

RECENZJA

pracy doktorskiej

Pana mgra inż. Mateusza Skrzyńskiego

pt. „Analiza fazy wstępnej i właściwej cyklu roboczego uniwersalnego regeneratora wibracyjnego typu Regmas ”

opracowana na zlecenie Rady Wydziału Odlewnictwa Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie (pismo dr hab. inż. Rafała Dańko, prof. nzw w AGH, Dziekana Wydziału Odlewnictwa Akademii Górniczo-Hutniczej z dnia 27.07.2017r.)

Obecnie na świecie produkuje się ponad 104 mln. ton odlewów. W Polsce produkcja odlewów w 2015 roku wynosiła 1,062 mln. ton. Analizując profil wytwarzanych odlewów na świecie można stwierdzić, że ok. 45% stanowi żeliwo szare, 25% żeliwo sferoidalne, 10% staliwo i około 16% stopy aluminium, a w Polsce żeliwo szare to ok. 46%, żeliwo sferoidalne 15%, staliwo 5% i stopy aluminium to 31%. Większość odlewów wykonywana jest w formach jednorazowych. Dotyczy to szczególnie stopów żelaza. W zależności od kształtu odlewu, stopu z którego jest wykonywany, dysponowanej w odlewni wielkości skrzynek na 1 kilogram odlewów zużywa się od kilku do kilkunastu kilogramów masy formierskiej. Powoduje to, że koniecznością wynikającą przede wszystkim ze względów ekologicznych ale i ekonomicznych jest zachowanie jak największej ilości masy w obiegu. Jest to możliwe tylko i wyłącznie przy dobrze dobranej dla danej masy metody regeneracji oraz odpowiednim doborze określonych parametrów tego procesu.

Podjęta więc w opiniowanej pracy tematyka regeneracji wstępnej i właściwej mas formierskich i rdzeniowych jest bardzo trafna i ważna nie tylko ze względów naukowych ale również użytkowych. Tytuł pracy „Analiza fazy wstępnej i właściwej cyklu roboczego uniwersalnego regeneratora wibracyjnego typu Regmas” odpowiada treści i zagadnieniom podjętym i analizowanym w pracy.

Praca napisana jest na 181 stronach w klasycznym dla tego typu rozpraw układzie. Obejmuje ona w początkowej części analizę literatury, następnie charakterystykę problemu naukowego, cel i tezy pracy oraz część badań własnych zawierającą regenerację wstępną na stanowisku modelowego zespołu wibracyjnego, regenerację właściwą w regeneratorsze typu Regmas, obliczenia energochłonności regeneracji wstępnej i właściwej, podsumowanie i wnioski końcowe. Całość zamyka 10 załączników i spis cytowanej literatury.

Analizując graficzną i edycyjną stronę pracy stwierdzam, że napisana jest dobrze. Występują tylko nieliczne błędy edycyjne (literowe). Rysunki na ogół wykonane są czytelnie i estetycznie (poza rys. 47 a i b przedstawiającym „schemat mechaniczny zespołów uniwersalnego regeneratora liniowego Regmas”. Ze względu na mały rozmiar rysunków są one

nieczytelne). Podobnie jest z rys. 55, 59, przedstawiającymi wyniki analizy EDS, gdzie opisy osi są za małe. Ponadto, w niektórych przypadkach zbyt długie zdania utrudniają ich zrozumienie.

Przegląd literatury obejmuje następujące zagadnienia: Systemy regeneracji mas zużytych w tym zasady doboru efektywnych systemów regeneracji, Mechanizm uwalniania ziaren osnowy z otoczek zużytego materiału wiążącego, Hipotezy energetyczne procesu rozdrabniania brył masy, Doświadczalny sposób określania powierzchni właściwej osnowy, Analizę jakości zregenerowanej osnowy oraz oddziaływanie mas zużytych na otoczenie. Moim zdaniem ta część pracy zrobiona jest dobrze. Doktorant wykazał, że podjęta tematyka jest bardzo aktualna, o czym świadczą najnowsze publikacje naukowe w wielu renomowanych czasopismach. Przegląd literatury został przeprowadzony na podstawie 121 artykułów i referatów konferencyjnych. Pięć z nich jest współautorstwa Doktoranta. 44 pozycje literaturowe pochodzą z okresu 2005-2017, co jest z pewnością bardzo dobrym wskaźnikiem i świadczy o aktualności podjętej tematyki badań. Ponadto należy zaznaczyć, że większość zacytowanej literatury pochodzi z czasopism znajdujących się na liście A lub B Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Pewien niedosyt budzi fakt, że w kilku miejscach doktorant wymienia metodę regeneracji pneumatycznej nie powołując się na żadne publikacje dr inż. Henryka Szlumczyka czy Prof. Zbigniewa Piątkiewicza z Katedry Odlewnictwa Politechniki Śląskiej. Ich publikacje obejmowały zagadnienia regeneracji pneumatycznej, budowę regeneratora liniowego i ścierno udarowego, parametry przepływowe oraz energetyczne aspekty regeneracji w układach pneumatycznych. W podsumowaniu przeglądu literatury Pan mgr inż. Mateusz Skrzyński stwierdza, że dotychczas stosowana metodyka i badania oceny efektywności procesu i energochłonności regeneracji mechanicznej pozwalają na całościową jej ocenę, bez rozdzielania na efekty wnoszone przez regenerację wstępną i właściwą. Zgadzam się z Doktorantem, że są to ważne zagadnienia w aspekcie poszukiwania bardziej efektywnych rozwiązań procesu regeneracji.

Dalsza część pracy obejmuje badania własne. Celem opiniowanej pracy (zamierzeniem badawczym jak określa to Autor) jest doskonalenie procesów obróbczych regeneracji suchej mechanicznej przez analizę wpływu parametrów roboczych zespołów funkcjonalnych uniwersalnego regeneratora wibracyjnego na przebieg procesu regeneracji i jakość regeneratu. Szczegółowe cele proponowanych badań obejmują: Analizę czynników od których zależy skuteczność rozdrabniania brył masy za pomocą urządzenia wibracyjnego, wykazanie roli etapu regeneracji wstępnej na efekt końcowy w urządzeniach do regeneracji mechanicznej wykazujących analogiczny tryb obróbki jak w regeneratorze Regmas oraz ocenę badania regeneracji właściwej pod kątem wpływu na efekt końcowy elementów kruszących umieszczonych w przestrzeni regeneratora Regmas.

Moim zdaniem założone cele pracy są dobrze sprecyzowane i jest widoczne przyporządkowanie poszczególnych etapów badań do realizacji wcześniej wyznaczonych celów. To samo dotyczy też pracy, które brzmią następująco:

1. Badania prowadzone na modelowym urządzeniu wibracyjnym, zachowującym warunki podobieństwa fizycznego, geometrycznego i procesowego pozwalają na jakościowe oraz ilościowe określenie czynników, od których zależy skuteczność procesu rozdrabniania brył

masy i na wykazanie roli regeneracji wstępnej oraz jego wpływu na efekt końcowy w urządzeniach regeneracji mechanicznej, wykazujących analogiczny tryb obróbki regeneracyjnej do występującego w rozwiązaniu typu Regmas.

2. W rozwiązaniach uniwersalnych regeneratorów wibracyjnych, integrujące wszystkie formy oddziaływania regenerującego na zużytą osnowę, można uzyskać intensyfikację regeneracji właściwej przez wymuszenie właściwej cyrkulacji oraz wprowadzenie dodatkowych elementów krusząco-ścierających w przestrzeni buforowej urządzenia.
3. W porównywalnych warunkach superpozycji trzech elementarnych oddziaływań regeneracyjnych wywierających na osnowę efekt jej degradacji mechanicznej, polegający na przesunięciu w stronę mniejszych wartości klas ziarnowych i wskaźnika kształtu, zachodzi bardziej intensywnie dla czystych ziaren piasku pozbawionych otoczki materiału wiążącego, która dla tych oddziaływań stanowi warstwę quasiochronną. W tym przypadku ocena energochłonności procesu w sensie fizycznym może być najbardziej zbliżona za pomocą modelu Rittingera.

Kolejna część pracy (rozdział II) obejmuje badania własne Autora w zakresie „Badań regeneracji wstępnej na stanowisku modelowego zespołu wibracyjnego”. Na uwagę zasługuje fakt, iż są to stanowiska (do rozdrabniania i kruszenia oraz do zagęszczania) wykonane na bazie opracowań własnych Doktoranta. W pierwszej części rozdziału Doktorant opisuje budowę stanowiska oraz komputerowy system pomiaru i rejestracji drgań zespołu sit modelowych. Następnie prowadzi badania wartości przyspieszeń drgań na zadanych kierunkach pomiarowych X, Y, Z (bez obciążenia nadawą). Celem tych badań, poprzedzających badania procesu przesiewania było określenie przyspieszeń średniokwadratowych RMS sygnałów wibracji na kierunkach pomiarowych, uzyskiwanych w różnych miejscach urządzenia wibracyjnego oraz zespołu modelowego sit, przy częstotliwościach zasilania w zakresie 40-60Hz. Badania przeprowadzono dla 6 różnych zamocowań przetworników, a ich wyniki zamieszczono w formie wykresów i tabeli. Podobne badania przeprowadzono dla układu obciążonego nadawą. Uzyskane wyniki badań wykorzystano w jednym ze sposobów określania energii rozdrabniania masy zbrylonej w procesie regeneracji wstępnej.

W rozdziale II.6 Doktorant przedstawia przebieg i wyniki badań procesu rozdrabniania brył masy (regeneracji wstępnej) na zaproponowanym stanowisku modelowym. W pierwszym etapie Doktorant wykonał kształtki do badań z masy formierskiej składającej się z piasku kwarcowego, żywicy furfurylowej U404 i kwasu paratoluenosulfonowego 100T3, będącego utwardzaczem. Z masy tej wykonano kształtki o wymiarach 8x8x8 cm, które w różnej ilości (1, 9, 16) umieszczano na górnym pokładzie zestawu sit. Kształtki te bez procesu nagrzewania stanowiły masę referencyjną, natomiast pozostałe próbki wygrzewano w temperaturach 100, 200 i 300°C, oznaczone odpowiednio Masa 1, 2 i 3. Badania prowadzono w zakresie częstotliwości zasilania 40, 50 i 60 Hz dla czasów obróbki krusząco-przesiewającej w zakresie 5-30 min. z pomiarem ilości masy na poszczególnych sitach i na dnie co 5 minut. Jest to bardzo wartościowy fragment pracy, w którym Doktorant pozyskał bardzo dużą ilość ciekawych wyników, pozwalających na wnikliwą analizę procesu regeneracji wstępnej w urządzeniach wibracyjnych, które zamieścił w postaci tabel i wykresów. Ta część pracy jak i następne bez wątpienia pokazują, że Doktorant

potrafi prowadzić samodzielnie badania, umie opracować i analizować w logiczny sposób uzyskane wyniki badań i potrafi na ich podstawie wyciągać wnioski, co stanowi podstawowe kryterium pozytywnej oceny tego typu dysertacji. W trakcie lektury niniejszego rozdziału nasuwają się jednak pytania: „dlaczego badania regeneracji wstępnej prowadzono w zakresie czasów 5-30 minut”, podczas gdy proces regeneracji właściwej badano w czasie 5-15 minut?. W wielu przypadkach układy regeneracji wstępnej i właściwej stanowią powiązany system urządzeń lub jedno urządzenie, w którym w rzeczywistości ten czas regeneracji zamyka się maksymalnie w 10 minutach. Kolejne pytanie dotyczy temperatury wygrzewania masy formierskiej (odpowiednio 100, 200 i 300°C). Dlaczego tylko 300°C, gdzie stopień degradacji termicznej nie jest zbyt wysoki (R. Dańko, Model wytrzymałości samoutwardzalnych mas formierskich z żywicami syntetycznymi w aspekcie zintegrowanego procesu recyklingu osnowy, Monografia, 2012, tab. 23, rys. 54)? oraz skąd Doktorant uzyskał przedstawione na str. 80 i 91 wskaźniki dotyczące Masy 1, 2 i 3 odnośnie procentowego udziału danej masy w masie przeznaczonej do regeneracji?. Czy wynika to z własnych doświadczeń czy są to dane zaczerpnięte z literatury (jeżeli tak to brak jest cytowania)?. Nasuwa się również pytanie, dlaczego nie zastosowano do badań masy pozyskanej z przemysłu?, jak to uczyniono w procesie badawczym regeneracji właściwej.

Jakość masy po regeneracji wstępnej oceniono na podstawie wykonanej analizy sitowej i strat prażenia, określając liczbę i charakterystyczne średnice ziaren, teoretyczną powierzchnię ziaren oraz frakcję główną. Jest to powszechnie stosowany algorytm oceny jakości masy formierskiej i w opiniowanej pracy zostało to wykonane dobrze. Dodatkowo Doktorant zamieścił w formie załącznika arkusze pomiarowe 1-10, które stanowią szczegółowe źródło informacji o regenerowanej masie formierskiej.

Kolejny etap pracy obejmuje obliczenie energochłonności technologicznej regeneracji wstępnej. Doktorant przeprowadził pomiary mocy modelowego przesiewacza w różnych warunkach obciążenia nadawą przy różnych częstotliwościach zasilania silników układu wibracyjnego. Wykorzystując dane charakteryzujące regenerat po procesie regeneracji wstępnej (liczba i charakterystyczne średnice ziaren, powierzchnia właściwa) oraz wyniki przeprowadzonych pomiarów drgań zespołu modelowego i pomiarów mocy dokonał obliczeń energochłonności procesu dwoma sposobami. W jednym z nich Doktorant wykorzystał elementy hipotezy energetycznej Rittingera przedstawionej wcześniej w analizie literatury.

Kolejną wartościową częścią pracy jest rozdział III, w którym przeprowadzono badania regeneracji właściwej i ocenę destrukcji osnowy kwarcowej w regeneratorze typu Regmas. Na początku tego rozdziału, dla rozwiania wszelkich wątpliwości, Doktorant wyjaśnia, że zasadnicze badania prototypu urządzenia Regmas odbywały się w ramach projektu POIG, w którym to uczestniczył w formie wykonawcy. Kierownikowi projektu Panu Profesorowi Józefowi Dańko Doktorant podziękował za okazaną pomoc w realizacji pracy i stwierdził, że przedstawione w dysertacji badania zostały przeprowadzone po zakończeniu projektu i wymagały częściowej modernizacji urządzenia dla potrzeb założonych badań. Proces badawczy polegał na umieszczeniu 70 kilogramowych porcji badanego materiału (masy zużytej z żywicą furfurylową Permaset lub świeżego piasku kwarcowego) w komorze buforowej regeneratora,

uruchamianego w cyklu pracy 5, 10 i 15 minut (oznaczenie prób R1-R4). W ramach badań stosowano dwa sposoby obróbki badanego materiału. W pierwszym wprowadzona do centralnej części komory buforowej porcja materiału była poddana cyrkulacji okrężnej pod wpływem wibracji urządzenia i ruch materiału odbywał się wyłącznie wewnątrz komory w założonym czasie. Drugi sposób polegał na wprowadzeniu dodatkowo do komory żeliwne kule, stanowiące dodatkowe elementy krusząco-ścierające. Badania prowadzono na dwóch poziomach siły wymuszającej, a mianowicie 42% i 70%, dla częstotliwości zasilania odpowiednio 40, 50 i 60 Hz. Opracowany na rys. 48 program badań (zawarty również w tabeli 32) i przeprowadzone eksperymenty umożliwiły określenie wpływu częstotliwości zasilania elektrowibratorów, siły wymuszającej, czasu obróbki oraz dodatkowych elementów krusząco-ścierających na przebieg regeneracji właściwej oraz jakość otrzymanego produktu. Skład granulometryczny będący podstawą oceny regeneratu przeprowadzono na aparacie Analysette 22 Nano Tec, metodą oceny w środowisku wodnym. Przeprowadzono również pomiary strat prażenia oraz dokonano oceny morfologii powierzchni masy zużytej z wykorzystaniem skaningowego mikroskopu elektronowego, współpracującego z mikroanalizatorem rentgenowskim EDS. Uzyskane wyniki badań zamieszczono w formie tabel, wykresów, raportów z analizy granulometrycznej oraz obrazów morfologii powierzchni.

Na podstawie przeprowadzonych eksperymentów stwierdzono, że zarówno wzrost czasu regeneracji właściwej, zwiększenie częstotliwości, zwiększenie siły wymuszającej oraz zastosowanie elementów krusząco-ścierających powoduje wzrost ilości pyłów, które są jednym ze wskaźników charakteryzujących proces. Wzrost parametrów procesu regeneracji powoduje spadek strat prażenia i zmniejszenie współczynnika kształtu W_K (za wyjątkiem masy R4 po 10 i 15 minutach regeneracji). Na zdjęciach z mikroskopu skaningowego i analizach EDS Doktorant wykazał, że powstające pyły to starta z powierzchni ziaren otoczka żywicy. Pokazał również, że wzrost parametrów procesu powoduje w przypadku regenerowanej masy „zwiększanie” czystości ziaren piasku. W ramach realizacji pracy przeprowadzono badania regeneracji właściwej osnowy piaskowej przy parametrach analogicznych jak badano wcześniej regenerat (oznaczenie prób O1-O4). Na podstawie przeprowadzonych eksperymentów oraz oceny jakości piasku z wykorzystaniem analizy granulometrycznej stwierdzono, że przy niskich parametrach procesu ilość powstających pyłów jest mniejsza, co świadczy o niewielkim stopniu destrukcji ziaren osnowy. Potwierdzono to również określając wskaźnik kształtu. Stwierdzono, że prowadzenie procesu regeneracji właściwej przy maksymalnych parametrach (częstotliwość, wymuszenie, czas) oraz z zastosowaniem elementów krusząco-ścierających (osnowa O4) powoduje jej degradację (zwiększenie ilości pyłów oraz kruszenie i pękanie ziaren piasku). O ile pyły można usunąć w procesie klasyfikacji, to niszczenie ziaren pozostaje faktem nieodwracalnym.

Na podstawie przeprowadzonych badań zarówno masy regenerowanej jak również osnowy kwarcowej Doktorant proponuje zależności na ilość powstających pyłów w funkcji czasów regeneracji. Uzyskał on bardzo wysokie wartości współczynnika determinacji $R^2 = 87-97\%$, co świadczy o dobrym i bardzo dobrym dopasowaniu modelu. Uważam jednak, że w tego typu rozprawach należy analizę statystyczną rozszerzyć o takie parametry jak odchylenie

standardowe, poziom istotności czy test Fischera. Z pewnością da to pełniejszy obraz zaproponowanych zależności.

W rozdziale tym mam także uwagę dotyczącą stosowanych pojęć, a mianowicie „intensywna obróbka regeneracyjna” i „łagodna obróbka regeneracyjna”. Uważam, że są to stwierdzenia nieprecyzyjne (nietechniczne) i należy ich unikać w opisie przebiegu procesów technicznych.

W rozdziale IV pracy przedstawiono obliczenia „Zintegrowanej energochłonności regeneracji wstępnej i właściwej”. W oparciu o uzyskane dane obejmujące właściwości regenerowanej masy i piasku oraz pomiar mocy rzeczywistej na stanowisku pomiarowym, w formie tabeli przedstawiono schemat obliczania energochłonności. Zaproponowano liczby wyrażające zużycie energii niezbędnej do regeneracji właściwej i całościowej dla masy formierskiej oraz energii rozkruszania i ścierania w odniesieniu do piasku kwarcowego.

Całość pracy zamyka rozdział V, stanowiący Podsumowanie i wnioski końcowe. Przedstawiono w nim „streszczenie” kolejnych etapów badań i osiągniętych wyników. Należy zgodzić się z Doktorantem, że podstawowy cel pracy zmierzający do pogłębienia teoretycznych i praktycznych aspektów procesu regeneracji, poprzez odpowiednio sformułowane tezy, opracowaną metodykę badań, przygotowanie stanowisk, przeprowadzenie badań i analizę ich wyników, został osiągnięty. Na uwagę zasługuje duża ilość przeprowadzonych eksperymentów, których wyniki mają charakter zarówno naukowy jak i użytkowy. Doktorant przedstawił szereg ciekawych i wartościowych badań, które z pewnością są dobrym krokiem w kierunku opracowywania algorytmu obliczeń energochłonności regeneracji wstępnej i właściwej. Na podstawie tych badań i uzyskanych wyników, dla tego typu rozwiązań regeneracji mechanicznej, można przy konstruowaniu układów regeneracji dobrać tak jej parametry, aby była skuteczna i jednocześnie nie powodowała degradacji osnowy.

Przedstawione w mojej opinii uwagi i pytania należy traktować w większości przypadków bardziej jako przyczynek do wyjaśnienia przez Doktoranta zagadnień, które moim zdaniem nie do końca zostały w pracy dobrze opisane, niż uwagi krytyczne umniejszające walorom całej pracy. Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że praca doktorska Pana mgr inż. Mateusza Skrzyńskiego pt. „Analiza fazy wstępnej i właściwej cyklu roboczego uniwersalnego regeneratora wibracyjnego typu Regmas” spełnia wymagania stawiane przez Ustawę z dnia 18 marca 2011 r. o zmianie ustawy - Prawo o szkolnictwie wyższym, ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki oraz o zmianie niektórych innych ustaw, wobec czego wnioskuję do Rady Wydziału Odlewnictwa Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie o dopuszczenie Kandydata do publicznej obrony.

