

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

Gliwice, 15.07.2019 r.

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Viktora Sinelnikova

pt.:

„SYMULACJA KOMPUTEROWA PROCESU KONSERWACJI WYŁOŻENIA OGNIOTRWAŁEGO KONWERTORA TLENOWEGO METODĄ SLAG SPLASHING”

Wykonana na zlecenie Dziekana Wydziału Odlewnictwa Akademii Górniczo –
Hutniczej w Krakowie

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska pt. *„Symulacja komputerowa procesu konserwacji wyłożenia ogniotrwałego konwertora tlenowego metodą slag splashing”*, wykonana została przez Pana mgr inż. Viktora Sinelnikova na Wydziale Odlewnictwa, w Katedrze Tworzyw Formierskich, Technologii Formy i Odlewnictwa Metali Nieżelaznych, pod kierunkiem Pani dr hab. inż. Doroty Kalisz, prof. AGH. Promotorem pomocniczym był Pan dr inż. Michał Szucki.

Jednym z głównych problemów eksploatacji konwertorów tlenowych jest zużywanie się wyłożenia ogniotrwałego. Wymurówka konwertora jest głównym elementem konstrukcyjnym, który generuje najwyższe wydatki inwestycyjne, co w istotny sposób wpływa na koszty wytwarzania stali. Względy ekonomiczne ale także względy środowiskowe sprawiają, że producenci stali podejmują działania usprawniające proces technologiczny, z jednoczesnym wykorzystaniem materiałów odpadowych, do konserwacji wymurówki konwertora. Pozwala to obniżyć koszty generowane przez stalownię i wydłużyć kampanię pracy konwertora tlenowego. Jednym z takich działań jest ochrona wyłożenia ogniotrwałego metodą „slag splashing”.

Dlatego też w prezentowanej rozprawie Autor podjął próbę oceny czynników wpływających na proces rozpryskiwania żużla w metodzie „slag splashing”, z punktu widzenia zachodzących procesów fizykochemicznych oraz efektywności energetycznej i ekologicznej jego stosowania.

Układ pracy jest typowy dla tego rodzaju rozpraw i logicznie prowadzi przez rozumowanie Autora. Recenzowana rozprawa zawiera się na 133 stronach, w 5 rozdziałach. Każdy rozdział zakończony jest wnioskami i literaturą. Rozdział 6 - Wnioski, podsumowuje całość wykonanych badań.

Bibliografia zawiera w rozdziale 1; 21 pozycji, rozdziale 2; 30 pozycji, rozdziale 3; 28 pozycji, rozdziale 4; 21 i rozdziale 5; 8 pozycji. W sumie 108 pozycji. Niektóre pozycje literaturowe powtarzają się w poszczególnych rozdziałach. Doktorant jest autorem lub współautorem 6 pozycji literaturowych, na których bazuje recenzowana rozprawa doktorska. Publikacje te zostały wydane w języku angielskim. Po dwie publikacje ukazały się w czasopiśmie *Journal of Machine Construction and Maintenance* i *Refractories and Industrial Ceramics*. Po jednej publikacji ukazało się w czasopiśmie *Glass and Ceramics* i *New development in mining engineering*. Pan mgr inż. Victor Sinelnikov może pochwalić się h -index = 3, według bazy Scopus.

We wprowadzeniu doktorant przedstawia podstawowe problemy związane z eksploatacją konwertorów tlenowych. Omawia rodzaje materiałów ogniotrwałych stosowanych w tych urządzeniach i jedną z technik monitorowania ich zużywania się. Opisuje najbardziej znaną metodę konserwacji wyłożenia ogniotrwałego konwertorów jaką jest torkretowanie. Wskazuje wady i zalety tej metody. Stwierdza, że pomimo wielu zalet tej technologii nie osiągnięto wysokich wskaźników pracy wyłożenia ogniotrwałego. Na tym tle doktorant wyraża pogląd, że bardziej skutecznym sposobem konserwacji jest technologia „slag splashing”.

Autor przedstawia następnie metodę „slag splashing” wraz z obszernym omówieniem konstrukcji różnych typów lanc, która pozwalają na optymalne natryskiwanie ścian konwertora żużlem. Podsumowując ten rozdział, doktorant wskazuje na aspekt ekonomiczny stosowania tej metody, a co jest nie mniej istotne na aspekt ekologiczny. Dzięki tej metodzie możliwe jest bowiem częściowe wykorzystanie żużła konwertorowego, który obecnie deponowany jest na składowiskach, i w ograniczonej ilości wykorzystany gospodarczo. Doktorant wskazuje tutaj na problemy środowiskowe związane ze składowaniem żużła, które ma między innymi huta Azovstal Iron and Steel Works w Mariupolu (Ukraina). Niestety tego samego rodzaju problemy mają i polskie huty zintegrowane koncernu ArcelorMittal Poland S.A Oddział w Dąbrowie Górniczej i Krakowie.

Zakres tematyczny literatury jest właściwy dla realizacji pracy, a przeprowadzona analiza źródeł jest zadowalająca. W tej części pracy Autor przeanalizował 21 pozycji literaturowych, obejmujących wszystkie istotne aspekty stosowania metody „slag splashing” w procesie konwertorowym. Pozostaje jednak niedosyt związany z doбором literatury. Zastanawiające jest to, że przytoczony stan zagadnienia opisuje doświadczenia w stosowaniu metody „slag splashing” głównie w stalowniach Ukrainy i Rosji. Zaledwie w kilku zdaniach opisane jest stosowanie tej metody w Indiach, Chinach czy USA.

Czy w tej dziedzinie nic się nie dzieje w stalowniach konwertorowych w Europie? Czy Doktorant orientuje się jak to w wygląda w stalowniach konwertorowych ArcelorMittal Poland S.A Oddział w Dąbrowie Górniczej i Krakowie ?

W rozdziale drugim Pan mgr inż. Viktor Sinelnikov, kontynuując przegląd stanu zagadnienia w literaturze, definiuje obiekt badań, opisując mechanizm rozpryskiwania żużla w metodzie „slag splashing”, czynniki wpływające na zużycie wyłożenia ogniotrwałego konwertora tlenowego, wpływ parametrów przepływu gazu nośnego na rozpryskiwanie żużla, parametry lancy do rozprysku żużla, kończąc na problemach technicznych związanych ze stosowaniem tej metody w praktyce. W tej części pracy Autor przeanalizował 30 pozycji literaturowych, które objęły opis parametrów technologicznych niezbędnych w stosowaniu metody „slag splashing” w procesie konwertorowym.

Autor wykazał się dobrą znajomością stanu wiedzy w w/w zakresie, co pozwoliło mu na właściwe postawienie celu pracy i zakresu pracy. Cel pracy (rozdział 2.13) jest jasno sformułowany, a zaproponowany zakres badań przejrzyste prezentuje drogę, jaką Autor zamierza zrealizować cel pracy. Brakuje mi jednak tutaj wyraźnie zaznaczonej tezy, którą zamierzał udowodnić Doktorant.

Badania własne (Rozdziały 3-5) obejmowały trzy zagadnienia. W rozdziale 3 Autor dokonuje doboru parametrów fizykochemicznych ciekłego żużla w metodzie „slag splashing”. Analizuje wpływ składników żużla konwertorowego na właściwości reologiczne w temperaturach procesu technologicznego. Autor wskazuje na wpływ obecności tlenków żelaza, wapnia i magnezu na obniżenie lepkości żużla,

co w konsekwencji ma znaczenie dla łatwego rozprawiania i wnikania żużła w porowate ubytki w materiale ogniotrwałym. Stwierdza, że należy wzbogacić żużel komponentami zawierającymi MgO do wartości 8 – 13%, co przyczynia się do znacznego wydłużenia czasu pracy wymurówki konwertora. Nośnikami MgO są materiały wstępnie spieczone lub przetopione, oraz materiały proszkowe uzyskiwane z zużytych materiałów ogniotrwałych lub odpadów i wdmuchiwane do żużła przy pomocy lancy.

Autor stwierdza, że w praktyce przemysłowej jako materiały MgO-nośne stosuje się także dolomit. Co jest więc podstawowym materiałem MgO-nośnym stosowanym w praktyce do wdmuchiwania przez lance?

Z jakiego rodzaju zużytych materiałów ogniotrwałych lub odpadów poprodukcyjnych wytwarza się proszki do wdmuchiwania przez lance ?

Jaki jest podstawowy parametr umożliwiający zastąpienie stosowanych materiałów np. dolomitu, odpadami ?

W rozdziale 4 Autor przedstawił wyniki modelowania procesu „slag splashing”. Autor wykonał symulację procesu wdmuchiwania mieszanki N₂ i MgO za pomocą lancy z chłodzeniem gazowym. Jest to **nowatorskie** rozwiązanie, ponieważ dotychczas proces „slag splashing” był modelowany dla lancy wyposażonej wyłącznie w chłodzenie wodne. Doktorant stwierdza, że zastosowanie lancy z chłodzeniem gazowym umożliwia odzysk ciepła, co zwiększa temperaturę wdmuchiwanej mieszanki. Energia kinetyczna strumienia mieszanki rośnie ok. 3,5 raza, co powoduje rozpryskiwanie żużła na większą wysokość. Ponadto podgrzewanie wdmuchiwanego azotu np. do 600°C, bez zmniejszania mocy wpływającego w ciekły żużel strumienia, umożliwia zmniejszenie zużycia azotu z 210 m³ do 125 m³, co wpływa na obniżenie kosztu procesu. Dzięki stworzeniu przez Autora własnego programu komputerowego do symulacji doboru parametrów technologicznych i fizycznych, operator konwertora tlenowego może pływać na efektywność procesu „slag splashing”. Symulacje zostały wykonane dla warunków technologicznych huty ArcelorMittal Poland S.A. Oddział w Dąbrowie Górniczej oraz huta Azovstal Iron and Steel Works w Mariupolu (Ukraina).

Jak stwierdza Autor na str.44, narzędziem obliczeniowym był własny program komputerowy do symulacji doboru parametrów technologicznych i fizycznych procesu „slag splashing”. Na str. 92 Doktorant wyjaśnia, że obliczenia

wykonano przy pomocy programu komputerowego do symulacji procesu „slag splashing” opracowanego na Uniwersytecie Pryazovskyi State Technical University w Mariupolu (Ukraina). Czy to jest ten sam program ?

W rozdziale 5 Autor przeprowadził symulację procesu „slag splashing” przy pomocy komercyjnego programu Flow3D. Celem badań było określenie zachowania się żużła podczas rozprysku oraz wzajemnych interakcji pomiędzy cieciami w konwertorze. Symulację Doktorant wykonał dla pięciu wariantów układów i ilości dysz w lancy do wdmuchiwania azotu. Doktorant stwierdził, że najbardziej skuteczne rozprowadzanie żużła na ścianach konwertora można uzyskać dla rozwiązania konstrukcyjnego lancy o średnicy 0,2 m, wyposażonej w 4 dysze umieszczone pod kątem 14° z dodatkową dyszą skierowaną prostopadle do powierzchni ciekłego żużła.

Czy takie rozwiązanie pracuje jedynie w stalowni konwertorowej ArcelorMittal Krzywy Róg na Ukrainie i NLMK w Rosji. Czy można to rozwiązanie przenieść stalowni ArcelorMittal Poland S.A.?

Zakres i metodyka badawcza potwierdzają, że Autor przemyślał temat pracy oraz sposób jej realizacji. Dysertacja zakończona jest podsumowaniem i wnioskami. We wnioskach odniesiono się do celu rozprawy, potwierdzając osiągnięcie postawionego celu pracy. Wszystkie wnioski wyciągnięte są logicznie i mają potwierdzenie w prezentowanych wynikach.

Z obowiązku recenzenta muszę zwrócić uwagę na nieliczne niestaranności, błędy edytorskie itd., które jednak nie umniejszają wartości rozprawy, a jedynie przeszkadzają w swobodnym jej czytaniu:

- str. 11-15, rys. 2-10. Nad rysunkami Autor pisze, cyt. „Pomiary wykonano w jednej z europejskich hut”. Czy te pomiary wykonał Autor, czy brakuje tylko odnośnika literaturowego przy rysunkach? Skala obok rysunków nieczytelna,
- str. 17, rys. 11. Na rysunku brakuje pozycji 7 – lanca do podawania tlenu,
- str. 37, rys.8. Co oznaczają wartości w legendzie ?

- str.44, trzeci akapit od dołu. Jest: ArcelorMittal w Dąbrowie Górniczej. Prawidłowa nazwa huty: ArcelorMittal Poland S.A. Oddział w Dąbrowie Górniczej,
- str.59, Tabela 2 „przyklejona” do tekstu pod tabelą,
- Str.78, trzeci akapit od dołu. Jest Rysunek 24 a-c. Powinno być Rysunek 24 a-b,
- str.80-81, brak odniesienia w tekście do rysunku 28-29 i tabeli 12-13,
- str.89, rozdział 4.2, brak spisu symboli użytych w tym rozdziale w wykazie wybranych symboli i oznaczeń na stronie 6.

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

Stwierdzam, że przeprowadzona przez Autora symulacja procesu wdmuchiwania mieszanki N_2 i MgO za pomocą lancy z chłodzeniem gazowym, stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Jest to nowatorskie rozwiązanie, ponieważ dotychczas proces „slag splashing” był modelowany dla lancy wyposażonej w chłodzenie wodne. Stworzony przez Pana mgr inż. Viktora Sinelnikova własny, użyteczny program komputerowy do symulacji procesu „slag splashing”, może być w przyszłości komercyjnym programem umożliwiającym operatorowi przemysłowego konwertora tlenowego wpływanie na efektywność procesu „slag splashing”.

Cel rozprawy doktorskiej został w pełni osiągnięty, a wyniki badań zostały rozpowszechnione w czasopiśmie naukowych.

Zakres pracy jaki został włożony przez Pana mgr inż. Viktora Sinelnikova w przeprowadzenie badań, 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 stali 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 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. z 30.01.2018 poz.261) i **wniosuję o dopuszczenie Pana mgr inż. Viktora Sinelnikova do publicznej obrony rozprawy.**

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Chienker', is located in the lower right quadrant of the page.

