

Dr hab. inż. Marian Niesler, prof. nzw.
Instytut Metalurgii Żelaza im. Stanisława Staszica
44 – 100 Gliwice
ul. K. Miarki 12 – 14

Gliwice, 15.01.2018 r.

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Ihora Fieiereizena

pt.:

„POPRAWA EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ PROCESU WYTAPIANIA STALI W KONWERTORACH TLENOWYCH”

Wykonana na zlecenie Dziekana Wydziału Inżynierii Materiałowej i Metalurgii
Politechniki Śląskiej w Katowicach

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska pt. „Poprawa efektywności energetycznej procesu wytapienia Stali w konwertorach tlenowych”, wykonana została przez Pana mgr inż. Ihora Fieiereizena w Katedrze Metalurgii Ekstrakcyjnej i Ochrony Środowiska, Wydziału Inżynierii Materiałowej i Metalurgii Politechniki Śląskiej, pod kierunkiem dr hab. inż. Jacka Pieprzycy. Promotorem pomocniczym był Pan dr inż. Tomasz Merder.

W niektórych państwach, głównie Ukrainie, Rosji, ale również Japonii, Niemczech, Austrii obserwuje się zwiększoną podaż złomu, która przewyższa zapotrzebowanie stalowni elektrycznych tych krajów. W związku z tym prowadzone są próby zwiększenia zużycia złomu w procesie konwertorowym. Wymaga to jednak zwiększenia potencjału cieplnego tego procesu. Jedną z efektywnych metod rozwiązania tego problemu jest zastosowanie **kawałkowego paliwa zawierającego węgiel (KPZW)**, jako dodatkowego nośnika ciepła. W porównaniu z innymi metodami, nie wymaga ona ponoszenia kosztów inwestycyjnych na dodatkowe urządzenia stalowni konwertorowej, czy też stosowania drogich nośników energii. Niezależnie od dotychczasowych doświadczeń wynikających ze stosowania paliwa kawałkowego w konwertorach tlenowych, jak i dużej ilości teoretycznych i praktycznych opracowań, na wiele pytań nie uzyskano zadowalających odpowiedzi. Dotychczas uzyskane wyniki badań są mało spójne, a wręcz sprzeczne. Nie uzyskano dotychczas konkretnych parametrów technologicznych przy stosowaniu kawałkowego paliwa, dla poszczególnych etapów produkcji stali takich jak np. sposób i czas załadunku paliwa, maksymalna jego ilość na wytop, itd.

Dlatego też w prezentowanej rozprawie Autor podjął próbę krytycznej analizy porównawczej istniejących danych, dotyczących zastosowania kawałkowego paliwa zawierającego węgiel w procesie konwertorowym z punktu widzenia zachodzących procesów fizykochemicznych oraz efektywności ekonomicznej i ekologicznej ich stosowania.

Układ pracy jest typowy dla tego rodzaju rozpraw i logicznie prowadzi przez rozumowanie autora. Recenzowana rozprawa zawiera się na 122 stronach w 7 rozdziałach. Zakończona jest podsumowaniem, wnioskami i bibliografią. Posiada wstęp, część literaturową (rozdział 1) zawierającą dotychczasowy stan zagadnienia. W rozdziale 2 zamieszczono cel i zakres pracy. Rozdziały 3 – 7 to badania własne, opracowanie i analiza wyników badań. Całość dysertacji zakończona jest podsumowaniem i wnioskami. Bibliografia zawiera 94 pozycje, w większości rosyjskojęzyczne (89 pozycji), głównie z lat 80-90 zeszłego wieku. Zaledwie 20 pozycji jest z lat 2001 – 2011.

Brak jakichkolwiek pozycji literaturowych, których autorem lub współautorem jest doktorant, a szkoda, gdyż jak wynika z wykazu dorobku naukowo – badawczego jest autorem lub współautorem w latach 2009 - 2017 szesnastu publikacji z tej dziedziny w czasopiśmie naukowo – technicznym, raportach naukowych i wystąpieniach na konferencjach naukowych, w tym współautorem patentu pt. „Sposób wykorzystania kawałkowego paliwa zawierającego węgiel w trakcie wytopu konwertorowego”.

Po krótkim wstępie Autor przechodzi do przeglądu stanu zagadnienia w literaturze. Przedstawia efektywność stosowania kawałkowego paliwa zawierającego węgiel w procesie konwertorowym poprzez analizę procesu spalania KPZW w procesie konwertorowym (podrozdział 1.1), proces topienia złomu (podrozdział 1.2), kończąc na analizie metod obliczeń bilansu cieplnego i materiałowego tego procesu (podrozdział 1.3).

Zakres tematyczny literatury jest właściwy dla realizacji pracy, a przeprowadzona analiza źródeł jest zadowalająca. Zastanawiające jednak jest to, że przytoczony stan zagadnienia opisuje doświadczenia w stosowaniu kawałkowego paliwa zawierającego węgiel w stalowniach konwertorowych wschodniej Europy. Czyżby w tej dziedzinie nic się nie działo w stalowniach konwertorowych reszty świata? Jakie kryterium miał na myśli Doktorant, w ten sposób dobierając literaturę ?

W tej części pracy Autor przeanalizował około 81 pozycji literaturowych, obejmujące wszystkie istotne aspekty procesu stosowania KPZW w procesie konwertorowym. Autor wykazał się dobrą znajomością stanu wiedzy w w/w zakresie, co pozwoliło mu na właściwe postawienie celu pracy i sformułowanie jej tezy.

Cel pracy (rozdział 2) jest jasno sformułowany, a zaproponowany zakres badań przejrzysto prezentuje drogę, jaką Autor zamierza zrealizować cel pracy. Brakuje mi tutaj wyraźnie zaznaczonej tezy, którą zamierza udowodnić Doktorant. W opisie celu i zakresu pracy można, między wierszami, doszukać się tej tezy, którą można sformułować następująco:

„Odpowiednie zastosowanie kawałkowego paliwa zawierającego węgiel w procesie wytapiania stali metodą konwertorową wpływa pozytywnie na bilans cieplny konwertora i zwiększenie uzysku ciekłej stali”.

Chciałbym również zwrócić uwagę na niestaranność w kolejności zapisu zakresu pracy przedstawionej w rozdziale 2 Cel i zakres pracy, str. 30. I tak pkt. 6 zakresu powiniem być na miejscu 2, pkt. 7 jako pozycja 3, pkt. 2,3,4,5 odpowiednio jako pkt. 4,5,6,7. Taka przynajmniej kolejność jest zachowana w dalszej części dysertacji.

Badania własne (Rozdziały 3-6) obejmowały cztery zagadnienia. W rozdziale 3 autor dokonuje analizy wpływu wstępnego podgrzewania złomu stalowego na proces jego topienia w ciekłej kąpieli metalowej w trakcie wytopu. Rozpatruje proces topnienia złomu w surówce przed rozpoczęciem dmuchu oraz w trakcie procesu. Głównym parametrem, wskazującym na równomierność nagrzewania złomu, brany pod uwagę przez doktoranta była średnia temperatura złomu $T_{z.s.}$. Autor stwierdza, że przy stosowaniu nagrzanego złomu ulega polepszeniu proces jego topienia. Ze wzrostem średniej temperatury złomu, czas jego topienia znacznie się skraca, szczególnie dla złomu lekkiego. Czas topienia może się skrócić nawet o około 15%, co pozwala na zwiększenie ilości przerabianego złomu.

Niejasny jest dla mnie sposób przeprowadzenia obliczeń, które doprowadziły do tych konkluzji. Autor wskazuje, że do analizy wziął trzy rodzaje złomu, których udział we wsadzie metalicznym wynosił 21%, temperatura surówki wynosiła 1553 K przy zawartości w niej węgla na poziomie 4,25%. Narzędziem obliczeniowym był program do symulacji komputerowej. Doktorant nie wyjaśnił czy to program autorski, czy komercyjny?

W rozdziale 4 doktorant rozważa efektywność stosowania KPZW dla podwyższenia potencjału cieplnego procesu konwertorowego. Autor przedstawia tu swoją metodę analizy efektywności użycia KPZW, która umożliwia porównanie różnych sposobów i wariantów wprowadzania paliwa oraz optymalnego wyboru jego gatunków do procesu. Metoda ta polega na sprowadzeniu wszystkich parametrów wytopu do jednakowych warunków materiałowych i cieplnych. Autor wyznaczył empirycznie trzy współczynniki efektywności: współczynnik ekwiwalentu paliwa w surówce (W_E), który określa masę surówki zastępowaną przez 1 kg KPZW, współczynnik zużycia paliwa (W_z), który określa stopień wykorzystania ciepła uzyskanego ze spalania KPZW w procesie podgrzewania metalu oraz współczynnik ciepła przyswojenia paliwa (W_p). Współczynnik ten określa udział ciepła ze spalania KPZW w procesie wstępnego podgrzewania złomu stalowego oraz w trakcie utleniania i rozpuszczania w kąpieli.

Niezwykle cenny jest fakt, że analiza efektywności była prowadzona przez doktoranta na wynikach eksperymentów przemysłowych, opisanych w różnych źródłach literaturowych. Wymagało to przeanalizowania bardzo wielu wytopów z różnych stalowni konwertorowych. Przeprowadzona analiza potwierdziła założenia o efektywności wykorzystania KPZW, a najbardziej efektywnym wariantem jest wykorzystanie węgla do wstępnego podgrzewania złomu w przestrzeni roboczej konwertora.

W rozdziale 5 doktorant określił efektywność ekonomiczną i ekologiczną procesu spalania KPZW, podczas wstępnego podgrzewania złomu w przestrzeni roboczej konwertora oraz optymalny sposób jego wprowadzania. Wykorzystał do tego parametry wytopów przeprowadzanych w jednej z ukraińskich hut. Do wykonania analizy efektywności wykorzystał współczynniki efektywności opracowane przez siebie w rozdziale 4. Z przeprowadzonej analizy wynika, że w przypadku w/w huty, korzystniejsze jest wykorzystanie KPZW do wstępnego podgrzewania złomu w porównaniu do podawania KPZW w trakcie wytopu stali. Przeprowadzone przez doktoranta obliczenia wykazały, że

stosowanie KPZW do podgrzewania złomu może przynieść oszczędności w wysokości ok. 1,7 mln € rocznie, dzięki oszczędności na materiałach wsadowych w porównaniu do ok. 0,1 mln € w przypadku podawania KPZW w trakcie wytopu stali. Próba oszacowania efektu ekologicznego wykazała, że obydwie technologie pozwalają zmniejszyć ilość produktów ubocznych (żużla, szlamu, pyłów), głównie w wydziale wielkopiecowym, ale mogą się wiązać ze zwiększoną emisją CO₂.

Proszę o wyjaśnienie, w trakcie obrony pracy, z czego wynika zmniejszenie ilości odpadów w wydziale wielkopiecowym oraz zmniejszenie emisji H₂S, NO_x, SO₂ ?

Rozdział 6 dotyczący współdziałania KPZW z fazą gazową w warunkach wstępnego podgrzewania złomu stalowego w przestrzeni roboczej konwertora jest konsekwencją badań i analiz wykonanych przez doktoranta w poprzednich rozdziałach.

W rozdziale 3 doktorant udowodnił jak istotny jest wpływ podgrzewania złomu na poprawę parametrów procesu konwertorowego. W rozdziałach 4-5 doktorant wskazał, że efektywnym sposobem podgrzewania złomu jest stosowanie KPZW, który wprowadza się w trakcie wstępnego podgrzewania złomu do przestrzeni roboczej konwertora. Należy jednak zaznaczyć, że współczynniki efektywności użycia KPZW można obliczyć dopiero po zakończeniu procesu wytopu stali w konwertorze.

Aby można było w warunkach przemysłowych stosować KPZW należy precyzyjnie zasymulować proces spalania/utleniania się paliwa kawałkowego w odpowiednich warunkach. W tym celu doktorant określił mechanizm zjawisk zachodzących pomiędzy KPZW a fazą gazową, w trakcie, jak wyżej wspomniano, najbardziej efektywnego sposobu podgrzewania złomu tj. wstępnego podgrzewania złomu w przestrzeni roboczej konwertora. Następnie sformułował bardzo szczegółowy model matematyczny, który wykorzystał do opracowania autorskiego programu komputerowego o nazwie WKP_GAZ, którego zadaniem jest dobór odpowiedniego gatunku KPZW.

Autor na str. 50, przy opisie zjawisk zachodzących w procesie spalania KPZW, powołując się na autorów publikacji [31], pomija proces tworzenia się sadzy, ze względu na jej niewielkie znaczenie. Z mojej praktyki przemysłowej wynika jednak, że może to prowadzić do odkładania się niespalonych substancji w rurociągach i prowadzić do pożarów, szczególnie przy niestabilnym procesie produkcyjnym i użyciu węgla z wysoką zawartością części lotnych.

W rozdziale 7 autor przedstawił opracowanie i omówienie wyników analizy numerycznej spalania paliw w fazie gazowej. Opracowane wyniki świadczą o zrozumieniu badanego zagadnienia, a przedstawiony w nim opis świadczy o staranności w planowaniu badań. Dzięki stworzonemu przez doktoranta programowi WKP_GAZ, mając charakterystykę węgla oraz bazowe parametry systemu paliwo kawałkowe – faza gazowa, możliwy jest, w warunkach stalowni konwertorowej, dobór przez operatora konwertora, najkorzystniejszej grupy paliwa o odpowiedniej zawartości części lotnych, optymalnej kawałkowości i koncentracji tlenu w fazie gazowej. Zakres i metodyka badawcza potwierdzają, że Autor przemyślał temat pracy oraz sposób jej realizacji.

Dysertacja zakończona jest podsumowaniem i wnioskami. W wnioskach odniesiono się do celu rozprawy, potwierdzając osiągnięcie postawionego celu pracy. Wszystkie wnioski wyciągnięte są logicznie i mają potwierdzenie w prezentowanych wynikach. Pewnym mankamentem przy czytaniu wniosków była, podobnie jak zwróciłem uwagę przy celu i zakresie pracy, niestaranność w kolejności ich zapisu. Najpierw były wnioski z analizy badań z rozdziałów 6 – 7 a dopiero potem z rozdziałów 3 – 5.

Z obowiązku recenzenta muszę zwrócić uwagę na liczne błędy edytorskie, które jednak nie umniejszają wartości rozprawy, a jedynie przeszkadzają w swobodnym jej czytaniu, a czasem nawet zrozumieniu:

- tytuł pracy doktorskiej” Poprawa efektywności energetycznej, procesu wytapiania stali w konwertorach tlenowych. Po co został postawiony przecinek pomiędzy ...energetycznej, procesu...?
- liczne błędy:
 - składniowe: str.14, czternaste zdanie od góry....(kosztem wzrostu ilości porów).. – powinno być: (kosztem wzrostu ilości porów, str.14, ósme i szesnaste zdanie od dołu....gaz pirolizy...– powinno być:...gaz z pirolizy, to samo str.15 w nagłówku tablicy 1.3, to samo str.50, 51, 89, str.43, tablica 4.2....Udzielny wydatek, kg/Mg stali....– powinno być:...Udział, kg/Mg stali...str. 117, ósme zdanie od góry...Przeprowadzona krytyczna analiza porównawcza....– powinno być: Przeprowadzono krytyczną analizę porównawczą.....
 - literówki: str.2 podrozdział 1.1.1...podgrzewania – powinno być: ...podgrzewanie...”, str.2 podrozdział 6...przestrzenie – powinno być: ...przestrzeni...”. To samo strona 8 i 49, str.3...środek strony...ciepła...– powinno być...ciepła, str.4 rys. 1.1 ...kawakowego...– powinno być:...kawalkowego..., str.6...dół strony....złoże, złoza...– powinno być:...złożu, złoza...str.34...kawała...– powinno być:...kawałka...str.45, siódmy wiersz od dołu...głównie...– powinno być:...głównie
 - inne: str. 32, Rys. 3.1 pomyłona kolejność podpunktów pod rysunkiem. Rys 3.1a) to faktycznie jest b), Rys.3.1.b) to c), a Rys.3.1c) to a). Podobna sytuacja jest na str.34, Rys.3.3. Rys.3.3a) to faktycznie Rys.3.3b). Str.37 opis wzoru na współczynnik ciepła przyswojenia (W_p) paliwa. Wpisano dwukrotnie Q_K . Powinno być: Q_P – ilość ciepła uzyskanego w trakcie wstępnego podgrzewania złomu stalowego. W drugim przypadku winno być Q_K – ilość ciepła uzyskanego w trakcie utleniania i rozpuszczania KPZW w kąpieli. Str. 86, Rys.6,6 – 6,7 przedstawiające interfejs programu i wyniki obliczeń są tak małe, że trudno je było analizować bez korzystania z lupy.

Zawarte w recenzji uwagi krytyczne mają charakter dyskusyjny i oczekuję, że Doktorant odniesie się do nich w trakcie obrony. Nie umniejszają one mojej pozytywnej oceny rozprawy doktorskiej.

Podsumowanie

Wyniki przeprowadzonych analiz porównawczych dotyczących przemysłowego stosowania kawałkowego paliwa zawierającego węgiel (KPZW) w procesie konwertorowym oraz opracowany model mechanizmu zjawisk zachodzących pomiędzy KPZW a fazą gazową, w trakcie wstępnego podgrzewania złomu stalowego w przestrzeni roboczej konwertora, pozwoliły na opracowanie autorskiego, użytecznego programu komputerowego WKP_GAZ, stanowiącego oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Znajomość tych mechanizmów umożliwia dobór parametrów KPZW przez operatora konwertora oraz prognozowanie efektów stosowania tego paliwa w przemysłowych warunkach procesu konwertorowego.

Zakres pracy jaki został włożony przez Pana mgr inż. Ihora Fieiereizena w przeprowadzenie analiz, opracowanie programu komputerowego, jak też opracowanie otrzymanych wyników oraz ich interpretację, wymagał od doktoranta umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, szerokiej wiedzy interdyscyplinarnej, nie tylko z zakresu metalurgii ale również matematyki, fizyki, chemii i informatyki.

Stwierdzam, że przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim określone w Ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2003 r. Nr 65, poz. 595) oraz w Rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 26 września 2016 r. w sprawie szczegółowego trybu przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. z 30.09.2016 poz. 1586) i **wniosuję o dopuszczenie Pana mgr inż. Ihora Fieiereizena do publicznej obrony rozprawy.**

