

Dr hab. inż. Jacek Pieprzyca, prof. nzw. w Pol.Śl.
Katedra Metalurgii Ekstrakcyjnej
i Ochrony Środowiska
Politechnika Śląska w Katowicach

Katowice, 10.06.2019 r.

R E C E N Z J A

pracy doktorskiej

Pana mgr inż. Viktora Sinelnikova

pod tytułem:

***"Symulacja komputerowa procesu konserwacji wyłożenia ogniotrwałego
konwertora tlenowego metodą slag splashing"***

napisanej pod kierunkiem naukowym

Pani dr hab. inż. Doroty Kalisz prof. AGH

oraz

Pana dr inż. Michała Szuckiego

opracowana na zlecenie Rady Wydziału Odlewnictwa

Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie z dnia 29.04.2019 r.

1. Ocena doboru tematu dysertacji

Przedstawiona do recenzji dysertacja dotyczy ważnego problemu konserwacji wyłożenia ogniotrwałego konwertorów tlenowych. Proces konwertorowy jest w dalszym ciągu dominującą technologią produkcji stali i jego udział w rynku stalowym na świecie w roku 2017, jak podaje Worldsteel Association w Steel Statistical Yearbook 2018, wynosił ponad 71%. Również w Polsce, korzystając z tej technologii produkuje się obecnie ponad 55% stali surowej.

Biorąc pod uwagę powszechne dążenie przedsiębiorstw hutniczych do ograniczania kosztów przy jednoczesnym zwiększaniu wydajności i jakości produkowanej stali, dbałość o wyłożenie ogniotrwałe reaktorów metalurgicznych nabiera szczególnego znaczenia. Dotyczy to zwłaszcza konwertorów tlenowych ze względu na to, że udział materiałów ogniotrwałych w ich kosztach eksploatacyjnych jest pozycją dominującą. Możliwość wydłużenia kampanii konwertora, rozumianej jako ilość wytopów od remontu do remontu, może być istotnym czynnikiem wpływającym na obniżenie kosztów jednostkowych produkcji stali. Podejmowane są w związku z tym różne działania mające na celu utrzymanie wyłożenia ogniotrwałego w dobrej kondycji przez możliwie długi okres czasu. Jedną z metod konserwacji wyłożenia

ogniotrwałego konwertorów tlenowych jest metoda slag splashing polegająca na rozprysku pozostałego po wytopie i specjalnie zmodyfikowanego żużla na powierzchnię ścian konwertora za pomocą wdmuchiwanego przez specjalną lancę azotu pod dużym ciśnieniem i naddźwiękową prędkością. Utworzona w ten sposób warstwa stanowi rodzaj garnisażu ochronnego. Wieloletnia praktyka stosowania tego zabiegu w różnych hutach oraz liczne publikacje na ten temat, wskazują na możliwość znaczącego wydłużenia trwałości wyłożenia ogniotrwałego oraz istotne oszczędności. Stosowanie slag splashingu niesie za sobą również pewne problemy. Dotyczą one głównie dostosowania jego parametrów technologicznych do specyfiki konkretnych stalowni. I tak, głównym problemem jest sposób modyfikacji żużla, który wymaga uwzględnienia specyficznych jego właściwości fizyko-chemicznych, a w konsekwencji dobór składu chemicznego mieszanki modyfikującej. Następnie, konstrukcja głowicy lancy azotowej oraz parametry wdmuchiwania gazu do konwertora zależne od jego konstrukcji. Lokalizacja lancy w konwertorze. Nie bez znaczenia jest również wpływ stosowania slag splashingu na dodatkowe wyposażenie konwertora, szczególnie w przypadku stosowania dmuchu kombinowanego.

W związku z tym uważam, że podjęta w pracy tematyka, chociaż nie nowa, ciągle jest aktualna. Próba większej unifikacji wyznaczania parametrów stosowania slag splashinku dla różnych stalowni może wpłynąć na jeszcze szersze rozpowszechnienie stosowania tej metody konserwacji wyłożenia ogniotrwałego konwertorów tlenowych.

2. Ocena formalnej strony pracy

Dysertacja obejmuje łącznie 133 strony maszynopisu w tym strona tytułowa i streszczenie w języku polskim i angielskim (3 str.), spis treści (3 str.), wykaz ważniejszych oznaczeń (2 str.), treść właściwa (124 str.) oraz suplement (łącznie 2 str.).

Część właściwa składa się z sześciu rozdziałów podzielonych na podrozdziały. Każdy rozdział stanowi oddzielną całość zakończoną spisem literatury. Dodatkowo w rozdziałach 3, 4 i 5 umieszczono podrozdziały zawierające wnioski wynikające z ich treści. Ostatni szósty rozdział zawiera wnioski z całości pracy. Taki układ odbiega od klasycznego, w którym wyraźnie oddzielona jest część literaturowa od części badawczej, a rodzajem łącznika tych dwóch części jest teza pracy. Moim zdaniem przyjęta przez Autora forma dysertacji nie wpływa korzystnie na przejrzystość prezentowanych w niej treści. Nie wprowadzony w zagadnienie czytelnik może mieć trudności z wyodrębnieniem istotnych dla wartości pracy niuansów. Nie sprzyja temu również podzielenie rozdziałów na zbyt wiele podrozdziałów, nie powiązanych z sobą żadnym komentarzem, chociaż kwestie w nich zawarte często są od siebie zależne

i powinny tworzyć pewien ciąg narracyjny ilustrujący powiązania między nimi. Pewne wątpliwości budzi również sposób nadawania tytułów poszczególnym podrozdziałom. Niektóre z nich nie odpowiadają zawartości ich treści a, niektóre znaczą to samo co inne. Na przykład podrozdział 2.1. zatytułowany „*Mechanizm rozpryskiwania żużla w metodzie slag splashing*” mówi właściwie o podstawowych zasadach modelowania fizycznego procesów metalurgicznych. Tytuły podrozdziałów 2.2. „*Proces rozpryskiwania żużla*” i 2.5. „*Wpływ parametrów przepływu gazu nośnego na rozpryskiwanie żużla*” właściwie znaczą to samo co tytuł wspomnianego już rozdziału 2.1. i mogłyby stanowić jedną spójną całość. Autor nie ustrzegł się też drobnych błędów edytorskich.

Złożona problematyka podjęta w pracy, jej wielowątkowość, obejmująca zagadnienia wielu dziedzin wymaga niezwyklej sprawności edytorskiej umożliwiającej przedstawienie wymaganych treści w sposób nie budzący zarzutów. Przedstawiona do recenzji dysertacja pozwala jednak stwierdzić, że jej Autor z biegiem czasu taką sprawność osiągnie.

3. Merytoryczna ocena pracy

W otwierającym rozprawę doktorską rozdziale zatytułowanym "*Wprowadzenie*" Autor w zwięzły sposób przedstawił podstawowe zagadnienia dotyczące wyłożenia ogniotrwałego konwertora tlenowego, materiały używane do jego tworzenia oraz podstawowe metody jego konserwacji. Założył przy tym prawdopodobnie, że sam proces konwertorowy jest powszechnie znany. Mimo to uważam, że krótki opis samego procesu wytapiania stali w procesie konwertorowym ułatwiłby czytelnikowi zrozumienie treści zawartych w dalszej części pracy. Również opis samej metody slag splashing potraktowany jest tutaj dość pobieżnie. Biorąc pod uwagę fakt, że zabieg ten stanowi główny temat pracy poświęcenie mu 2 stron w porównaniu z 3 stronami opisu procesu torkretowania to zbyt mało. Przedstawione w podrozdziale 3.1. na rys. 2 – 10 interesujące ilustracje przedstawiające zużycie wyłożenia ogniotrwałego konwertora w różnych jego strefach oraz różnych etapach kampanii, również wymagają dokładniejszego opisy lub chociażby odnośnika literaturowego do publikacji z której zostały zaczerpnięte. Dość interesującym natomiast aspektem poruszonym w omawianym rozdziale, chociaż nie związanym bezpośrednio z tematem pracy, jest zagadnienie utylizacji żużlowych odpadów hutniczych. Słusznie Autor zauważa, że aspekt ten stanowi istotne uzasadnienie podjętego tematu pracy doktorskiej.

Rozdział drugi zatytułowany „*Obiekt badań, cel i zakres pracy*” zawiera w zasadzie kompilację dotychczasowych dokonań różnych badaczy, dotyczących metody slag splashing. Opracowano go na podstawie danych literaturowych. Celem Autora, moim zdaniem było,

przedstawienie w nim podstawowych technik badawczych wyznaczania istotnych parametrów metody slag splashing oraz dotychczasowych dokonań w tym zakresie. Jak słusznie zauważył jedną z powszechniej stosowanych metod jest metoda modelowania fizycznego. W podrozdziale 2.1. przedstawiono podstawowe liczby kryterialne wykorzystywane do wyznaczania podobieństwa dynamicznego budowanych modeli fizycznych do przemysłowych reaktorów metalurgicznych. Przy czym posłużono się wiedzą zawartą w licznych artykułach. Przedstawione tam kryteria podobieństwa zostały zmodyfikowane do warunków przepływów dwufazowych ciec-gaz, poprzez uwzględnienie gęstości zarówno gazu jak i cieczy. Opisane więc w pracy kryteria podobieństwa Fr , Re i We są kryteriami zmodyfikowanymi co nie wynika z treści ich opisu. Podobne uchybienia występują również w innych podrozdziałach. Pomimo często popełnianego, szczególnie przez młodych adeptów nauki błędu, polegającego na niedostatecznie krytycznym doborze informacji źródłowych, zawarte w omawianym rozdziale treści uważam za ważne z punktu widzenia tematyki pracy doktorskiej. Wyczerpująca i precyzyjna selekcja istotnych parametrów procesu slag splashing świadczy o dobrej orientacji Autora w podjętym temacie. Rozdział zakończono wyznaczeniem celu pracy oraz zakresu działań umożliwiających jego osiągnięcie. Oceniam, że cel sformułowano bardzo ambitnie i brzmi on następująco: „... *opracowanie energooszczędnej technologii konserwacji wyłożenia ogniotrwałego poprzez wykorzystanie podstawowych praw fizycznych przepływu mieszanin wielofazowych oraz wymiany ciepła z zastosowaniem metod radykalnego zwiększenia mocy przepływu gazo – proszkowego strumienia, który jest wprowadzany w żużel*”.

W rozdziale trzecim, zatytułowanym „*Dobór parametrów fizykochemicznych ciekłego żużla w metodzie slag splashing*”, poruszono kluczowe dla omawianej kwestii zagadnienie modyfikacji żużla konwertorowego w celu nadania mu pożądanych właściwości z punktu widzenia skuteczności zabiegu rozprysku. O ważności tego zagadnienia świadczyć może fakt, że sposób modyfikacji żużla w koncernach branży stalowej, stosujących metodę slag splashing, objęty jest tajemnicą. Opracowanie zadawalających technik modyfikacji wymaga bowiem rozwiązania szeregu trudnych problemów wymagających bardzo szerokiej wiedzy obejmującej wiele dziedzin. Na podstawie lektury omawianego rozdziału można stwierdzić, że Doktorant sprostał tym wymaganiom. Opierając się na znanych teoriach budowy żużli w sposób kompetentny wyznaczył wpływ ich składu chemicznego i mineralogicznego na właściwości istotne z punktu widzenia wykorzystania w metodzie slag splashing. Wykazał się przy tym wymaganą wiedzą z zakresu matematyki, chemii, fizyki, termodynamiki i metalurgii.

Przeprowadzoną i przedstawioną w rozdziale 3 pracy analizę zagadnienia, dokonane w jej ramach obliczenia i badania z wykorzystaniem skaningowej mikroskopii elektronowej oceniam jako kompetentną i kompletną.

Najważniejszym dla wartości całej recenzowanej rozprawy doktorskiej jest rozdział 4 pod tytułem „*Modelowanie procesu SLAG SPLASHING*”. Zawiera on lakoniczny opis autorskiego programu komputerowego służącego do wyznaczania wpływu poszczególnych parametrów metody slag splashing na jej skuteczność oraz rezultaty symulacji przeprowadzonych z jego wykorzystaniem. Program powstał na Uniwersytecie Pryazovskim, a Doktorant, jak wynika z suplementu zamieszczonego w dysertacji jest jego współautorem. Prezentowane w pracy wyniki w postaci wykresów, uzyskane z wykorzystaniem wspomnianego programu komputerowego, pozwalają na stwierdzenie jego niezwykle bogatych możliwości. Uwzględnia on praktycznie wszystkie parametry mające wpływ na przebieg badanego procesu, umożliwia określenie zależności między nimi oraz określenie znaczenia tych zależności dla skutecznego prowadzenia rozprysku żużla w konwertorze tlenowym. Program ten stanowi cenne narzędzie zarówno do optymalizacji prowadzonych już procesów jak i przy projektowaniu zastosowania metody slag splashing w nowych konstrukcjach konwertorów. Pewien niedosyt budzi, jak wspomniano wyżej lakoniczny jego opis. Autor zamieścił w pracy jedynie skany trzech okien dialogowych nie informując o szczegółach jego budowy. Zamieszczone w podrozdziale 4.2. zatytułowanym „*Model matematyczny*” wzory obliczeniowe poszczególnych wielkości liczonych przez program nie opatrzone żadnym komentarzem, co znacznie ogranicza sens ich prezentowania. Mimo to omawiany rozdział stanowi najważniejszą część pracy i decyduje o jej wartości.

Rodzajem uzupełnienia oraz weryfikacji obliczeń dokonanych w rozdziale czwartym jest rozdział piąty pt.: „*Symulacja procesu slag splashing przy pomocy programu Flow3D*”. Program Flow3D jest programem komercyjnym wykorzystywanym do symulacji przepływów dwufazowych metodą TrueVOF. W związku z tym z powodzeniem nadaje się do symulacji zjawisk zachodzących w trakcie rozprysku ciekłego żużla w konwertorze tlenowym pod wpływem strumienia gazu. Doktorant przeprowadził 5 symulacji dla różnych parametrów procesu rozprysku. Wyniki symulacji przedstawił w postaci wizualizacji na płaszczyźnie przekroju przebiegającego przez oś lancy azotowej. Na tej podstawie wyznaczył optymalny wariant eksperymentu, który znajduje zastosowanie w warunkach przemysłowych jednej z hut w Rosji.

Całość pracy zamyka rozdział szósty zawierający wnioski ogólne z całości pracy. Należy stwierdzić, że zostały one sformułowane poprawnie i odpowiadają wynikom uzyskanym w trakcie realizacji pracy doktorskiej.

W podsumowaniu tej części recenzji mam jeszcze uwagę. Sformułowany przez Doktoranta w treści pracy ambitny cel: opracowania energooszczędnej technologii konserwacji wyłożenia ogniotrwałego konwertora tlenowego moim zdaniem nie został osiągnięty. W wnioskach nieco złagodzone to stwierdzenie pisząc, że celem pracy było *doskonalenie technologii otrzymywania stali w konwertorze tlenowym, pod kątem wydłużenia czasu pracy pieca*. Traktując to ostatnie zdanie jako wiążące sytuacja się zmienia. Przedstawiona do recenzji dysertacja zawiera pewien potencjał i może mieć istotne znaczenia w podejmowanych w tym kierunku działaniach.

4. Uwagi do dyskusji w trakcie obrony pracy

1. Proszę skonkretyzować zdanie zamieszczone na str. 29 „*Modele te (fizyczne) wykorzystują parametry nieliniowe do uzyskania zależności ilościowych i mają tę zaletę, że minimalizują liczbę przeprowadzanych eksperymentów oraz eliminują konieczność stosowania współczynników skalowania.*”
2. W podrozdziale 2.5 zamieszczono rys. 6. Nie wyjaśniono sensu stosunku C/S.
3. Co Doktorant rozumie pod pojęciem dysz wtórnych – str. 40, 5g.
4. Co oznacza współczynnik $n = 0,583$ oraz $0,650$ – str. 41, 9g,
5. Dlaczego krzywych przedstawionych na rys. 20 i 21 oraz 22 i 23 nie przedstawiono łącznie i co z tych wykresów wynika?
6. Proszę wyjaśnić różnicę pomiędzy parametrami 1 i 19 w podrozdziale 4.2, str. 89.
7. Proszę wyjaśnić znaczenie parametru 8 w tym samym spisie.
8. Co oznacza termin kalibry – str. 94, 4 d.
9. Proszę wyjaśnić różnicę pomiędzy pierwszym i drugim zdaniem w podrozdziale 5.3. na str. 118.
10. Co Doktorant sądzi o wpływie stosowania rozprysku żużla na wydajność produkcji stali w konwertorze tlenowym?

5. Wniosek końcowy

Stwierdzam, że recenzowana praca doktorska Pana mgr. inż. Viktora Sinelnikova pod tytułem „*Symulacja komputerowa procesu konserwacji wyłożenia ogniotrwałego konwertora tlenowego metodą slag splashing*” spełnia wymagania określone w Ustawie o Stopniach

Naukowych i Tytule Naukowym oraz o Stopniach i Tytule w Zakresie Sztuki (Dz. U. nr 65 z dnia 16 kwietnia 2003 roku poz. 595 z późniejszymi zmianami) i wnioskuję do Rady Wydziału Odlewnictwa Akademii Górniczo-Hutniczej o dopuszczenie Pana mgr. inż. Viktora Sinelnikova do publicznej obrony.

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, sweeping oval shape above several vertical and diagonal strokes.