

Recenzja pracy doktorskiej

Adama Pietrzaka

pod tytułem „**Podstawy teoretyczne i technologiczne doboru optymalnych sposobów regeneracji zużytych mas rdzeniowych i wykorzystania regeneratu w warunkach Hüttenes-Albertus Polska w Lublinie**”

przygotowanej pod kierunkiem:

prof. dr hab. inż. Rafał Dańko

(imię i nazwisko promotora)

1. Podstawa opracowania

Recenzja została wykonana na zlecenie Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie.

Podstawa prawna art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (z późn. zm.)

Opinia dotycząca przedmiotowej rozprawy doktorskiej zawiera trzy elementy:

- 1) Ocenę wraz z uzasadnieniem czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta w dyscyplinie inżynieria materiałowa;
- 2) Ocenę wraz z uzasadnieniem czy rozprawa doktorska wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Doktoranta ubiegającego się o nadanie stopnia doktora;
- 3) Ocenę wraz z uzasadnieniem czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

2. Charakterystyka i opis rozprawy

I. Ocena wyboru tematu rozprawy

Przemysł odlewniczy generuje znaczne ilości odpadów w postaci zużytych mas formierskich i rdzeniowych. Masowe zużycie naturalnych surowców, jakim jest piasek kwarcowy, prowadzi do wzrostu ich kosztów, zwiększenia ilości odpadów przemysłowych oraz konieczności spełnienia coraz bardziej restrykcyjnych norm środowiskowych (dyrektywy UE, BAT – Best Available Techniques, itp.). W tym kontekście regeneracja

zużytych mas rdzeniowych stanowi strategiczny kierunek rozwoju technologii produkcji rdzeni, zorientowany na minimalizację odpadów i zamknięcie obiegu materiałowego. Chociaż tematyka recyklingu mas formierskich była już poruszana w badaniach naukowych, to regeneracja nieprzepalonych mas rdzeniowych, zorientowana na zakład o tak specyficznej strukturze produkcyjnej jak Hüttenes-Albertus Polska w Lublinie, jest obszarem niedostatecznie rozpoznany.

Podstawą podjętej przez Autora problematyki jest rzeczywista potrzeba produkcyjna zgłoszona przez Hüttenes-Albertus Polska w Lublinie, ukierunkowana na opracowanie technologii regeneracji masy rdzeniowej dla jej warunków produkcyjnych, zaprojektowanie i zbudowanie instalacji do regeneracji oraz ocenę efektywności tego rozwiązania w praktyce. Z perspektywy strategii rozwoju polskiego przemysłu odlewniczego, temat ten bezpośrednio wspiera cele polityki surowcowej państwa, koresponduje z potrzebą modernizacji technologii w średnich i dużych zakładach produkcyjnych oraz stanowi potencjalne źródło wiedzy i rozwiązań dla całego sektora producentów rdzeni, a nie tylko dla jednego zakładu.

Wybór tematu przez Autora z naukowego punktu widzenia wnosi wkład w rozwój wiedzy z zakresu procesów regeneracji materiałów odlewniczych i analizy ich właściwości fizykochemicznych. Z technologicznego punktu widzenia umożliwia dobór i optymalizację metod regeneracji dla konkretnych warunków produkcyjnych i koresponduje z globalnymi trendami związanymi z gospodarką o obiegu zamkniętym. Natomiast aspekt praktyczny pracy dotyczy wdrożenia rzeczywistego rozwiązania przemysłowego z wymiernymi korzyściami ekonomicznymi i środowiskowymi. Treść i zakres pracy w pełni wpisuje się w dyscyplinę naukową inżynieria materiałowa.

II. Ogólna charakterystyka i ocena formalna pracy

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska liczy 168 stron, na które składają się spis treści, wykaz ważniejszych oznaczeń, wstęp, analiza literaturowa poruszająca trzy tematycznie powiązane z pracą zagadnienia, tezy i cele pracy, dwa obszernie rozdziały badań własnych, podsumowanie i wnioski końcowe, spis literatury, spis tabel, spis rysunków oraz streszczenie w języku polskim i angielskim. W pracy zamieszczono 24 tabele, 2 wzory oraz 83 rysunki. Analiza literaturowa obejmuje 107 pozycji.

Praca rozpoczyna się wstępem przybliżającym czytelnika z problematyką rozprawy. Kolejne dwa rozdziały to przegląd literatury dotyczący ogólnej charakterystyki procesu regeneracji mas zużytych w zakresie badań i rozwoju, urządzeń stosowanych w typowych metodach regeneracji, przemysłowych technologii regeneracji mas, metod oceny jakości regeneratu. Następny rozdział poświęcono charakterystyce systemu produkcji rdzeni w Hüttenes-Albertus Polska w Lublinie, co jest zrozumiałe z uwagi na fakt, że rezultaty pracy są przedmiotem wdrożenia w tym zakładzie. Na podstawie analizy literatury oraz warunków produkcyjnych zakładu HA Polska stwierdzono, że najbardziej przydatna będzie sucha, mechaniczna metoda regeneracji mas. Część teoretyczną, przedstawioną na 66 stronach, zakończono określeniem tez oraz celów pracy. Uważam, że część teoretyczna zawiera starannie dobrane treści, precyzyjnie wprowadzając czytelnika w problematykę rozprawy.

Dalsza część pracy obejmująca badania własne jest podzielona na trzy główne etapy, obejmujące badania laboratoryjne, półprzemysłowe oraz przemysłowe. Na wstępie przedstawiono program badań własnych oraz na podstawie charakterystyki systemu wytwarzania rdzeni w HA Polska w Lublinie opisano skład i rodzaj zużytej masy, która będzie stosowana we wszystkich etapach badań. Następny podrozdział poświęcono badaniom laboratoryjnym z zastosowaniem regeneratora doświadczalnego RD-6 oraz aparatury naukowo-badawczej, będących na wyposażeniu Wydziału Odlewnictwa AGH w Krakowie. Przeprowadzono modelową analizę procesu regeneracji zmieniając prędkość obrotową wirników regeneratora oraz czas regeneracji, a otrzymany regenerat poddano badaniom strat prażenia, analizie granulometrycznej, badaniom wytrzymałości na zginanie, pomiarowi pH, zawartości pyłów, badaniom gazotwórczości. Kolejny podrozdział to badania procesu regeneracji masy zużytej w regeneratorze półprzemysłowym REGMAS zmieniając siłę wymuszającą drgania, częstotliwość pracy silników elektrowibracyjnych oraz dodatkowych elementów krusząco-ścierających, a otrzymany regenerat poddano badaniom strat prażenia, badaniom wytrzymałości na zginanie, pomiarowi pH, zawartości pyłów. Na ich podstawie potwierdzono możliwość zastosowania regeneratu do przygotowania mas rdzeniowych w technologii cold-box. Uzyskane wyniki badań laboratoryjnych oraz półprzemysłowych były podstawą opracowania wytycznych do projektu systemu regeneracji zużytych, nieprzepalonych mas rdzeniowych. W oparciu o te wytyczne opracowano kompleksowy projekt przemysłowego systemu regeneracji zużytych mas w HA Polska w Lublinie, umożliwiającego odzysk osnowy kwarcowej stosowanej w produkcji rdzeni w technologiach shell i cold-box. System ten scharakteryzowano w kolejnym podrozdziale, opisując proces regeneracji wstępnej, następnie właściwej, metody dystrybucji regeneratu, urządzenia wchodzące w jej skład oraz układy sterujące automatyką. Kolejny, najbardziej obszerny rozdział dotyczy badania procesu regeneracji masy zużytej w systemie przemysłowym, realizowanym w warunkach zakładu HA Polska w Lublinie. Przeprowadzono badania wstępne oraz długookresowe regeneratu uzyskanego w instalacji przemysłowej. Na podstawie badań wstępnych wykorzystania regeneratu po procesie regeneracji określono maksymalny stopień jego dodatku do świeżej osnowy w procesie przygotowywania masy rdzeniowej w technologii cold-box, który znacząco nie wpływa na obniżenie właściwości użytkowych rdzeni. Wykonano badania długookresowe jakości regeneratu w HA Polska w Lublinie w aspekcie wymagań jakościowych produkowanych rdzeni dla klientów. Wachlarz badań rozszerzono o mikroskopię elektronową wraz z mikroanalizą składu chemicznego, badając morfologię ziaren regeneratu oraz skład chemiczny powierzchni ziaren i pyłów generowanych w procesie regeneracji mechanicznej. Wyniki tych badań potwierdziły możliwość utylizacji 100% regeneratu, nie obniżając jakości produkowanych rdzeni. Rozdział dotyczący badań przemysłowych zakończono podsumowaniem wyników badań. Zasadniczą część pracy Autor zakończył podsumowaniem i wnioskami końcowymi, które są odpowiedzią na postawione tezy pracy. Część badawczą rozprawy, zawierającą szeroki zakres badań laboratoryjnych, półprzemysłowych oraz przemysłowych z zastosowaniem odpowiednio dobranych metod badawczych oraz analizę wyników oceniam jako bardzo dobrą.

Rozprawa doktorska napisana jest poprawnie merytorycznie i zrozumiałym językiem, a zastosowana terminologia techniczna jest właściwa. Praca jest

dobrze zredagowana i zawiera tylko nieliczne usterki edytorskie oraz błędy stylistyczne, nie wpływające na jej pozytywną ocenę. Podsumowując, opiniowana rozprawa doktorska spełnia wymagania formalne, zwyczajowo przyjęte dla tego typu prac naukowych.

III. Ocena rozprawy doktorskiej

Przedmiotem dysertacji przedstawionej do recenzji było opracowanie podstaw teoretycznych oraz technologicznych w zakresie doboru optymalnych sposobów regeneracji zużytych, nieprzepalonych mas rdzeniowych, celem ponownego wykorzystania odzyskanej osnowy w procesie wytwarzania rdzeni odlewniczych w warunkach produkcyjnych Hüttenes-Albertus Polska w Lublinie. Badania prowadzono dla zużytych, nieprzepalonych mas rdzeniowych pochodzących z technologii cold-box oraz Croning'a, wykonywanych z zastosowaniem tej samej osnowy kwarcowej 1K 0,20/0,315/0,16.

Rozprawa doktorska ma znaczenie naukowe w zakresie poznania wpływu wybranych czynników technologicznych mechanicznego procesu regeneracji zużytej, nieprzepalanej masy rdzeniowej, charakteryzującej się brakiem degradacji termicznej organicznych komponentów na właściwości fizykochemiczne uzyskanego w warunkach przemysłowych regeneratu.

Prace badawcze miały na celu opracowanie najbardziej korzystnych parametrów technologicznych procesu mechanicznej regeneracji zużytej, nieprzepalanej masy rdzeniowej w warunkach zakładu Hüttenes-Albertus Polska w Lublinie, ocenę możliwości wykorzystania regeneratu w procesie produkcyjnym przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej jakości produkowanych rdzeni oraz opracowanie wytycznych dotyczących efektywnego zarządzania procesem regeneracji.

Autor dysertacji sformułował dwie tezy pracy. W tezie pierwszej założył, że wykorzystując metody abrazyjne zachodzące w procesie regeneracji mechanicznej istnieje możliwość odzysku osnowy kwarcowej z mieszaniny odpadów niebezpiecznych, stanowiących rdzenie wybrakowane, pochodzące z technologii cold-box oraz Croning, przybliżając Zakład Hüttenes-Albertus Polska w Lublinie do zasad Gospodarki Obiegu Zamkniętego. W tezie drugiej Autor założył możliwość stosowania odzyskanej w trakcie regeneracji mechanicznej osnowy kwarcowej do przemysłowego wytwarzania rdzeni w technologii cold-box. Założył również, że na podstawie badań można określić maksymalny, dopuszczalny udział odzyskanej osnowy kwarcowej w recepturze sporządzania masy rdzeniowej z technologii cold-box.

Uważam, że tezy zostały sformułowane poprawnie, dobrze wskazują obszar badawczy do udowodnienia oraz stanowią nowe podejście do rozwiązania przedmiotowego zagadnienia w skali przedsiębiorstwa, a realizowany w ramach doktoratu wdrożeniowego projekt ma innowacyjny charakter.

Dla udowodnienia postawionych tez oraz realizacji celów pracy, Doktorant zrealizował szeroki zakres prac badawczych o charakterze interdyscyplinarnym, obejmujących:

1. Badania laboratoryjne dotyczące regeneracji mieszaniny mas zużytych w regeneratorsze RD-6, mające na celu określenie wpływu zmiennej prędkości obrotowej wirników regeneratora oraz czasu regeneracji na wybrane parametry technologiczne

regeneratu (straty prażenia regeneratu oraz pyłu generowanego w procesie regeneracji, zawartość pyłów powstających w procesie regeneracji, analiza granulometryczna przed i po procesie klasyfikacji końcowej, wytrzymałość masy rdzeniowej wykonanej w technologii cold-box z wykorzystaniem regeneratu jako pełnego lub częściowego substytutu świeżego piasku kwarcowego, odczynnik pH oraz gazotwórczość).

2. Badania półprzemysłowe dotyczące regeneracji mieszaniny mas zużytych w regeneratorsie REGMAS, mające na celu określenie wpływu zmiennej siły wymuszającej drgania, częstotliwości pracy silników elektrowibracyjnych oraz dodatkowych elementów krusząco-ścierających na wybrane parametry technologiczne regeneratu (straty prażenia, wytrzymałość na zginanie, odczynnik pH, zawartości pyłów).
3. Wstępne badania przemysłowe dotyczące regeneracji mieszaniny mas zużytych w nowo powstałym systemie do regeneracji w zakładzie HA Polska w Lublinie, mające na celu określenie wpływu wysokości wypełnienia regeneratora użytą masą na wybrane parametry technologiczne regeneratu (straty prażenia, odczynnik pH regeneratu, analiza sitowa, zawartość pyłów w regeneracie) oraz określenie maksymalnego progu dodatku regeneratu do świeżej osnowy w procesie przygotowywania masy rdzeniowej w technologii cold-box, nie wpływającego na obniżenie właściwości użytkowych rdzeni.
4. Badania przemysłowe długookresowe dotyczące systemu do regeneracji mieszaniny mas zużytych w HA Polska w Lublinie, mające na celu sprawdzenie właściwości fizykochemicznych regeneratu po kilku miesiącach jego użytkowania. Oceniano straty prażenia, gazotwórczość, średnią wielkość ziarna d_{50} . Z zastosowaniem mikroskopii elektronowej oceniano morfologię powierzchni ziaren po procesie regeneracji.

Szeroki zakres badań laboratoryjnych, półprzemysłowych oraz przemysłowych wykonany w pracy doktorskiej świadczy o dobrym rozeznaniu Autora dysertacji w tematyce dotyczącej wpływu czynników technologicznych oraz parametrów procesu regeneracji zużytych, nieprzepalonych mas rdzeniowych na właściwości fizykochemiczne regeneratu oraz metodyce ich badań. Należy podkreślić, że badania eksperymentalne zostały starannie zaplanowane oraz wykonane, a wyniki badań zostały przedstawione w sposób systematyczny. Kolejny etap prowadzonych badań z części badawczej wynikał z otrzymanych wyników badań uzyskanych z poprzedniego etapu. Świadczy to o konsekwencji w prowadzeniu badań, systematyczności oraz umiejętności planowania eksperymentów, celem rozwiązania pojawiających się problemów naukowych. Analiza otrzymanych wyników badań przemysłowych, poprzedzona analizą teoretyczną oraz badaniami modelowymi i półprzemysłowymi w zakresie regeneracji zużytych, nieprzepalonych mas rdzeniowych, pozwoliła Doktorantowi na sformułowanie 7 wniosków. Opracowane wnioski są trafne i wynikają z uzyskanych wyników badań. Świadczą również o szerokiej wiedzy teoretycznej oraz praktycznej Autora z zakresu inżynierii materiałowej w obszarze technologii odlewnictwa, w zakresie regeneracji mas rdzeniowych oraz potwierdzają słuszność założonych tez.

Do najważniejszych osiągnięć pracy należy uznać:

- 1) Określenie wpływu zmiennej prędkości obrotowej wirników regeneratorsa oraz czasu regeneracji na wybrane parametry technologiczne regeneratu.

- 2) Określenie wpływu zmiennej siły wymuszającej drgania, częstotliwości pracy silników elektrowibracyjnych oraz dodatkowych elementów krusząco-ścierających na wybrane parametry technologiczne regeneratu.
- 3) Określenie wpływu wysokości wypełnienia regeneratora przemysłowego użytą masą rdzeniową na wybrane parametry technologiczne regeneratu.
- 4) Określenie maksymalnego progu dodatku regeneratu do świeżej osnowy w procesie przygotowywania masy rdzeniowej w technologii cold-box, nie wpływającego na obniżenie właściwości użytkowych rdzeni.
- 5) Wykazanie, że parametry realizacji procesu przemysłowego regeneracji, dla którego uzyskano maksymalną skuteczność regeneracji, nie powodują niekorzystnego zjawiska kruszenia osnowy.
- 6) Opracowanie wytycznych do nowej instalacji przemysłowej dla realizacji procesu regeneracji mieszaniny zużytych, nieprzepalonych mas rdzeniowych w zakładzie Hüttenes-Albertus Polska w Lublinie.

Sposób realizacji założonego celu pracy, zastosowane metody badawcze oraz sposób realizacji wieloetapowych badań eksperymentalnych oceniam pozytywnie. Autor jest bardzo dobrze zorientowany w poruszanej problematyce dotyczącej wpływu wybranych czynników technologicznych mechanicznego procesu regeneracji zużytej, nieprzepalanej masy rdzeniowej, charakteryzującej się brakiem degradacji termicznej organicznych komponentów na właściwości fizykochemiczne uzyskanego w warunkach przemysłowych regeneratu. Stanowi to ważny element w technologii odlewnictwa w zakresie regeneracji mas rdzeniowych. Rozprawa doktorska ma znaczenie naukowe w zakresie rozszerzenia wiedzy dotyczącej regeneracji mechanicznej zużytej, nieprzepalanej, trudno regenerującej się masy rdzeniowej. Należy również podkreślić, że w oparciu o wyniki badań przedstawionej do recenzji rozprawy mgr. inż. Adama Pietrzaka, została zaprojektowana oraz zbudowana instalacja przemysłowa do regeneracji zużytych, nieprzepalonych mas rdzeniowych w zakładzie Hüttenes-Albertus Polska w Lublinie.

Dokonując podsumowania merytorycznej strony opiniowanej rozprawy stwierdzam, że jej osiągnięciem naukowym jest rozszerzenie wiedzy na temat problematyki dotyczącej zagadnień związanych z procesem mechanicznej regeneracji zużytej, nieprzepalanej masy rdzeniowej, charakteryzującej się brakiem degradacji termicznej organicznych komponentów, w aspekcie optymalizacji technologii regeneracji oraz ograniczenia negatywnego wpływu procesów odlewniczych na środowisko, poprzez praktycznie całkowite wyeliminowanie niebezpiecznych odpadów oraz zmniejszenie zużycia surowców naturalnych w zakładzie Hüttenes-Albertus Polska w Lublinie. Wyniki badań mają duże znaczenie praktyczne i wnoszą nową wiedzę w teorię i praktykę regeneracji mas rdzeniowych.

IV. Uwagi szczegółowe i pytania

Powyżej przedstawiono pozytywną ocenę formalną oraz merytoryczną rozprawy doktorskiej. Nieliczne usterki edytorskie oraz błędy stylistyczne zostały przekazane

i omówione z Autorem rozprawy. Poniżej przedstawiam uwagi i sugestie do uwzględnienia przy kolejnych opracowaniach oraz pytania do Autora dysertacji.

1. Uwaga do pracy. W badaniach laboratoryjnych z zastosowaniem wspomnianego regeneratora otrzymany regenerat poddano badaniom strat prażenia, zawartości pyłów, analizie granulometrycznej, badaniom wytrzymałości na zginanie. Brak jest informacji o aparaturze naukowo-badawczej lub metodyce badań. W niektórych przypadkach wystarczyło powołać się na stosowne normy, które ujmują metodykę badań.
2. Uwaga do pracy. Str. 89-90. Charakterystyka urządzenia REGMAS. Opis działania urządzenia byłby bardziej zrozumiały, gdyby zamiast zdjęcia stanowiska Autor przedstawił jego schemat ideologiczny.
3. Uwaga do pracy. Str. 114. Rys. 65 przedstawia widok brył masy zużytej po procesie wstępnej regeneracji. Zamieszczenie jednostki długości (skali) na zdjęciach pozwoliła by na realną ocenę wielkości brył zużytej masy.
4. Uwaga do pracy. Str. 119. Autor pisze, że „*pH świeżego piasku kwarcowego używanego do produkcji rdzeni w HA Polska wynosiło 7,09*” – tego wyniku nie zamieszczono na wykresie.
5. Uwaga do pracy. Tabele 20-24 – Autor nie podaje, czy skład chemiczny poszczególnych pierwiastków to zawartość masowa czy atomowa. Wyniki badań mikroanalizy składu chemicznego nie zostały skomentowane.
6. Pytanie do Autora. W badaniach procesu regeneracji mechanicznej z zastosowaniem regeneratora laboratoryjnego RD-6 przyjęto trzy wartości prędkości obrotowych zespołu wirnika. Wynosiły one 270 obr./min, 540 obr./min, 810 obr./min. Czym się Autor kierował przyjmując takie, a nie inne wartości prędkości?
7. Pytanie do Autora. Badania półprzemysłowe prowadzono z zastosowaniem regeneratora REGMAS bez dodatkowych elementów ściernych oraz przy ich obecności w komorze regeneratora. Fizyka oddziaływania luźnych elementów metalowych w postaci kul (nie podano ich wielkości i ilości) jest inna, w porównaniu do oddziaływania wibracyjnego. Jaki cel przyświecał takim badaniom, skoro w regeneratorze przemysłowym nie zastosowano takiego rozwiązania?
8. Pytanie do Autora. Tabela 23, str. 141. Jak wytłumaczyć wysoką zawartość węgla w osnowie ziarnowej po procesie regeneracji właściwej po 4 miesiącach pracy instalacji przemysłowej, która jest trzykrotnie większa od osnowy uzyskanej na starcie instalacji przemysłowej (tabela 22)? Czy oznacza to znaczny spadek efektywności procesu regeneracji już po czterech miesiącach pracy instalacji? Kontynuując wątek, w tabeli 24 zawartość węgla dla pyłów jest zbliżona jak dla regeneratu na początku uruchomienia instalacji przemysłowej. Czy pył pochodzący z procesu regeneracji nie powinien zawierać więcej węgla od regeneratu?

3. Wniosek końcowy

Praca przedstawia oryginalne opracowanie zagadnienia mającego znaczenie naukowe i potencjał aplikacyjny, w której Doktorant wykazał wiedzę z zakresu przedmiotu pracy i umiejętności planowania, prowadzenia wieloetapowych badań eksperymentalnych, właściwego doboru technik badawczych oraz formułowania prawidłowych wniosków w oparciu o uzyskane wyniki. Autor dysertacji osiągnął założony cel pracy, a uzyskane wyniki badań wnoszą oryginalny wkład naukowy i praktyczny w teorię i praktykę regeneracji mas rdzeniowych.

Podsumowując stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Adama Pietrzaka pt. „Podstawy teoretyczne i technologiczne doboru optymalnych sposobów regeneracji zużytych mas rdzeniowych i wykorzystania regeneratu w warunkach Hüttenes-Albertus Polska w Lublinie” spełnia wymagania określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (z późn.zm.) i wnioskuję o jej dopuszczenie do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria materiałowa.



.....
(podpis recenzenta)