

dr hab. inż. Piotr Migas

Kraków, dn. 8.01.2018

Akademia Górniczo-Hutnicza

Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej

Al. Mickiewicza 30,

30-059 Kraków

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Macieja Wędrychowicza

pt.: "Ocena i analiza wybranego etapu procesu odmiedziowania w aspekcie efektywności procesu produkcji miedzi"

opracowana na zlecenie Dziekana Wydziału Mechanicznego
Uniwersytetu Zielonogórskiego

1. Ocena podjętego obszaru tematycznego

Recenzowana praca doktorska obejmuje szeroki zakres tematyczny zaczynając od technologii metalurgicznej przez budowę strukturalną ciekłych układów krzemianowych do zarządzania produkcją przedsiębiorstwa metalurgicznego. Szczegółowo zajmuje się analizą wybranego etapu produkcji miedzi, czyli odmiedziowaniem żużli zawieszinowych w elektrycznym piecu łukowym oraz jego oceną z punktu widzenia efektywności w całym procesie produkcji miedzi.

W pracy doktorskiej mgr inż. Marcina Wędrychowicza podjęto się oceny możliwości wpływu wybranych dodatków technologicznych na lepkość dynamiczną żużli zawieszinowych (oraz lepkość dynamiczną żużli po odmiedziowaniu). W konsekwencji poprzez zmianę składu chemicznego tychże żużli – możliwą optymalizację procesu odmiedziowania w zakresie np.: czasu procesu, uzysku miedzi, zużycia energii. Z punktu widzenia przeprowadzonej analizy efektywności ekonomicznej tego etapu produkcji miedzi, zastosowanie proponowanych modyfikacji dawałoby wymierne korzyści m.in. finansowe. Takie ujęcie tematu przez dyplomanta, wydaje się istotne, właśnie z technologicznego oraz ekonomicznego punktu widzenia prowadzenia procesu odmiedziowania.

2. Analiza przedstawionej rozprawy doktorskiej

Przedstawiona rozprawa liczy 133 stron, składających się na 16 rozdziałów w tym bibliografię zawierającą 117 pozycji literaturowych, spis 76 rysunków oraz 30 tabel. Praca pod względem edytorskim została wykonana starannie, jest przejrzysta oraz czytelnie rozplanowana.

W części pracy (rozdział - 1. Wstęp) uzasadniającej celowość podjętych działań badawczych Autor odniósł się do działań technologiczno-ekonomicznych podejmowanych w Zakładzie przemysłowym KGHM Głogów II. W tak obszernym procesie technologicznym jakim jest produkcja miedzi (w związku ze zmieniającymi się parametrami procesu) - wydaje się oczywistym ciągłą optymalizacją całego ciągu technologicznego, ale koniecznym jest również optymalizowanie pojedynczych, cząstkowych etapów technologii. Na podstawie przeprowadzonej analizy stwierdzono, że jednym z możliwych etapów w których jest szansa na poprawę efektywności procesu, jest etap odmiedziowania żużła zawieszinowego w piecu elektrycznym. Jednym z głównych czynników przez który można wpływać na efektywność procesu, który został zaproponowany przez Autora – jest wskaźnik lepkości dynamicznej żużli zawieszinowych. W pracy podjęto się analizy wpływu wybranych tlenków/związków (CaF_2) na strukturę wewnętrzną żużli (zawieszinowych) oraz od strony badawczej ich wpływu na współczynnik lepkości dynamicznej rozpatrywanych roztworów jonowych, co z punktu widzenia naukowego jest bardzo ciekawym i istotnym zagadnieniem.

W rozdziale 2 przedstawiono główne procesy produkcyjne ze szczególnym uwzględnieniem procesu produkcji miedzi, jako systemu produkcyjnego w warunkach KGHM. Zaprezentowano główne składowe oraz etapy procesu technologicznego z punktu widzenia części - wsadowej oraz od stron produktu finalnego. Zostały również opisane główne wskaźniki technologiczne identyfikujące oraz optymalizujące proces z punktu widzenia jakościowego oraz ilościowego.

W rozdziałach 3-4 zostały zaprezentowana analiza procesu odmiedziowania żużła zawieszinowego oraz teoretyczna analiza strukturalna żużła - w skali mikro (warunki jego polimeryzacji oraz depolimeryzacji) oraz analiza układu żużel-stop miedzi (wydzielone krople stopu) - w skali makro. Zostały zaprezentowane ciekawe wyniki/mikrofotografie (str. 30, 36-37) obrazujące kształt oraz rozmiar wydzielonych kropelek z roztwór jonowego. Ciekawym zagadnieniem jest zaprezentowana analiza postaci miedzi/stopu w osnowie żużlowej, na podstawie wyników własnych badań oraz koncepcji prof. Kucharskiego oraz

prof. Śmieszka, jak również symulacja czasu opadania kropeł stopu miedzi w żużlu o założonej lepkości dynamicznej, wykonana na podstawie uzyskanych wyników obliczeń opartych na modelu Stokes'a.

W rozdziale 4, została syntetycznie przedstawiona teoria jonowo ciekłych roztworów jonowych. Autor zaprezentował ciekawą analizę modeli strukturalnych ciekłych układów krzemianowych m.in. klasyczny model Bockrisa oraz model anionów dyskretnych Toop'a i Samis'a oraz model Masson'a. Został zaprezentowany również model Tanaki deformacji struktury ciekłych układów glino-krzemianowych w wyniku przyłożenia siły odkształcającej do układu.

W rozdziałach 5-6 zaprezentowano opis metod reometrycznych wykorzystywanych do pomiaru współczynnika lepkości dynamicznej cieczy, opisano samą lepkość jako właściwość fizyczną układu oraz jej zmiany w wyniku odkształcenia i wpływu na identyfikację reologiczną badanych systemów.

Przedstawiono ciekawą analizę SWOT w zakresie głównego celu pracy - optymalizacji technologii odmiedziowania żużła zawiesinowego oraz przedstawiono wyniki oceny wagowej wybranych kryteriów oceny efektywności procesu.

Na podstawie przeprowadzonej analizy teoretycznej oraz wyników badań specyfiki termodynamicznej i strukturalnej żużła występującego w procesie jego odmiedziowania oraz identyfikacji procesu produkcji miedzi, jako systemu produkcyjnego w warunkach KGHM postawione w pracy tezy wydają się być prawidłowe – rozdział 7. Postawione cele badawcze oraz zaprojektowana metodyka badawcze prawidłowo opisuje możliwy do osiągnięcia zakres wybranego tematu pracy – rozdział 8.

Przeprowadzone obliczenia możliwych prędkości gazów (CO , CO_2 , O_2) nad kąpielą żużlową dla warunków prowadzonego eksperymentu są b. ciekawym elementem poszerzającym zakres badawczy wykonany w pracy. W związku z takimi możliwościami stanowiska badawczego wydawałoby się ciekawe rozszerzenie zakresu eksperymentów o wpływ atmosfery w piecu na współczynnik lepkości ciekłych żużli – rozdział 9.

W rozdziale 10 umieszczono wyniki własnych badań reometrycznych, zostały one podzielone na 3-y obszary: zmiana współczynnika lepkości dynamicznej żużła zawiesinowego, zmiana współczynnika lepkości dynamicznej żużła odmiedziowanego oraz wpływ dodatku wybranych modyfikatorów na współczynnik lepkości żużła zawiesinowego.

Interesującym zagadnieniem jest zaprezentowana jakościowa analiza współ-reagowania żużła z tygłem alundowym.

Przeprowadzone badania wpływu wybranych dodatków na zmianę lepkości dynamicznej żużli od strony jakościowej potwierdzają wyniki uzyskiwane w innych ośrodkach naukowych, przytoczone przez Autora. Natomiast należy podkreślić bardzo istotny aspekt identyfikacji ilościowej wpływu CaO oraz CaF₂ na optymalną lepkość żużła zawieszinowego w danych warunkach składu temperatury i ciśnienia. Z punktu widzenia naukowego wydaje się to znaczącym wkładem w rozwój opisu reologicznego wybranych żużli.

Na podstawie uzyskanych wyników wykonano ciekawą analizę zmian energii oraz kosztów w procesie odmiedziowania w zakresie wymiany stosowanych dodatków na dodatki technologiczne proponowane przez Autora (rozdziały 11-12) z pozytywnymi skutkami. Oczywiście tak przeprowadzona analiza teoretyczna do całkowitego potwierdzenia słuszności stawianych tez wymagałaby weryfikacji przemysłowej, co jak wiadomo jest obiektywnie niezależne od Autora niniejszej pracy.

Ostatnim rozdziałem zaprezentowanej pracy jest rozdział 13 – Podsumowanie i wnioski, Autor zaproponował ciekawe interpretowanie wyników oraz logiczne wnioskowanie, w szerokim zakresie interdyscyplinarnym: technologii oraz inżynierii produkcji, co wskazuje na szeroką wiedzę teoretyczną Kandydata. Doktorant potwierdził postawioną tezę ogólną oraz osiągnął stawiane w pracy cele, uzyskane wyniki wnoszą wkład naukowy i praktyczny w teorię i praktykę w zakresie kontroli wskaźników technologicznych procesu odmiedziowania.

3. Uwagi szczegółowe

1. „Wykaz ważniejszych oznaczeń” – został zaprezentowany bez jednostek, dla żadnej ze zmiennych nie podano jednostki.
2. Zastosowanie sformułowania: „dany odpad jest produkowany” (str. 15) - jest niefortunne, chyba że Firma świadomie - „produkuję dane odpady”.
3. Autor nie ustrzegł się niewielkich niekonsekwencji (str. 16), stosuje wymiennie słowo „odmiedziowywania” lub „odmiedziowania”, wydaje się aby stosować słowo – odmiedziowania - i to konsekwentnie w całej pracy.

4. Kolejno (na stronie 16) wśród wymienianych jakościowych składników żużła zawiesinowego zabrakło - SiO_2 , który to składnik jest jednak głównym elementem rozpatrywanego żużła/układu.
5. W wymienianych głównych parametrach technologicznych procesu odmiedziowania żużła zabrakło czasu. Nasuwa się pytanie dlaczego? (gdzie kolejno na str. 18 ten parametr jest już wymieniany jako jeden z głównych).
6. W trakcie czytania nie udało się znaleźć odniesienia w tekście do tabeli 2.3. - jeżeli się do niej w tekście nie odwołuje, może lepiej jej nie zamieszczać?
7. Zaprezentowany schemat procesu odmiedziowania na rysunku 3.1 jest zbyt uproszczony/ogólny, aby zamieścić go bez szczegółowego komentarza/opisu, przede wszystkim jeżeli chodzi o miejsce redukcji tlenków miedzi. Miejsca redukcji które zaznaczył Autor są również odpowiednie, ale głównie zachodzi ona w kontakcie żużła z reduktorem - czyli na powierzchni tam gdzie jest dostarczany reduktor/koks. Jeżeli w ciekłym żużlu również znajduje się jakiś reduktor (np. CO), to redukcja też będzie przebiegać. Redukcja zachodzi również w kontakcie stopu Cu-Fe-Pb z żużłem z wykorzystaniem Fe.
8. W przypadku systematyki typów redukcji: pośredniej i bezpośredniej należałoby zaprezentowany opis zweryfikować (str. 20, reakcje 3.1-3.4). W procesie opisywanym przez Autora dużo prostszą i bardziej adekwatną systematyką byłaby ta oparta o mechanizm redukcji w ciekłych fazach żużlowych z wykorzystaniem reduktorów węglowych.
9. Na stronie 22 Autor użył sformułowania „dzięki reakcjom jonowym” (odnoszącym się do równania 3.6) - wydaje się, że istota zjawiska jest zachowana, ale proponuję raczej w tym wypadku użyć sformułowania „wymiany jonów metali” (jeżeli teoria jest słuszna, to powinno się w żużła zwiększać stężenie tlenków żelaza jako produktu reakcji wymiany jonów? Fe przechodzi do „osnowy” żużlowej, czy tak jest w rzeczywistości?).
10. W reakcji 3.8 (str. 25) występuje, raczej krzemian żelaza (fajalit) - niż tlenek żelaza (II).
11. W zestawieniu zapotrzebowania energii w procesie odmiedziowania (str. 25) całkowite zużycie energii wynosi = 100,9% - nieznacznie za dużo. W takim razie – straty cieplne nie występują w tym układzie?
12. W równaniach 3.11 i 3.12 brakuje znaków równości, a są to z całą pewnością równania.

13. W przypadku opisu tlenku MgO (str. 29 oraz str. 40) – z całą pewnością należy go taktować jako tlenek zasadowy, natomiast Al_2O_3 - jako związek amfoteryczny.
14. Z całą pewnością należałoby konsekwentnie usystematyzować stosowanie opisu do parametrów: „aktywność” oraz „współczynnik aktywności” są to dwa różne wskaźniki (str. 27 oraz str. 42).
15. Wydaje się, że w przypadku zaprezentowanej pracy dużo bardziej przydatne byłoby podawanie na mikrofotografiach skali (rysunki 4.1, 4.8., 4.10 itd.), dotyczy to szczególnie analizy rozmiaru cząstek stopu (Cu-Fe-Pb), podanie samego powiększenia jest oczywiście stosowane i prawidłowe, ale w tym przypadku skala na fotografii byłaby bardziej użyteczna.
16. Przy opisie struktur jonowych roztworów żuźlowych nie występują „jony tlenkowe” (str. 43) - nie ma takich jonów „tlenkowych” - są albo kationy albo aniony (lub ew. aniony kompleksowe). „Tlenkowych”, czyli jakich? Tworzących anion? Kation? W tym wypadku wydaje się, że są jony tlenowe?
17. Na stronie 66 użyto sformułowania: „Wszelkie obroty głowicy pomiarowej”, jest to spory skrót myślowy: tutaj „narzędzia pomiarowe”, a dokładnie wrzeczona wraz z systemem mocowania. Głowica reometru pozostaje nieruchoma w trakcie całego pomiaru. Głowica na pewno się nie obraca.
18. Strona 70 – nie ma takiego urządzenia jak - „kruszarka żuźłowa”.
19. Na stronie 83 stwierdzono: „Dodatkowo w wyższych temperaturach następowało intensywne nawęglanie zawieszenia penetratora” - A skąd ten węgiel - nigdzie w analizach chemicznych nie ma podanego węgla jako składnika w układzie?
20. Dlaczego do uzyskania składu chemicznego żuźła (tabele: 10.1-10.4) stosowano różne metody analizy chemicznej?
21. Skąd wartości stałych dla tych równań Arrheniusa z rysunków 10.12 oraz 10.14? Nie ma odnośnika do literatury? Jeżeli wyliczone, to dla jakich warunków?
22. Na stronie 92 napisano: „Kolorem czarnym wyszczególniono wyniki pomiarów, w którym prowadzony jest proces redukcji żuźła zawiesinowego”, rodzi się pytanie - co jest reduktorem w tym układzie? Kiedy, w którym momencie pomiaru, ten reduktor/węgiel (?), był dodawany do żuźła zawiesinowego? (Podobnie jak w przypadku uwagi 19).
23. W przypadku tabel: 10.11, 10.12, a szczególnie 10.13. W jaki sposób zostało stwierdzone – „trudności ze stopieniem tlenku wapnia”? Czyli występowały stałe cząstki

CaO w ciekłym żużlu ? W tych warunkach CaO prawdopodobnie nie będzie się roztopiało, ale rozpuszczało w kwaśnym układzie żużlowym ?

24. Strona 101 – w ostatnim zdaniu akapitu (przed podrozdziałem 10.4) - brak jest identyfikacji (opisu), jak jony żelazowe oddziałują z jonami krzemianowym ?

25. W wykonanej analizie kosztów procesu odmiedziowania (rozdz. 11, tabele 11.3-11.4) Różnica 123.880-118.400 (tys. zł) = ok. 5 mln 400 tys./rok – jest to dużo, czy mało ? Nasuwa się pytanie, czy dzięki skróceniu czasu odmiedziowania można by zwiększyć intensywność produkcji np. poprzez zwiększenie ilości wytopów odmiedziowujących na dobę ?

26. Wydaje się że zaprezentowanie zbiorczych wykresów/zależności: $\eta = f(\text{Na}_2\text{O}, \text{FeO})$, dla wszystkich: $T = \text{const.}$, $\gamma = \text{const.}$, porównując wpływ wszystkich badanych dodatków dałoby pełniejszy obraz wyboru optymalnego dodatku technologicznego wpływającego na zmianę lepkości dynamicznej danego żużla (wykonano wykresy 10.27, $\eta = f(\text{CaO})$, dla $T=1200^\circ\text{C}$ oraz wykres 11.3; $\eta = f(\text{CaO})$, dla $T = 1300^\circ\text{C}$ oraz wykres 11.2; $\eta = f(\text{CaF}_2)$, dla $T=1300^\circ\text{C}$),

27. Szkoda, że badania wykonano tylko dla jednej szybkości ścinania, bardzo ciekawym byłoby analiza reometryczna badanych systemów z punktu widzenia wpływu dodatków technologicznych przy zmiennej szybkości ścinania na lepkość dynamiczną żużli.

4. Ocena końcowa

Stwierdzam, że rozprawa Pana mgr inż. Macieja Wędrychowicza spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim:

- sformułowano tezę badawczą, postawiono jasno określone cele,
- zaplanowano i zrealizowano badania według przyjętej metodyki badawczej - dowodzi to umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez doktoranta,
- logicznie zinterpretowano uzyskane wyniki i sformułowano wnioski,
- doktorant udowodnił postawioną tezę, a uzyskane wyniki wnoszą oryginalny wkład naukowy z możliwością ich zastosowania w praktyce technologicznej.

Podsumowując uważam, że praca wnosi duży wkład w rozwój nauk podstawowych oraz zawiera interesujące przesłanki w kierunku wykorzystania przedstawionych wyników w praktyce przemysłowej.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgr inż. Macieja Wędrychowicza pt.: **”Ocena i analiza wybranego etapu procesu odmiedziowania w aspekcie efektywności procesu produkcji miedzi”** spełnia wymogi określone w Ustawie o stopniach i tytule naukowym. W związku z tym wnoszę o dopuszczenie Pana mgr inż. Macieja Wędrychowicza do publicznej dyskusji nad Jego rozprawą doktorską przed Radą Wydziału Mechanicznego Uniwersytetu Zielonogórskiego.

A handwritten signature in blue ink, reading "Piotr Migas".

Piotr Migas