

Dr hab. inż. Marian Niesler
Łukasiewicz Górnośląski Instytut Technologiczny
44 – 100 Gliwice
ul. K. Miarki 12 – 14

Gliwice, 29.11.2024 r.

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr Sławomir Kozłowski

pt.:

„Opracowanie i wdrożenie innowacyjnych rozwiązań w procesach karbotermicznej redukcji krzemionki podczas produkcji żelazostopów w piecach rezystancyjno-lukowych w oparciu o optymalizację zużycia surowców i energii”

Wykonana zgodnie z Uchwałą Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej z dnia 22 października 2024 roku.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska wykonana została przez Pana mgr Sławomira Kozłowskiego w Wydziale Inżynierii Materiałowej. Promotorem pracy był Pan dr hab. inż. Stanisław Gil, prof. Pol. Śl. Promotorem pomocniczym był Pan dr inż. Wojciech Bialik. Opiekunem pomocniczym był Pan mgr inż. Łukasz Banasik.

Układ pracy jest typowy dla tego rodzaju rozpraw i logicznie prowadzi przez rozumowanie autora. Recenzowana rozprawa doktorska obejmuje 222 strony, które ujęte są w 8 rozdziałach. Rozpoczyna się wykazem oznaczeń, spisem rysunków i tablic, wstępem oraz celem i zakresem pracy doktorskiej. Dysertację kończą wnioski, bibliografia, streszczenie i abstract. Bibliografia zawiera 158 pozycji literaturowych. Doktorant jest współautorem 10 z pozycji literaturowych, na których bazuje recenzowana rozprawa doktorska. Publikacje ukazały się w języku rosyjskim (1 pozycja w *Металлург*), angielskim (7 pozycji, w tym m.in.: *Metalurgija*, *Metallurgist*) oraz polskim (2 pozycji w *Hutnik – Wiadomości Hutnicze*). W sumie Doktorat jest autorem lub współautorem 25 publikacji w czasopismach oraz materiałach konferencyjnych.

Optymalizacja procesu wytwarzania stopów krzemu w piecach rezystancyjno-łukowych metodą redukcji karbotermicznej tlenków krzemu nie jest możliwa bez odpowiedniego doboru surowców wsadowych, zapewniających efektywność procesu technologicznego, wymaganą jakość stopu i odpowiednie wskaźniki techniczno-ekonomiczne. Brakuje jednoznacznych kryteriów określających przydatność danych surowców do procesu. Opierając się tylko na składzie chemicznym nie można w sposób jednoznaczny określić ich wpływu na przebieg procesu i uzyskiwane wskaźniki techniczno-ekonomiczne. Analiza przyczyn niezadowalającego stanu krajowej produkcji stopów krzemu wskazuje na niewystarczający stopień automatyzacji procesu i kontroli parametrów technologicznych, co bezpośrednio wpływa na wskaźniki wydajności, jakości i kosztów produkcji.

Dlatego też w prezentowanej rozprawie autor podjął próbę wykazania możliwości poprawy efektywności produkcji poprzez wdrożenie opracowanego przez siebie kompleksowego i zintegrowanego systemu informatycznego PSOTnik (Podstawowy System Obliczeń Technologicznych), w połączeniu z badaniami własnymi i przemysłowymi próbami technologicznymi wytapiania żelazokrzemu.

Cel pracy jest jasno sformułowany i dotyczy zwiększenia efektywności procesu wytwarzania stopów krzemu poprzez opracowanie metody kontroli procesu i opracowanie wytycznych do poprawy procesu technologicznego.

Wprowadziłbym w opisie drobne korekty związane z pojawiającym się w tekście dwukrotnie, celem pracy. Autor w kolejnych akapitach pisze, że celem pracy jest budowa wielomodułowego systemu informatycznego umożliwiającego racjonalne sterowanie procesami produkcyjnymi. Uważam, że jest to środek do osiągnięcia celu i powinien się znaleźć w przedostatnim akapicie na str.18. Proponowany zapis: Cel zostanie osiągnięty poprzez budowę wielomodułowego systemu, badania teoretyczne, laboratoryjne oraz w warunkach przemysłowych.

Zaproponowany zakres badań przejrzyście prezentuje drogę, jaką autor zamierza zrealizować cel pracy.

W rozdziale 1 Doktorant przedstawił bardzo obszerną analizę literaturową dotyczącą procesu wytwarzania stopów krzemu w niskoszybowych piecach rezystancyjno-łukowych. Zaczynając od rysu historycznego hutnictwa żelazostopów w Polsce, charakterystykę wytwarzania żelazostopów u jedyne go polskiego producenta żelazostopów, firmie Re Alloys, gdzie wdrożone zostały wyniki badań

Doktoranta, kończąc na opisie modelu fizykochemicznego procesu wytopu stopów krzemu w tych piecach. Zakres tematyczny literatury jest właściwy dla realizacji pracy, a przeprowadzona analiza źródeł jest zadowalająca.

Pytanie:

- 1. Na str. 34, rys. 4 Doktorant przedstawił wykonane w ramach realizacji pracy doktorskiej pomiary stref temperaturowych elektrody o średnicy 1200 mm pieca XXII o mocy transformatora 20 MVA. W jaki sposób zostały wykonane te pomiary. Czy Doktorant wykonywał je samodzielnie ?**
- 2. Na str. 41 Doktorant opisuje model dwustrefowy redukcji karbotermicznej krzemionki, który został uzupełniony w ramach realizacji badań w pracy doktorskiej. Czy Doktorant dokonał uzupełnienia samodzielnie ?**

Rozdział 2 opisuje aktualny stan systemów informatycznych stosowanych przy produkcji żelazostopów w firmie Re Alloys. Na podstawie oceny tego stanu, Doktorant wskazuje na konieczność stworzenia programu obliczeń technologicznych. Następnie przedstawia zrealizowany w ramach doktoratu program (PSOTnik), opisuje jego budowę, działania, funkcjonalności, moduły i proces wdrożenia do działalności technologicznej firmy. Jak stwierdza autor, do momentu opracowania i wdrożenia programu PSOTnik, jedynym oprogramowaniem służącym do gromadzenia i analizy statystycznej parametrów pracy pieca oraz osiągniętych wskaźników techniczno-ekonomicznych, był stworzony w 1989 roku program technologiczny, pracujący w systemie MS-DOS.

Pytanie:

- 1. Brakuje mi w tym rozdziale lub rozdziale 1 odniesienia do tego typu działań informatycznych u innych wytwórców żelazostopów. Czy w tej dziedzinie nic się nie dzieje w Europie, w świecie ??**
- 2. PSOTnik, czy nie wystarczy PSOT. Po co dodatek ..nik ?**
- 3. Jak autor wspomina na str. 54 fizyczne wykonanie programu PSOTnik powierzył firmie Prologis. Czy dobrze zrozumiałem z opisu przedstawionego w punkcie 2.3, że Doktorant był samodzielnym autorem algorytmów działania i bilansowania ?**

Rozdziały 3 - 6 opisują proces optymalizacji wytwarzania stopów krzemu poprzez dobór surowców krzemonośnych, reduktorów węglowych, surowców żelazonośnych oraz surowców zwiększających gazoprzepuszczalność i rezystancję wsadu. Doktorant przedstawił parametry technologiczne tych surowców, wyniki przeprowadzanych badań laboratoryjnych oraz wyniki przeprowadzonych prób przemysłowych. Zgadzam się w całej rozciągłości z tezą Doktoranta, że laboratoryjne badania parametrów metalurgicznych tworzyw nie dają jednoznacznej odpowiedzi co do ich właściwości metalurgicznych i przydatności technologicznej. Ułatwiają jednak podejmowania decyzji przy doborze tworzyw do prób przemysłowych. Najbardziej obiektywny dobór tworzyw polegał więc na zastosowaniu danego surowca w warunkach przemysłowych.

Autor udowadnia, że jakość surowców nie jest jedynym czynnikiem, który wpływa na efektywność procesu technologicznego wytopu żelazokrzemu. Wskaźniki techniczno-ekonomiczne procesu są wypadkową wielu różnych czynników. Wynika to z dużej złożoności i niestabilności procesu wytopu żelazokrzemu w piecach rezystancyjno-łukowych oraz znacznym wpływie na jego przebieg czynnika ludzkiego. Dużo zależy od zarządzania procesem technologicznym, a w szczególności sprawności urządzeń, sposobu składowania surowców i wpływu warunków atmosferycznych, a także kultury technicznej i kwalifikacji załogi.

Dlatego też Doktorant bardzo słusznie przyjął założenie, że w badaniach przemysłowych czas trwania prób powinien wynosić minimum 3 tygodnie, w trzech różnych wariantach wsadowych i konsekwentnie je realizował.

Pytanie:

Czy Doktorant samodzielnie przeprowadzał opisane w rozdziałach 3-6 badania laboratoryjne i testy przemysłowe ?

Z punktu widzenia ochrony środowiska niezmiernie istotną kwestią, na którą zwrócił uwagę Doktorant jest podejmowanie działań dotyczących stosowania skarbonizowanej biomasy jako częściowy zamiennik reduktorów kopalnych. To działanie bardzo ściśle wpisuje się w politykę klimatyczną Unii Europejskiej, która zakłada do 2050 r. przejście na gospodarkę neutralną dla klimatu o zerowej emisji gazów cieplarnianych. Doktorant przedstawia wyniki badań takiej biomasy jak: łupiny olejowca w stanie surowym, zrębki akacjowe, toryfikat ze zrębków, toryfikat z łupin olejowca, toryfikat z łupin nerkowca oraz toryfikat z łupin orzeszków ziemnych.

Doktorant stwierdza, że biomasa poddana zabiegowi toryfikacji/karbonizacji charakteryzuje się wysoką zawartością węgla twardego, bliską lub przekraczającą stosowane reduktory węglowe, zatem po odpowiedniej przeróbce mechanicznej – zbrykietowaniu lub zbryleniu mogłaby być stosowana jako zamiennik węgla kopalnych w procesach wytwarzania żelazokrzemu. Podobnie jak w przypadku reduktorów węglowych należy zwrócić uwagę na zawartość zanieczyszczeń.

Mam nadzieję, że Doktorant w przyszłości będzie kontynuował prace przy wprowadzaniu skarbonizowanych reduktorów węglowych w miejsce paliw kopalnych przy produkcji żelazostopów.

Pytanie:

Czy Doktorant brał osobiście udział w badaniach biomasy, czy były to tylko badania przeprowadzone przez firmę Re Alloys ?

Rozdziały 7 - 8 opisują technologie: rafinacji FeSi obniżającą zawartość glinu, wapnia i węgla oraz rozlewania ciekłych stopów krzemu. Opisane zostało stanowisko do rafinacji ciekłych stopów krzemu, przebieg procesu oraz badania własne z wykorzystaniem modelu wodnego kadzi rafinacyjnej oraz w skali przemysłowej. Opisany został również mechanizm krystalizacji FeSi, metody rozlewania stopów krzemu i ich wpływ na strukturę otrzymanego wlewka oraz na uzysk frakcji docelowej 10÷50 mm po kruszeniu i przesiewaniu. Opisano badania własne w zakresie krystalizacji stopów krzemu oraz zmian sposobu rozlewania oraz osiągniętych rezultatów. Doktorant wykazał na podstawie badań teoretycznych i prób technologicznych, że wyższy stopień usunięcia glinu ze stopu FeSi75 można uzyskać poprzez przedmuchiwanie kąpieli przez kształtkę umieszczoną w dnie kadzi niż przez lancę tlenową. Ponadto stwierdził, że stop rozlewany do wlewnic żeliwnych na warstwę o grubości 50 mm, charakteryzował się największym uzyskiem frakcji docelowej przy kruszeniu.

Pytanie:

Jaka była rola Doktoranta przy modelowaniu procesów hydrodynamicznych zachodzących w kadzi rafinacyjnej, które prowadzone były we współpracy z Wydziałem Inżynierii Materiałowej Politechniki Śląskiej ?

Zakres i metodyka badawcza potwierdzają, że autor przemyślał temat pracy oraz sposób jej realizacji. Dysertacja zakończona jest wnioskami. Wyciągnięte wnioski są logicznie i mają potwierdzenie w prezentowanych wynikach.

W wyniku realizacji niniejszej pracy doktorskiej, w ramach której również przeprowadzono znaczną liczbę prób technologicznych, został zbudowany zintegrowany wielomodułowy i kompleksowy program PSOTnik. pozwalający na śledzenie i koordynację wielu czynników wpływających na efektywność procesu wytwarzania stopów krzemu. Jego użyteczność, ergonomia, otwarta architektura i możliwość uzupełniania o nowe moduły jest cenną pomocą w pracy działu technologicznego. W szybki sposób umożliwia on analizę wpływu wielu parametrów surowcowych i technologicznych na pożądany efekt końcowy w postaci jakości stopu i kosztów jego wytworzenia.

Jestem przekonany, że ogromną rolę w bardzo przemyślanym zaprojektowaniu i przeprowadzeniu przez Doktoranta badań laboratoryjnych, a przede wszystkim prób technologicznych, odegrał fakt pracy w charakterze głównego technologa w firmie Re Alloys. Dzięki temu ma codzienną możliwość współpracy z jednostkami naukowymi, ośrodkami badawczo-rozwojowymi i biurami projektowymi. Jest to doskonałe połączenie pracy naukowej z możliwością jej bezpośredniego sprawdzenia w warunkach przemysłowych.

Recenzent, jako były szef wielkich pieców produkujących żelazomangan wielkopiecowy w latach 90 XX w. w hucie „Bobrek” w Bytomiu, o której Doktorant wspominał w rysie historycznym hutnictwa żelazostopów w Polsce, potrafi docenić ogrom pracy jaką włożył autor w swoje badania.

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

- str. 16, czwarty akapit od dołu. Autor pisze, cyt. „Obecne kierownictwo Re Alloys jest świadome konieczności podnoszenia poziomu technicznego (...). Nazwa firmy pojawia się tu po raz pierwszy i czytelnik może mieć problem z identyfikacją zakresu działalności firmy. Dopiero na str. 17 jest wyjaśnienie, że chodzi tutaj o jedyne polskiego producenta żelazostopów. Moim zdaniem

powinno być: Obecne kierownictwo Re Alloys, jedyny polski producent żelazostopów, (...).

- str.19. Zakres pracy doktorskiej obejmuje, pkt 3). Jest: opis przebiegu i uzyskanych wyników prób technologicznych, określenie wpływu zmian parametrów...Proponuję ujednoczyć tak jak w punkcie 4) i 5): ... w zakresie określenia wpływu....
- str.53. Jest: Nastręczało to oczywiście **spore** trudności ze względu na trzy rodzaje problemów: Powinno być: Nastręczało to oczywiście **sporych** trudności ze względu na trzy rodzaje problemów.
- str.67 punkt 4). Wyniki analiz składu chemicznego wytworzonego produktu są pobierane z modułu **Postoje** programu PSOTnik,...Z rysunku 25 wynika, że te dane są pobierane z modułu **Wyliczenia**. Czy tak ?
- str.93. Tablica 16. Ponieważ najważniejszym składnikiem badanych próbek kwarcytu jakim jest SiO₂ powinien być umieszczony na początku tablicy.
- str.152. Jedenasty wers od dołu. Jest:...części rozpuszczalnych w ksylonie. Powinno być w ksylenie.
- str.200. Opisy w środkowej części tej strony są wykonane na czerwono. Jaki był cel takiego wyróżnienia tekstu ?
- str.201. Rys.95. W legendzie pod rysunkiem grubość wlewnicy podana jest w cm. Powinno być tak jak w tekście powyżej w mm.

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 opracowane przez autora innowacyjne rozwiązania przy produkcji żelazostopów w piecach rezystancyjno-łukowych z wykorzystaniem autorskiego systemu informatycznego PSOTnik, stanowią oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze

gospodarczej. Praca ma niewątpliwe cechy pracy użytecznej, której wyniki zostały wdrożone w produkcji żelazostopów.

Zakres pracy jaki został włożony przez Pana mgr inż. Sławomira Kozłowskiego w przeprowadzenie badań, opracowanie otrzymanych wyników oraz ich interpretację, wymagał od Doktoranta umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, szerokiej wiedzy z zakresu metalurgii żelazostopów oraz związanych z tym różnych procesów technologicznych.

Stwierdzam, że przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim określone w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 poz. 1668) i **wniosuję o dopuszczenie Pana mgra inż. Sławomira Kozłowskiego do publicznej obrony rozprawy.**

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