

***Dr hab. inż. Marek Warzecha, prof. PCz
Katedra Ekstrakcji i Recykulacji Metali
Politechnika Częstochowska***

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

Częstochowa, 10.09.2017

R e c e n z j a

rozprawy doktorskiej mgr inż. Sergiia Gerasina pt.:

„Ewolucja składu chemicznego i model wzrostu wtrąceń niemetalicznych w ciekłej stali z zawartością itru”.

Recenzja została opracowana na zlecenie Pana Dziekana Wydziału Odlewnictwa Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, dr hab. inż. Rafała Dańko, prof. AGH, zawarte w piśmie nr WO-sd.510-02-02/2017 z dn. 10.07.2017 r.

Tematyka rozprawy dotyczy zagadnień powstawania i wzrostu wtrąceń niemetalicznych (WN) w ciekłej stali w wyniku wprowadzania do niej itru (w postaci dodatku stopowego). Jest to zagadnienie bardzo istotne, ponieważ współcześnie o jakości stali – a w konsekwencji wyrobów stalowych, decydują w dużej mierze zawarte w niej wtrącenia niemetaliczne, w szczególności ich ilość, wielkość oraz skład chemiczny. Ponieważ całkowite usunięcie WN z ciekłej stali jest niemożliwe, badania prowadzi się w celu intensyfikacji (optymalizacji warunków) ich usuwania na różnych etapach produkcji stali oraz modyfikacji wtrąceń – za pomocą wprowadzanego powszechnie wapnia – jak również innych pierwiastków takich jak: tytan, bor, metale ziem rzadkich oraz pierwiastki do nich podobne, w tym itr. W taki nurt badań wpisuje się recenzowana dysertacja, której Autor prowadził badania dotyczące generowania i wzrostu wtrąceń w ciekłej stali stopowanej itrem. Pierwiastek ten może pełnić rolę odtleniacza i dodatku stopowego stali, a jednocześnie pełni też rolę modyfikatora wtrąceń.

Tematyka pracy związana jest bezpośrednio z określonym etapem procesu technologicznego wytapiania stali a zawarte w niej wyniki mają potencjalną wartość

użyteczną. Przełożenie wyników pracy do warunków przemysłowych może prowadzić do podwyższenia jakości produkowanej stali.

Temat rozprawy, jej zakres oraz użyte metody badawcze pozwalają zakwalifikować ją do dyscypliny metalurgia. Prezentowane w niej badania należy zakwalifikować do badań podstawowych, niemniej jednak mają one, jak już podkreślałem, pierwiastek użyteczny – uzyskane wyniki mogą być zastosowane bezpośrednio w procesie przemysłowym.

Całość pracy została przez Autora podzielona na siedem rozdziałów, w tym wprowadzenie i wnioski. Praca nie jest bynajmniej napisana w układzie klasycznym. Zaczyna ją bardzo długie wprowadzenie, w którym tekst momentami odbiega znacznie od zasadniczego tematu pracy powodując rozmycie problemu. Zawiera wiele zbędnych informacji, część z nich to przydługawe opisy publikacji obcych, które nie powinny być nadmiernie prezentowane we wstępie. Rolą wprowadzenia – jak sama nazwa wskazuje – jest krótkie wprowadzenie w zagadnienie i wskazanie znaczenia i umiejscowienia badań własnych w analizowanej tematyce. Po przeczytaniu wprowadzenia można odnieść wrażenie, że Autor nie potrafił dokonać syntezy informacji niezbędnej dla wprowadzenia czytelnika w tematykę rozważanego problemu.

W rozdziale drugim przedstawiono umiejscowienie badań podjętych w pracy w warunkach rzeczywistych, tezę i cel pracy oraz jej zakres. Choć Doktorant nadmiernie rozbudował część wprowadzającą, umieszczając w niej bardzo dużą ilość informacji, ostatecznie umiejętnie wykorzystał zawartą w niej wiedzę, umiejscowił swoje badania w warunkach przemysłowych i poprawnie sformułował tezę pracy, choć nazbyt ogólnie.

Natomiast moja wątpliwość dotyczy celu pracy, który w moim odczuciu nie został jasno wyartykułowany, bowiem punkt 2.5 pt.: „Cel i zakres pracy” zawiera tylko zakres pracy nie wskazując jasno jej celu. Można się tylko domyślać, iż jest to prawdopodobnie ostatni z wymienionych podpunktów.

Oceniając ogólnie rozdziały od 3 do 5, należy podkreślić iż zawierają one interesujące wyniki badań dotyczących kolejno: termodynamiki powstawania wtrąceń niemetalicznych w ciekłej stali, modelowania ich wzrostu a następnie mechanizmu ich aglomeracji, którego odpowiednia kontrola prowadzi do intensyfikacji usuwania WN z ciekłej stali. Wszystkie te zagadnienia zostały przez Doktoranta szeroko opisane i poddane stosownej analizie. Wyniki uzyskane podczas realizacji badań są, z punktu widzenia zarówno usuwania, jak i modyfikacji wtrąceń niemetalicznych, bardzo cenne, gdyż ich odpowiednie wykorzystanie może prowadzić do modyfikacji konkretnego procesu przemysłowego przyczyniając się znacznie do zmniejszenia ilości WN w stali, usunięcia z nich wtrąceń

najbardziej niepożądanych lub/i zmniejszenia ilości wtrąceń o znacznych rozmiarach (szczególnie w stali niepożądanych, zagrażających eksploatacji wyrobu gotowego).

I tak, rozdział trzeci zawiera obliczenia dotyczące powstawania fazy niemetalicznej, w warunkach równowagi termodynamicznej z ciekłą stalą, przeprowadzono za pomocą komercyjnego programu FactSage (z wykorzystaniem modułu equilib), dla zmiennych zawartości badanych składników. Dalsza część badań zawiera wyniki symulacji numerycznych procesu wprowadzania sekwencyjnego dodatków stopowych do ciekłej stali oraz rafinacji z niej wtrąceń, przeprowadzonych przy pomocy opracowanego na AGH programu komputerowego do wspomagania technologii w czasie rzeczywistym, o nazwie WYK_STAL. Program ten, jak podaje Doktorant, wykorzystuje moduł układu trójfazowego ciekły metal – ciekły żużel – gaz oraz wewnętrzne bazy danych fizykochemicznych, których Autor szerzej nie opisuje.

W rozdziale czwartym Doktorant przedstawia wyniki obliczeń modelowych wzrostu dwuskładnikowych zarodków wtrąceń niemetalicznych, dla poszczególnych, analizowanych wariantów. Wykorzystano program do obliczania wzrostu dwuskładnikowych WN podczas rafinacji stali w kadzi, natomiast Autor nie precyzuje, czy jest to program komercyjny, czy też własny. Z tekstu pracy można się tylko dowiedzieć, że wykorzystuje on model bilansu populacji. Taka informacja pojawia się dopiero we wnioskach końcowych (wniosek 9). Niemniej jednak fakt ten nie umniejsza jakości przedstawionych w tej części pracy wyników.

Rozdział piąty zawiera wyniki badań w zakresie mechanizmu aglomeracji wtrąceń. Przedstawiono w nim poszczególne mechanizmy i modele opisujące aglomerację WN, wieńcząc wszystko wynikami obliczeń własnych. Niestety Autor ponownie nie podaje przy użyciu jakiego programu przeprowadził własne symulacje procesu aglomeracji wtrąceń.

Rozdział szósty przedstawia badania mikrostruktury stali dla próbek bez dodatku itru oraz w przypadku jego zastosowania. Badania przeprowadzono z wykorzystaniem mikroskopii optycznej i skaningowej mikroskopii elektronowej oraz mikroanalizy rentgenowskiej. Próbki z zawartością itru pochodziły z wytopu laboratoryjnego w piecu próżniowym.

Niestety, brak układu klasycznego pracy powoduje, że nie ma wyraźnie wyodrębnionego przeglądu literatury i badań własnych. Jest to dokuczliwe, szczególnie w przypadku tej części pracy, gdzie opisano najważniejsze badania (rozdziały od 3 do 5). Czyta się ją przez to bardzo trudno, w rozdziałach tych wymieszany jest przegląd literatury i badania innych autorów z badaniami własnymi Doktoranta, co wymaga sporej koncentracji czytającego aby zorientować się, które z nich są właśnie opisywane. To ciągle przeplatanie

treści literaturowych z wynikami badań własnych znacznie utrudnia zarówno czytanie rozprawy jak i zamazuje wkład własny Autora w badane zagadnienie.

Zupełnie inaczej czytałoby się pracę w sytuacji, gdyby rozważyć ją jako zbiór publikacji czy opracowań na zawarty w danym rozdziale temat. Wtedy pojedynczo każdy z rozdziałów w sposób integralny opisuje dane zagadnienie, przedstawiając podstawy teoretyczne, przegląd literatury tematu, wplatając w to badania własne i kończąc na rzeczowym podsumowaniu oraz stwierdzeniach i adekwatnych do danego rozdziału wnioskach.

Wnioski końcowe z przeprowadzonych przez Doktoranta badań zawarto w rozdziale siódmym. Autor przedstawia szereg ciekawych wniosków, część z nich, to co prawda stwierdzenia, ale pomimo tego ich ilość jest w moim odczuciu zdecydowanie za duża. Wybranie najbardziej istotnych wniosków, wynikających z przedłożonej rozprawy, to umiejętność z którą Autor powinien się zmierzyć.

Poza moją uwagę generalną co do układu pracy, stwierdzam, że praca napisana jest przejrzysto, szata graficzna jest bardzo staranna. Przedstawione w pracy wyniki, w postaci rysunków, zdjęć i tabel, są czytelne, opatrzone odpowiednimi opisami i legendami. Dodatkowe uwagi szczegółowe, to brak podania pełnych nazw przy pierwszym występowaniu skrótu i podawanie nieaktualnych nazw np. ArcelorMittal Katowice. Spis rysunków i tabel byłby bardziej użyteczny, gdyby zawierał numery stron na których rysunki/tabele się znajdują. Niemniej jednak te dostrzeżone drobne błędy literowe, stylistyczne i językowe nie mają znaczenia ani dla czytelności ani dla ogólnie pozytywnej oceny wartości merytorycznej recenzowanej pracy.

W związku z niektórymi wątpliwościami, jakie recenzentowi nasuwają się podczas lektury rozprawy, przedstawiam zagadnienia, które powinny zostać wyjaśnione w dyskusji podczas publicznej obrony:

1. Absolutnie nie mogę się zgodzić z Doktorantem, który w rozdziale 2.1. pt.: „Wtrącenia niemetaliczne w ciekłej stali” stwierdza: „Ilość wydzielen w stali dobrej jakości dochodzi do poziomu 10^{10} w 1 cm^3 , a ich wielkość mieści się w zakresie od kilku do kilkudziesięciu mikrometrów”. Na jakiej podstawie Autor tak twierdzi? Ponieważ obecnie o jakości produkowanej stali decydują głównie zawarte w niej wtrącenia niemetaliczne, zagadnienie to jest szeroko badane w ostatnich latach, a wyniki tych badań ewidentnie wskazują, że wielkości wtrąceń niemetalicznych identyfikowane we współcześnie produkowanych stalach bardzo rzadko przekraczają kilka mikrometrów. Sam – wraz z zespołem – od kilku lat prowadzę badania w tym zakresie i mogę stwierdzić, że zidentyfikowane

w dziesiątkach próbek stali pochodzących z różnych etapów produkcji (piec kadziowy, kadź pośrednia, krystalizator i wlewek ciągły), z różnych hut stali na terenie Polski, wtrącenia niemetaliczne miały rozmiary nie przekraczające 5 μm (wielkość średnicy równoważnej). Nadmieniam dodatkowo, iż nie były to gatunki z grup stali tzw. wysokojakościowych.

2. Do symulacji procesu powstawania fazy niemetalicznej użyto programu FactSage. Bazy danych mogą być oparte na różnych modelach termodynamicznych roztworów, które są wewnętrznie uzgadniane. Nie każda baza danych musi prowadzić do podobnego wyniku rozwiązania. Zatem zachodzi pytanie jakie bazy danych wykorzystano?
3. Schemat blokowy programu do obliczeń WYK_STAL (rys. 3.33, str. 69) bez objaśnienia zapisanych zmiennych jest nieczytelny ponieważ nie wiemy jakie procedury kryją się pod daną etykietą oraz jakie mechanizmy procesu stalowniczego są uwzględnione:
 - a) domyślamy się że wyznaczony jest stan równowagi heterofazowej badanego układu,
 - b) jednocześnie na stronie 68 znajdują się informacje o „kinetyce reakcji zachodzących”. Stąd zachodzi pytanie, jakie kinetyczne bazy danych zastosowano (energije aktywacji, stałe kinetyczne)?
4. Podobna uwaga, jak w punkcie 3, dotyczy schematu blokowego programu do obliczania wzrostu dwuskładnikowych wtrąceń niemetalicznych (rys. 4.4, str. 97). Jaki układ równań z wielu przytoczonych w pracy rozwiązywano?

Reasumując stwierdzam, że przedstawiona do recenzji rozprawa jest samodzielnym rozwiązaniem złożonego problemu badawczego o charakterze podstawowym oraz potencjalnie utylitarnym. Doktorant wniósł oryginalny wkład w rozwój wiedzy dotyczącej generowania, wzrostu oraz aglomeracji wtrąceń niemetalicznych w ciekłej stali po wprowadzeniu do niej itru. Uzyskane wyniki badań modelowych mogą stanowić podstawę optymalizacji procesu produkcyjnego poprzez zmniejszenie ilości wtrąceń niemetalicznych w stali lub ich stosowną modyfikację. Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Sergiia Gerasina spełnia 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.

Waneck