania stopu Fe-C wykonywane jest w piecach kadziowych. Efektywne wytapianie stali w ŁPE, wymaga jak najszybszej stabilizacji płonienia łuku między elektrodami a wsadem stalowym, ograniczenia „stref zimnych” w objętości roboczej pieca poprzez dodatkowe nagrzewanie wsadu za pomocą palników, realizowania technologii spienionego żużla, czy mieszania kąpieli metalowej za pomocą Ar lub N₂ przez dysze

umieszczone w dnie trzonu. Pienienie żużła podczas wytapiania stali w elektrycznym piecu łukowym jest złożonym procesem, skorelowanym ze składem chemicznym żużła (indeksem zasadowości i zawartością FeO), jego stanem fizycznym tj. gęstością, lepkością, zwilżalnością i napięciem powierzchniowym, tempem iniekcji węgla i tlenu, kątem natarcia strugi iniekcyjnej na fazy metalową i żużlową, czy średnicą pęcherzy gazowych w fazie ciągłej żużlowej. Stąd podjęty w pracy doktorskiej Pana mgr inż. Józefa Schwietza temat, uważam za aktualny i ważny zwłaszcza, że proces efektywnego spieniania żużła istotnie przyczynia się do poprawy procesów transportu masy i ciepła, zmniejszając emisję CO₂.

2. Ocena formalna pracy i wiedzy teoretycznej

Praca doktorska Pana mgr inż. Józefa Schwietza podzielona została na 13 rozdziałów. Rozdziały od 1 do 5 obejmują aktualny stan wiedzy dotyczący konstrukcji łukowego pieca elektrycznego, technologii wytapiania stali w ŁPE, procesu spieniania żużła i zastosowania dźwięku jako narzędzia umożliwiającego sterowanie procesem technologicznym. Autor pracy opisuje układ zasilania ŁPE i jego budowę. Dość pobieżny opis budowy ogniskuje się wokół części cylindrycznej obejmującej pancierz i panele chłodzące oraz sklepienie pieca, pomijając całkowicie trzon pieca, czy hydrauliczny układ przechyłu pieca. Autor dysertacji w rozdziale dotyczącym technologii przytacza zagadnienia dotyczące przygotowania koszy wsadowych, formowania się łuku elektrycznego, ogrzewania wsadu za pomocą palników gazowo-tlenowych i podawania materiałów żużlotwórczych i nawęglających. Istotnym fragmentem teoretycznej części pracy doktorskiej jest opis procesu spieniania żużła, w którym Autor wymienia zalety procesu formowania piany żużlowej. Autor przytacza minimalne wymagania związane ze składem chemicznym fazy żużlowej, jakie muszą być spełnione, aby zjawisko pienienia żużła było efektywne. Ponadto Autor opisuje sposoby podawania materiału spieniającego do objętości roboczej ŁPE jak i charakteryzuje materiały będące nośnikiem węgla. W rozdziale 5 Pan mgr inż. Józef Schwietz opisuje rolę i możliwości stosowania dźwięku jako sygnału zwrotnego mającego potencjał monitorowania przebiegu procesu wytapiania stali w ŁPE. Ostatecznie Autor wykazuje korelację pomiędzy poziomem dźwięku emitowanym przez ŁPE, a formą fazy żużlowej kreując przestrzeń do realizacji celów dysertacji i udowodnienia postawionej tezy.

Praca zawiera 87 rysunków i 21 tablic oraz dodatkowe schematy i dane tabelaryczne przedstawione w rozdziale 11 (Załączniki). Rozdział 13 obejmuje 61 pozycji literaturowych odnoszących się do zagadnień związanych z tematyką rozprawy doktorskiej. Niestety wśród przytoczonych pozycji literaturowych brak jest opracowań naukowych własnych lub

współautorskich Autora dysertacji. Praca jest napisana poprawnym językiem. Sporadycznie pojawiają się błędy językowe, znaczeniowe lub składniowe, które nie umniejszają jakości merytorycznej recenzowanej pracy doktorskiej. Jednakże w trakcie recenzowania pracy doktorskiej zauważono następujące błędy, które powinny być poprawione w przypadku publikacji prezentowanych wyników w periodykach naukowych lub przy realizowaniu kolejnych badań naukowych i opracowywaniu ich w formie sprawozdań, artykułów lub monografii naukowych.

- Autor pominął kompleksowy opis procesu wytapiania stali w analizowanym ŁPE, choćby w ujęciu uśrednionym, jest to informacja fundamentalna dla prawidłowej oceny analizowanego zagadnienia naukowego np. całkowity czas od załadunku pierwszego kosza ze złomem do spustu ciekłej stali, okres topienia złomu z pierwszego kosza wsadowego, podawanie materiału żużłotwórczego, itd.
- Elektrody wprowadzane są do ŁPE przez koło podziałowe elektrod znajdujące się w sklepieniu, stąd nazwa „ceramiczne sklepienko” jest dość niestandardowa, jak na pracę naukową z metalurgii ekstrakcyjnej (str. 6 i 19).
- Praca doktorska w języku polskim nie powinna zawierać skrótów w języku angielskim stąd używanie „EAF” jako skrótu dla łukowego pieca elektrycznego nie jest poprawne. Ponadto Autor pracy przy pierwszym użyciu skrótu „EAF” nie wyjaśnił jego znaczenia (str.8).
- W teorii procesów metalurgicznych fazy stałe odrębne ujmuje się w nawiasy ostrokątne „<>”. Stąd zapis „Cst” nie jest poprawnym zapisem reakcji węgla z tlenem lub dwutlenkiem węgla, zwłaszcza, że dla pozostałych substratów i produktów reakcji (1)-(4), Autor zastosował poprawne formy zapisu faz (str.17).
- W tabeli 2 (str. 22), autor opisuje właściwości materiałów spieniających produkowanych na bazie antracytu, jednakże zgodnie z danymi przedstawionymi w tabeli 2, materiały SA, AC i EKO są takie same.
- Prezentowanie danych w postaci jednej tabeli na dwóch kolejnych stronach powinno być opatrzone podpisem tabeli na obu stronach (str. 25-26). Natomiast tabela i jej podpis nie powinny być rozdzielone pomiędzy dwie strony (str.49, 52, 76).
- Na rysunkach przedstawiających rozkład poziomu dźwięku i mocy czynnej, Autor prezentuje linie trendu dla spieniacza lub węgla. Jednakże brak osi uwzględniającej jednostkę zużycia spieniacza stanowi lukę w opisie kinetyki wytapiania stali w rozpatrywanym ŁPE.

- Autor powinien unikać używania tych samych podpisów pod rysunkami odnoszącymi się do różnych okresów wytapiania stali, np. rysunek 58 i 60.
- W recenzowanej pracy doktorskiej Autor nie wykazał się odpowiednią starannością w formatowaniu rozdziału 13 zawierającego cytowaną literaturę np. pozycja 8 i 25 to jest to samo źródło. Ponadto praktycznie każda przytoczona w rozdziale 13 praca zapisana jest w indywidualnej formie (str. 126-130).

3. Ocena oryginalnego rozwiązania problemu naukowego, potencjału aplikacyjnego wyników w sferze gospodarczej i umiejętności samodzielnego realizowania badań naukowych

W części doświadczalnej pracy doktorskiej Autor stawia tezę o możliwości zastosowania dźwięku jako sygnału determinującego inicjację procesu podawania materiału spieniającego do układu heterogenicznego stal-żużel. Praca doktorska oparta jest na eksperymentach wykonanych w warunkach przemysłowych stąd uzyskane wyniki mają potencjał aplikacyjny i bezpośrednio korelują ze stanem rzeczywistym interakcji poszczególnych składników faz, wysokotemperaturowego układu heterogenicznego, jaki występuje w ŁPE. W pierwszym etapie badań Autor oznaczył częstotliwość dźwięku, reprezentatywną dla łuku elektrycznego. Następnie analizując pracę ŁPE wyznaczył poziom dźwięku dla którego następowała stabilizacja poboru mocy w trakcie wytapiania stali. Uzyskując wartość krytyczną dźwięku, Pan mgr inż. Józef Schwietz bazując na analizie kinetyki wytapiania stali w analizowanym obiekcie przemysłowym określił moment stabilizowania się poboru mocy czynnej. W tym etapie badań Autor pracy dokonał szczegółowej analizy statystycznej, wyznaczając szerokość przedziałów czasowych eliminujących przypadkowe inicjowanie procesu podawania materiału spieniającego do objętości roboczej ŁPE. Ostatecznie Autor weryfikuje skuteczność opracowanej metody poprzez implementację wyników do układu sterującego pracą ŁPE. Pan mgr inż. Józef Schwietz analizuje zachowanie się układu heterogenicznego stymulowanego między innymi zmodyfikowanym przez program Autora układem podawania materiału spieniającego podczas wytapiania stali. Ponadto Autor uzyskał przedstawione wyniki na bazie autorskiej, zaprojektowanej aparatury badawczej i wypracowanej metodyki jej zastosowania w trudnych warunkach procesowych jakie występują w bezpośredniej bliskości ŁPE. Na podstawie uzyskanych wyników badań, Autor dysertacji sformułował wnioski udowadniając postawioną tezę i realizując cel naukowy pracy doktorskiej. Podsumowując część doświadczalną pracy doktorskiej, stwierdzam, że jest to rzetelne opracowanie naukowe, cechujące się wynikami o potencjale aplikacyjnym. Jednocześnie po przestudiowaniu

niniejszej pracy doktorskiej uważam za zasadne udzielenie dodatkowych wyjaśnień związanych z kinetyką procesu wytapiania stali w ŁPE. Odpowiedzi proszę udzielić podczas publicznej obrony pracy doktorskiej.

- ŁPE jest reaktorem typu wsadowego, w którym siły bezwładności stymulujące procesy transportu są inicjowane przez iniekcję gazów i materiałów nawęglających. Dlatego proszę o informację, o położeniu lanc do iniekcji materiału spieniającego w trzonie pieca, wartości kąta ich nachylenia względem powierzchni swobodnej lustra ciekłej stali i fazy żuźlowej oraz średniej wartości natężenia masowego iniekcji materiału nawęglającego. Jakie było rozmieszczenie lanc do iniekcji tlenu? Ile wynosiło objętościowe natężenie przepływu tlenu podczas procesu spieniania żuźła?
- Proces efektywnego spieniania żuźła jest procesem kompleksowym, nie tylko zależnym od momentu inicjacji procesu podawania speniacza do układu heterofazowego. Jednym z głównych czynników limitujących ten proces jest stan fizyko-chemiczny fazy żuźlowej. Na podstawie danych zawartych w tabeli 7 zidentyfikowane żuźle były żuźłami dość trudnymi do efektywnego spieniania z poziomami FeO bliskimi 30%. W związku, z tym proszę o informację, czy dla 48 wytopów badawczych analizowano skład chemiczny fazy żuźlowej, jeśli tak to jaki był średni skład chemiczny fazy żuźlowej? Czy zauważył Pan związek pomiędzy składem chemicznym fazy żuźlowej, a wahaniami w poziomie rejestrowanego dźwięku podczas formowania piany żuźlowej?

4. Wniosek końcowy

Na podstawie przedstawionej do oceny pracy doktorskiej Pana mgr inż. Józefa Schwietza, stwierdzam, że dysertacja spełnia wymogi ustawy, a uzyskane wyniki w zakresie inicjowania procesu podawania materiału spieniającego fazę żuźlową do objętości roboczej elektrycznego pieca łukowego stanowią oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i potwierdzają ogólną wiedzę teoretyczną Pana mgr inż. Józefa Schwietza w dyscyplinie naukowej Inżynieria Materiałowa oraz umiejętność Pana mgr inż. Józefa Schwietza do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Mając na uwadze wytyczne przedstawione w ustawie z dnia 20 lipca 2018 *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* wnioskuję o dopuszczenie Pana mgr inż. Józefa Schwietza do publicznej obrony pracy doktorskiej.



Podpisał: dr hab. inż. Adam Cwudziński, prof. PCz