

Katedra Inżynierii Materiałowej
Wydział Inżynierii Materiałowej i Fizyki
Politechnika Krakowska

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr. inż. Szymona Gądka

pt. „Wpływ dodatku zaprawy zawierającej bor oraz węgla na właściwości spiekanej ferrytycznej stali nierdzewnej AISI 434 L”

promotor rozprawy: prof. zw. dr hab. inż. Jan Kazior

wykonanej na zlecenie Rady Naukowej dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Krakowskiej z dnia 24 maja 2023 r. przedstawionej w piśmie Dziekana Wydziału Inżynierii Materiałowej i Fizyki dr hab. inż. Janusza Mikułę prof. PK (I-0.485.177.2023)

1. Aktualność przedmiotu rozprawy i rozpoznawalność naukowa mgr inż. Szymona Gądka

Metalurgia proszków niesie ze sobą wiele zalet. Przede wszystkim, dzięki niej można wytwarzać gotowe przedmioty o wymaganych wymiarach, bez obróbki wiórowej. Można dzięki temu zaoszczędzić czas i narzędzia. Analiza aktualnego stanu wiedzy na podstawie analizy literatury oraz przeprowadzone dotychczas badania pozwoliły sformułować poprawną tezę o celowości wprowadzenia odpowiedniej ilości dodatku mikroproszków boru oraz węgla do proszków ferrytycznej stali nierdzewnej AISI 434L, co pozwoli w wyniku procesu spiekana na uzyskanie twardości spieku co najmniej 370 HV i na poprawienie mechanicznych właściwości spiekanych wyrobów. Modyfikacja proszku stali ferrytycznej AISI 434L miała na celu zmianę jej struktury i zmniejszenie kosztów produkcji produktu końcowego. Podczas standardowego wykonywania elementów z proszków stali martenzytycznej producenci borykają się z podstawowym problemem, jakim jest twardość proszku martenzytycznej stali. Należy używać droższych metod prasowania, aby ukształtować taki element i wykonać wypraskę o odpowiedniej gęstości. W przypadku kształtowania stali ferrytycznej z dodatkami zmieniającymi finalną strukturę zaproponowano używanie tańszych metod prasowania

(prasowanie w sztywnej matrycy). Ponadto wykazano, iż dodatki stopowe wpłynęły na możliwość zmniejszenia temperatury spiekani, co również powoduje zmniejszenie kosztów wytworzenia finalnego wyrobu.

Tematyka rozprawy doktorskiej jest aktualna i istotna dla przemysłu metalurgii proszków Polsce. W ostatnich latach zaobserwowano wzrost zapotrzebowania różnych gałęzi przemysłu na wyroby ze stali odpornej na korozję. Dotychczas wykorzystywane w tym celu były stale austenityczne, niemniej jednak ze względu na dużą zawartość pierwiastków stopowych, a w szczególności niklu, stal ta jest cenowo mało konkurencyjna. Recenzowana rozprawa doktorska jest dziełem oryginalnym, zawierającym solidny komplet wyników badań eksperymentalnych.

Badania koncentrują się na odpowiednim doborze ilości zaprawy zawierającej bor oraz węgla dodawanego do bazowego proszku stali nierdzewnej w postaci grafitu. Bor powoduje zwiększenie gęstości, a węgiel wpływa korzystnie na strukturę materiału. Celem badań jest ustalenie optymalnego składu mieszanki proszku, który nada wyrobowi gotowemu pożądane cechy.

Dorobem naukowy publikacyjny i badawczy Autora jest poprawny, wynosi 11 artykułów z impact factorem przy liczbie Hircha wg. web of science i bazy Scopus 6 i oraz liczbie cytowań 97 wg. stanu na dzień 31 sierpnia 2023 r. Część artykułów nie pokrywa się z obszarem badawczym pracy doktorskiej, ale świadczy też to o wszechstronności Autora i możliwości realizacji prac badawczych z szerokiego zakresu tematyki dyscypliny Inżynieria Materiałowa.

2. Ogólna charakterystyka i ocena rozprawy doktorskiej

Oceniając merytoryczną stronę rozprawy należy stwierdzić, że jej tytuł „Wpływ dodatku zaprawy zawierającej bor oraz węgla na właściwości spiekanej ferrytycznej stali nierdzewnej AISI 434 L oddaje istotę zagadnień, którymi w pracy zajmował się Doktorant.

Oceniana rozprawa obejmuje 112 strony maszynopisu w tym 108 stron rozprawy oraz spis literatury, który zawiera 57 pozycje, przeważają cytowania z polskiej literatury, co jest pewnym mankamentem, ale świadczy też o znaczeniu metalurgii proszków w dyscyplinie Inżynieria Materiałów w Polsce. Praca ma typowy dla prac doktorskich układ obejmujący: opis wiedzy dotyczącej przedmiotu badań, przedstawienie celu i zakresu pracy, rozdziały charakteryzującą użyte materiały i metody badawcze, przedstawienie wyników badań i ich

dyskusję, podsumowanie i wnioski końcowe a także wnioski do dalszych badań oraz bibliografię. Praca napisana jest poprawnym językiem, zredagowana jest starannie i zawiera nieliczne błędy redakcyjne i literowe.

Główny cel naukowy badań opisany jest na 42 stronie po przeprowadzeniu szerokiego rozeznania literaturowego i jest nim modyfikacja składu proszku ferrytycznej stali nierdzewnej AISI 434L mająca na celu zwiększenie gęstości i polepszenie mikrostruktury otrzymywanych elementów spiekanych, tak aby właściwości otrzymanego wyroby były zbliżone do właściwości stali martenzytycznych. Celem praktycznym proponowanych badań jest opracowanie technologii wytwarzania i zastosowania wysokowytrzymałych spiekanych martenzytycznych stali nierdzewnych

W postępujących po wprowadzeniu nieponumerowanych rozdziałach, co jest pewnym mankamentem pracy, opisano sposoby eliminacji porowatości stali i przedstawiono rolę pierwiastków stopowych, następnie podział stali nierdzewnej i jej zastosowanie. W kolejnym rozdziale przed zdefiniowaniem celu pracy opisano technologię spiekania oraz wpływ węgla i boru na spiekanie. Przejęta kolejność jest logiczna i prowadzi do poprawnie zdefiniowanej tezy pracy. Następuje później opis metod badawczych i sposobu przygotowania próbek, po czym w kolejnych nieponumerowanych rozdziałach prezentowane są wyniki badań, ich analiza oraz wnioski i podsumowanie. Analiza wyników przeprowadzonych badań doświadczalnych umożliwiła Autorowi na sformułowanie wniosków o charakterze ogólnym, uwzględniających zależności oraz interakcje pomiędzy badanymi wielkościami. Część wniosków miało charakter użyteczny ze możliwości technologicznych i rozszerzenia zakresu stosowania spieków z dodatkiem proszku boru.

Przeprowadzone badania potwierdziły, że modyfikacja składu chemicznego ferrytycznej stali nierdzewnej AISI 434L w wyniku dodatku proszku boru w postaci mikroproszku zaprawy oraz węgla w postaci proszku grafitu, co prowadzi do wzrostu gęstości spieku, W wyniku aktywacji procesu spiekania wskutek dodatku proszku boru oraz węgla uzyskano wyraźny wzrost twardości spiekanej ferrytycznej stali AISI. Niestety pomimo wprowadzenia proszku boru w postaci mikroproszku zaprawy, nie udało się zapobiec występowaniu skrzepniętej eutektyki powstałej w wyniku spiekania w obecności fazy ciekłej na granicach ziaren, wskutek czego uzyskano spiekany materiał o wysokiej twardości, ale o niskiej plastyczności. Analizowano również wpływ dodatku miedzi, który nie powinien przewyższać 3 % wag. by uzyskać strukturę ferrytyczno – martenzytyczną. Wartością poznawczą i oryginalną przeprowadzonych badań, jest stwierdzenie, że spiekanie rozpylanych wodą proszków stali nierdzewnej 17-4PH

umożliwia wypełnić lukę istniejącą pomiędzy właściwościami spiekanych austenitycznych i martenzytycznych stali nierdzewnych. Wartością praktyczną mającą duże znaczenie dla producentów spiekanych elementów, jest stwierdzenie, że spiekane stale 17-4PH charakteryzują się najkorzystniejszymi właściwościami mechanicznymi, stwarzając większe możliwości powtarzalnych serii wyrobów, ze względu na ominięcie problemów związanych z segregacją dodatków stopowych miedzi lub grafitu do stali AISI 410L oraz boru i węgla w przypadku stali ferrytycznej AISI 434L. Metody badawcze zostały przez Doktoranta dobrane właściwie, a ich zastosowanie zostało opisane poprawnie. Wyniki przeprowadzonych analiz również zostały we właściwy sposób wyznaczone i zinterpretowane, wyczerpując tym samym przyjęty do realizacji problem i zakres badań.

3. Uwagi szczegółowe

Uwagi krytyczne i redakcyjne

Przedstawione poniżej uwagi czy pytania krytyczne nie pomniejszają wartości pracy. Uważam, że rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Szymona Gadka jest zgodna z aktualnym kierunkiem badań metalurgii proszków i dążeniem do uzyskiwania nowych, lepszych właściwości spieków.

Krytyczną uwagą redakcyjną, która utrudnia czytanie pracy jest pozostawienie rozdziałów bez numeracji, co wpływa na sprawność poruszania się po pracy i odbiega od zazwyczaj przyjmowanych standardów. Przedstawienie wykazu oznaczeń na stronie 6 bez używanych w pracy jednostek pomiaru również utrudnia czytanie i rozumienie pracy. Bardzo skrótowo potraktował Autor opis metod badawczych i maszyn i urządzeń na których wykonywano próbki i badania. Przykładem opis oznaczania gęstości, identyfikacja faz przeprowadzonej przy użyciu analizy rentgenowskiej fazowej czy laserowej analizy wielkości cząstek. Rysunki 18 i 19 na kolejnych stronach 56 i 57 mają znacząco różne rozmiary czcionek na osi ciśnienia prasowania. Podobne sytuacje powtarzają się jeszcze często. Ogólnie wykresy i tabele są w bardzo różny sposób graficznie opisywane, zarówno jeśli chodzi o różnice wielkość czcionek oraz zastosowany ich styl. Pozytywnie w tekście rozprawy wyglądają zdjęcia z mikroskopu optycznego i elektronowego, są dobrej jakości i poprawnie opisane.. Realizując zginanie trójpunktowe podano tylko typ maszyny, nie podając nominału głowicy pomiarowej ani odległości między podporami a przede wszystkim prędkości zginania, która w metalurgii proszków, często ma wpływ na uzyskiwane rezultaty. Na rysunku 14 (strona 52) błąd w opisie osi x na pokazanym wykresie. W opisach zdjęć z mikroskopu elektronowego nie powinni się pisać „SEM przełomu.” bo jest to forma niepoprawna (strona 104).

Pytania dotyczące rozprawy:

1. Dlaczego pomimo wprowadzenia proszku boru w postaci mikroproszku zaprawy, nie udało się zapobiec występowaniu skrzepniętej eutektyki powstałej w wyniku spiekania w obecności fazy ciekłej na granicach ziaren ?
2. W pracy nie przedstawiono, kierunku ewentualnych dalszych pracy badawczych, jakie metody badawcze czy kompozycje mikroproszków można by w przyszłości badać?
3. Jakie procesy i zjawiska wpływają na jakość mikroproszków metali ?
4. Dlaczego na wykresie 21 (strona 59) wykresy zginania są schodkowe, jaki był nominal głowicy pomiarowej założonej do maszyny wytrzymałościowej?

4. Podsumowanie

Zarówno **przedłożona rozprawa doktorska, jak i dorobek publikacyjny, stanowią widoczny wkład Autora w rozwój Inżynierii Materiałowej w zakresie metalurgii proszków w Polsce.** Całokształt dorobku naukowego, a także zastosowane metody obliczeniowe i wykonane eksperymenty, świadczą pozytywnie o dojrzałości naukowej, oraz dogłębnej wiedzy Autora w badanej dziedzinie i zdolności do samodzielnego zaplanowania i przeprowadzenia eksperymentu. Reasumując, recenzowana rozprawa doktorska jest oryginalnym rozwiązaniem zaprezentowanego w niej zagadnienia naukowego. Autor podjął w niej problem, który ma istotne znaczenie z punktu widzenia poznawczego i aplikacyjnego. Stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska spełnia wymogi ustawy stawiane rozprawom na stopień doktora nauk technicznych określone w art. 13 ustawy z dnia 14 marca 2003 roku (Dz. U. z 2016 r. poz. 882. **Niniejszym wnoszę do Rady Naukowej dyscypliny Inżynieria Materiałowa, Politechniki Krakowskiej o przyjęcie rozprawy, dopuszczenie Autora, mgr inż. Szymona Gądka, do publicznej obrony, a po jej pozytywnym przebiegu o nadanie mu stopnia doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria materiałowa.**

Stanisław Kuciak