

Częstochowa, 07 Styczeń 2025

dr hab. inż. Adam Cwudziński, prof. PCz
Katedra Metalurgii i Technologii Metali,
Wydział Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów
Politechnika Częstochowska
Al. Armii Krajowej 19, 42-200 Częstochowa
tel. 343250779
adam.cwudzinski@pcz.pl

Recenzja części jawnej

pracy doktorskiej mgr inż. Roberta Szudy pt.

„Analiza i optymalizacja ciągu technologicznego przygotowania mieszanki wsadowej na maszynę
Dwigtha Lloyda w procesie spiekania materiałów cynkonośnych”

wykonana na podstawie zlecenia Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria
Materiałowa Politechniki Śląskiej prof. dr hab. inż. Adama Grajcara, z dnia 22 października 2024 r.

1. Wstęp

Wysokotemperaturowe procesy ekstrakcyjne metali z udziałem wieloskładnikowych faz stałych i gazowych definiuje i limituje rozkład izoterm van't Hoffa poszczególnych reakcji chemicznych. Opis termodynamiczny uwzględniający aktywności substratów i produktów oraz reguły Le Chateliera umożliwiają teoretycznie określić wzajemne interakcje poszczególnych komponentów w analizowanym układzie heterogenicznym.

Pirometalurgiczna technologia wytapiania cynku oparta jest na klasycznym procesie redukcji tlenków cynku w piecu szybowym ze wstępnym procesem spiekania rudy między innymi na taśmie spiekalniczej. Spiek stanowi materiał wsadowy zawierający fazy łatwiej redukujące się w warunkach pieca szybowego. Rozmiar i porowatość poszczególnych kawałków spieku zapewniają rozwiniętą granicę międzyfazową na której inicjowany jest proces redukcji. Dodatkowo spiek cynkonośny charakteryzuje się wytrzymałością na ściskanie zapewniającą swobodny przepływ gazów redukcyjnych między kawałkami materiału wsadowego. W trakcie procesu spiekania w objętości mieszanki spiekalniczej formowane są cztery strefy: suszenia, nagrzewania, reakcji i chłodzenia. W poszczególnych strefach objętości

mieszanki spiekalniczej inicjowane są nie tylko procesy utleniania (ZnS), ale również rozkładu ($ZnSO_4$, $ZnCO_3$) i syntezy (ZnO i Fe_2O_3). W zależności od realizowanej kampanii wsadowej (tlenki lub siarczki) wymagana jest odpowiednia ilość paliwa. Reakcje egzotermiczne zapewniają uzyskanie charakterystycznego rozkładu temperatury z pikiem powyżej $1300^\circ C$ niezbędnym do wykształcenia stabilnych termodynamicznie kryształów w strukturze spieku. Dlatego podjęta przez Autora dysertacji tematyka rozprawy doktorskiej mająca na celu optymalizację doboru mieszanki wsadowej w procesie spiekania materiałów cynkonośnych jest w pełni zasadna zwłaszcza w kontekście zrównoważonego rozwoju i optymalizowania technologii metalurgicznych.

2. Ocena formalna pracy i wiedzy teoretycznej

Praca zawiera 165 rysunków i 65 tablic. Rozdział Bibliografia obejmuje 110 pozycji literaturowych i 10 odwołań do stron internetowych, odnoszących się do zagadnień związanych z tematyką rozprawy doktorskiej. Wśród przytoczonych pozycji literaturowych brak opracowań naukowych Autora dysertacji. Praca jest napisana poprawnym językiem. W pracy pojawiają się znikome błędy językowe, stylistyczne lub składniowe.

W trakcie recenzowania pracy doktorskiej zauważono następujące błędy, których Autor dysertacji powinien się wystrzegać w przyszłości przy opracowywaniu wyników badań i formułowaniu na ich podstawie opracowań naukowych, ekspertyz, czy instrukcji techniczno-technologicznych.

- Schematy lub szkice prezentowane w formie rysunków powinny być opisywane zawsze w języku opracowania np. rys. 4, str. 13, lub rys. 11, str. 20.
- Indeksy stechiometryczne w prezentowanych związkach chemicznych powinny być zapisane w formacie dolnym np. tabl. 13, str. 58.
- Dane pobierane z procesu przemysłowego powinny być poddawane wstępnej obróbce i prezentowane za pomocą graficznych narzędzi inżynierskich z odpowiednimi legendami, celem zapewnienia czytelnikom komfortu analizy prezentowanych wyników np. rys. 50, str. 67 lub rys. 51, str. 68.
- Jeżeli rysunek zawiera wyniki dla różnych wariantów lub przypadków, podpis takiego rysunku powinien informować czytelnika, o tym fakcie np. rys. 60, str. 75 lub rys. 62, str. 75.

- W opracowaniach naukowych nie powinno się używać określeń domniemujących występowanie określonych stanów lub zjawisk fizyko-chemicznych np. wniosek 3, str. 83, opis przyczyny wsiąkania wody w próbkę, str. 118 lub wniosek 9, str. 156.
- Podczas prezentowania wyników nie ma potrzeby przedstawiania tych samych danych za pomocą tabeli i rysunku np. tabl. 33 i rys. 89 str. 108 lub tabl. 45 i rys. 90 str. 114.
- W procesach metalurgicznych niezwykle ważne jest podanie warunków początkowych i brzegowych procesu i materiałów oddziałujących ze sobą w układzie heterogenicznym. W pracy brak informacji o rozmiarach frakcji takich jak koksik, antracyt czy wapno dozowanych na taśmę spiekalniczą.

Praca doktorska Pana mgr inż. Roberta Szudy podzielona została na 10 rozdziałów i jest pracą zawierającą informacje utajnione. Rozdziały od 1 do 6 obejmują wstęp i aktualny stan wiedzy odnoszący się do metalurgii cynku i jego podstawowych funkcji w poszczególnych gałęziach gospodarki. Autor dysertacji w pierwszym rozdziale jednoznacznie definiuje hipotezy szczegółowe pracy, które w sposób naturalny wyznaczają cele pracy doktorskiej opisane w rozdziale 4.1. Pan mgr inż. Robert Szuda wprowadza czytelnika w obszar inżynierii materiałowej cynku nie tylko w aspekcie technologii jego wytapiania z surowców pierwotnych lub wtórnych, ale przede wszystkim w kontekście szerokiego zastosowania cynku jako metalu krytycznego dla gospodarki Rzeczypospolitej Polskiej. Autor opisuje proces spiekania, wytapiania i rafinacji cynku. W kontekście interakcji poszczególnych składników w procesie spiekania, Autor dysertacji ogranicza opis jedynie do podstawowych reakcji utleniania materiałów siarczkowych. Jednak, należy pamiętać, że podczas spiekania poszczególne składniki częściowo się redukują lub ulegają rozkładowi w trakcie ewolucji pola temperatury. Nie jest to klasyczny przegląd tylko aktualnego stanu wiedzy, ale również analiza ciągu technologicznego huty cynku „Miasteczko Śląskie S.A.” opisanego w rozdziałach 3, 4 i 6. W tym zakresie Autor kompleksowo opisuje wybrany obszar linii technologicznej i definiuje problemy limitujące wydajność procesu produkcji cynku metalicznego. Pomędzy wspomnianymi rozdziałami Autor bardzo zwięźle opisuje badania jakie wykona dla weryfikacji przedstawionych hipotez i realizacji celów dysertacji (rozdział 5).

Zagadnienia zawarte w rozdziałach 1-6 w pełni potwierdzają wiedzę teoretyczną mgr inż. Roberta Szudy w zakresie metalurgii metali nieżelaznych oraz organizacji i planowania procesu produkcyjnego w warunkach przemysłowych w obszarze optymalizacji materiałów wsadowych do procesu spiekania z użyciem taśmy spiekalniczej Dwighta-Lloyda.

3. Ocena oryginalnego rozwiązania problemu naukowego, potencjału aplikacyjnego wyników w sferze gospodarczej i umiejętności samodzielnego realizowania badań naukowych

Część doświadczalna pracy doktorskiej składa się z czterech rozdziałów 7÷10. Rozdział 8 i 9 są kolejno zbiorem zaleceń odnoszących się do aktualnie realizowanej technologii i podsumowaniem uzyskanych wyników. Natomiast rozdział 10 zawiera dane pierwotne charakteryzujące substraty i produkty w analizowanym układzie heterogenicznym. Autor realizuje cel podstawowy pracy poprzez wykonanie badań, analiz i zaleceń. Mając dobrze zdefiniowane problemy badawcze Pan mgr inż. Robert Szuda wypracowuje metodykę umożliwiającą weryfikację obecnego stanu procesu i następnie jego optymalizację. Oryginalne wyniki badań Autor uzyskuje nie tylko w laboratoriach badawczych, ale co szczególnie ważne w warunkach przemysłowych podczas rzeczywistego procesu wysokotemperaturowego, prezentując swoje osiągnięcia w rozdziale 7. Na początku Pan mgr inż. Robert Szuda analizuje strukturę i skład chemiczny spieku produkowanego w trakcie procesu spiekania na taśmie Dwighta Lloyda uwzględniając wpływ metod chłodzenia stosowanych przez Hutę cynku „Miasteczko Śląskie” S.A.. Następnie dla stosowanych materiałów cynkonośnych w postaci rud oraz materiałów odpadowych Autor dysertacji określa ich skład granulometryczny. W zależności od składu mieszanki wsadowej przeznaczonej do procesu spiekania i wymogów określanych przez wydział pieca szybowego, Autor definiuje ilość materiału wsadowego bilansującego zalecony poziom zasadowości mieszanki wsadowej. Autor proponuje modyfikację linii dozującej i weryfikuje w warunkach przemysłowych skuteczność proponowanego rozwiązania poprzez analizę statystyczną procesu, wyznaczając ilość materiału zdefiniowanego poza normą. Pan mgr inż. Robert Szuda trafnie analizuje zwilżalność materiałów wsadowych przeznaczonych do procesu granulacji w mieszalniku bębnowym. Proces wchłaniania wody przez materiał metalonośny jest kluczowy dla uzyskania odpowiedniej granulacji materiału wsadowego i wiązania drobnych frakcji siarczkowych i tlenkowych. Metodą wzniesienia kapilarnego Autor dysertacji skutecznie określa które materiały wsadowe są łatwo zwilżane. W kolejnym etapie badawczym Autor projektuje własne innowacyjne rozwiązanie dyszy zraszającej i wykonuje testy laboratoryjne określając kąt rozwarcia strugi zraszającej w kontekście skutecznej penetracji medium nawilżającego mieszankę wsadową. Najskuteczniejszą w trakcie testów laboratoryjnych dyszę Autor pracy skaluje do warunków przemysłowych i testuje w trakcie rzeczywistego procesu przemysłowego. Stosując analizę statystyczną Pan mgr inż. Robert Szuda potwierdza, że zaprojektowana modyfikacja zraszacza w mieszalniku bębnowym poprawia poziom wilgotności mieszanki wsadowej. Ostatecznie Autor dysertacji opracowuje metodykę

zagospodarowania pyłów cynkonośnych w postaci brykietów, dobierając odpowiedni skład mieszanki, typ lepiszcza jak i metodę brykietowania.

Podsumowując część doświadczalną pracy doktorskiej, stwierdzam, że jest to rzetelne opracowanie naukowe realizowane głównie w warunkach przemysłowych, szczególnie uciążliwych, jakim jest wydział aglomerowni. Na podstawie przedstawionych wyników badań Autor dysertacji definiuje kluczowe zalecenia i precyzyjnie wkomponowuje je do cyklu produkcyjnego wnosząc oryginalny wkład do obszaru inżynierii cynku, łącząc ze sobą zagadnienia metalurgii ekstrakcyjnej, mechaniki płynów oraz organizacji i planowania. Uzyskane wyniki potwierdzają gotowość Autora dysertacji do samodzielnego prowadzenia badań. Krytyczna ocena dobranych metod poznawczych i otrzymanych wyników potwierdza dojrzałość Autora rozprawy doktorskiej.

W recenzji odnoszącej się do części tajnej dysertacji oceniono potencjał aplikacyjny uzyskanych wyników potwierdzając ich wysoki poziom gotowości technologicznej i wskazując obszary, które powinny być doprecyzowane w trakcie publicznej obrony. Szczegółowe pytania odnoszące się do tych kwestii zostały zawarte w części tajnej recenzji pracy doktorskiej, w której poproszono, aby Pan mgr inż. Robert Szuda odpowiedzi na powyższe pytania udzielił podczas publicznej obrony pracy doktorskiej.

4. Wniosek końcowy

Na podstawie przedstawionej do oceny pracy doktorskiej Pana mgr inż. Roberta Szudy, stwierdzam, że dysertacja spełnia wymogi ustawy, a uzyskane wyniki w zakresie analizy i optymalizacji ciągu technologicznego mieszanki wsadowej w procesie spiekania materiałów cynkonośnych stanowią oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i potwierdzają ogólną wiedzę teoretyczną Pana mgr inż. Roberta Szudy w dyscyplinie naukowej Inżynieria Materiałowa oraz umiejętność Pana mgr inż. Roberta Szudy do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Mając na uwadze wytyczne przedstawione w ustawie z dnia 20 lipca 2018 *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* wnoszę o dopuszczenie Pana mgr inż. Roberta Szudy do publicznej obrony pracy doktorskiej.

Cwudzinski Adam