

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Bogusława AUGUSTYNA

pt. Kształtowanie struktury i właściwości wybranych stopów magnezu w procesie odlewania półciąglego

*opracowana na zlecenie Rady Wydziału Odlewnictwa Akademii Górniczo-Hutniczej
im. Stanisława Staszica w Krakowie, w dniu 15.07.2019 r. WO-sd.510-29-02/2019.*

I. Ocena wyboru tematu rozprawy

Coraz wyższe wymagania stawiane przez odbiorców komponentów odlewniczych wymuszają rozwój technologii, celem wytwarzania odlewów charakteryzujących się coraz wyższymi właściwościami fizyko-chemicznymi oraz użytkowymi. Do takiej grupy odbiorców należy motoryzacyjna oraz lotnictwo, które poszukują nowych rozwiązań materiałowych, pozwalających na redukcję masy przy równoczesnym podwyższeniu właściwości użytkowych. Jednym z kierunków takich poszukiwań są komponenty odlewnicze wytwarzane ze stopów magnezu. Odlewnictwo stopów magnezu, pomimo rozwoju technologii odlewniczych i związanej z tym coraz większej wiedzy naukowej, w dalszym ciągu nie cieszy się popularnością w zakładach metalurgicznych. Wynika to ze skłonności magnezu do zapłonu w kontakcie z tlenem w temperaturze niższej od temperatury jego topnienia, co wymaga zastosowania droższych technologii oraz zapewnienia rygorystycznych wymogów bezpieczeństwa. Okazuje się, że w kraju tylko kilka firm z branży metalurgicznej wytwarza komponenty odlewnicze ze stopów magnezu. Ponadto pozyskanie wiedzy dotyczącej wpływu parametrów procesu technologicznego wytwarzania odlewów ze stopów magnezu na ich strukturę i właściwości użytkowe, wymaga specjalistycznych badań. Dlatego prowadzone w tym kierunku prace naukowo-badawcze stanowią know-how firm. Stąd podjęcie przez Autora dysertacji tematu kształtowania struktury i właściwości wybranych stopów magnezu w procesie odlewania półciąglego, uważam za bardzo trafny.

II. Ogólna charakterystyka i układ pracy

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska liczy 168 stron, na które składają się streszczenie, 4 rozdziały części teoretycznej oraz 6 rozdziałów części doświadczalnej. W pracy zamieszczono 52 tabele, 12 wzorów oraz 139 rysunków. Analiza literaturowa obejmuje 99 pozycji, z których 26 ukazało się w ostatniej dekadzie.

Przedmiotem dysertacji przedstawionej do recenzji jest doświadczalna analiza możliwości kształtowania struktury oraz właściwości fizycznych i mechanicznych stopów

magnezu odlewanych we wlewki w systemie półciąglym, poprzez zastosowanie zmiennych szybkości chłodzenia i krzepnięcia odlewów i/lub zabiegów modyfikacji, mających na celu otrzymanie materiałów o możliwie najwyższych właściwościach mechanicznych po przeróbce plastycznej.

Po krótkim wprowadzeniu Autor przechodzi do rozdziału drugiego, który należy traktować jako wprowadzenie do odlewnictwa stopów magnezu. W rozdziale tym omówiono właściwości fizyczne i mechaniczne magnezu i jego stopów, wyjaśniono oznaczenia stosowane w amerykańskich i europejskich normach. Następnie dokonano analizy wpływu dodatków stopowych na właściwości fizyko-chemiczne i mechaniczne stopów magnezu. Krótko omówiono technologię topienia stopów magnezu oraz opisano mikrostruktury stopów magnezu z aluminium oraz stopów magnezu z cynkiem, dalej przechodząc do praktycznego zastosowania wyrobów ze stopów magnezu. Rozdział zakończono interesującą i ważną z praktycznego punktu widzenia analizą dotyczącą modyfikacji odlewniczych stopów magnezu. Zdaniem recenzenta podrozdział dotyczący praktycznego zastosowania wyrobów ze stopu magnezu powinien zostać umieszczony w innym miejscu, najkorzystniej na końcu rozdziału. W rozdziale tym Doktorant nie ustrzegł się kilku błędów, które powtarzają się również w dalszej części pracy. Stosuje wyrażenia „waga, % wag. (rys. 2.6-2.8)” w odniesieniu do masy. Naprzemiennie stosuje wyrażenia „własności mechaniczne” lub „właściwości mechaniczne”. Również wyrażenie „wady materiałowe” powinno być zastąpione innym wyrażeniem, np. „nieciągłości materiału”. Wykrycie „wady” dyskwalifikuje materiał, natomiast wykrycie „nieciągłości” nie zawsze oznacza obniżenie jego właściwości użytkowych.

Rozdział trzeci to opis metody odlewania półciąglęgo, zawierający schematy oraz zależności matematyczne, pozwalające określać prędkość odlewania. Zapoznaje on czytelnika z jej rozwojem oraz problemami technologicznymi. Do tego rozdziału mam jedną uwagę. W przypadku rysunków 3.2-3.3 oraz 3.5-3.7 zamieszczone opisy w języku angielskim można było przetłumaczyć na język polski.

Ostatni, czwarty rozdział części teoretycznej poświęcono przeróbce plastycznej stopów magnezu metodą wyciskania. Jest on istotny z uwagi na fakt, że ocenę właściwości mechanicznych prowadzono na próbkach pobranych z odlewów wlewków poddanych przeróbce plastycznej z zastosowaniem tej metody.

Podsumowując część teoretyczną należy podkreślić, że przedstawione informacje, pomimo drobnych usterek, wprowadzają czytelnika w meritum zagadnienia, którym zajmuje się Autor w części badawczej. Pomimo braku podsumowania aktualnego stanu wiedzy z zakresu odlewnictwa stopów magnezu, analiza stanu zagadnienia, przeprowadzona przez mgr inż. Bogusława Augustyna, dla wysunięcia tezy i realizacji celów pracy została opracowana poprawnie. A analiza bibliografii ujmuje problemy badawcze i produkcyjne w procesie wytwarzania odlewów ze stopów magnezu.

Druga, doświadczalna część dysertacji składa się z 6 rozdziałów, w których zawarto cele pracy i tezy, dla których opracowano plan badań i ich metodykę oraz wyniki badań wraz z ich analizą. W części końcowej dysertacji zamieszczono podsumowanie i wnioski końcowe, wynikające z uzyskanych wyników badań oraz wykaz cytowanych pozycji literaturowych.

Część badawczą podzielono na trzy etapy. Opracowano 27 wariantów odlewów wlewków ze stopów Mg-Al oraz Mg-Zn. Wykonywano je na stanowisku do odlewania

wlewków metodą półciąglą, będącym na wyposażeniu Instytutu Metali Nieżelaznych, Oddział Metali Lekkich w Skawinie.

Przedmiotem pierwszego etapu badań były odlewy wlewków wykonanych ze stopu AZ91, których strukturę kształtowano poprzez zmianę szybkości krzepnięcia, celem opracowania granicznych parametrów procesów odlewania półciąglęgo (prędkość odlewania). Wykonano pięć wariantów testowych odlewów wlewków. Celem zobrazowania rzeczywistego frontu krystalizacji, wykonano również badania doboru tzw. markera, najkorzystniej odzwierciedlającego rozkład izoterm we wlewkach. Oceniono jakość powierzchni zewnętrznej wlewków, dokonano analizy rozkładu pierwiastków stopowych na początku oraz na końcu każdego wlewka oraz wzdłuż ich średnicy, zobrazowano front ich krystalizacji z zastosowaniem wytypowanego markera oraz wykonano badania mikrostruktury wlewków w przekrojach wzdłużnych oraz poprzecznych. Etap ten zakończono podsumowaniem.

Drugi etap badań dotyczył kształtowania struktury odlewów wlewków z tego stopu poprzez wprowadzenie zarodków krystalizacji. Zastosowano sześćchloroetan w postaci proszkowej oraz dwa modyfikatory na bazie węgla o nazwach handlowych Nucleant 200 oraz Nucleant 5000, które wprowadzono do ciekłego stopu w ilości 0,6% masy wsadu. Wlewki odlewano z zastosowaniem wytypowanych w pierwszym etapie badań parametrów procesu technologicznego, uznanych za optymalne z uwagi na jakość powierzchni, wielkość segregacji pierwiastków stopowych (Al, Zn, Mn) oraz kształt frontu krystalizacji. Wykonano cztery warianty testowych odlewów wlewków, z których jeden, dla celów porównawczych, nie zawierał modyfikatora. Dokonano analizy rozkładu pierwiastków stopowych oraz rozkładu wielkości ziaren wzdłuż średnicy wlewków, wykonano badania mikroskopowe z zastosowaniem mikroskopii skaningowej z mikroanalizą składu chemicznego, badania twardości, a na próbkach poddanych przeróbce plastycznej metodą wyciskania, określono ich właściwości mechaniczne. Etap zakończono podsumowaniem.

Przedmiotem trzeciego etapu badań były odlewy wlewków wykonanych ze stopu MgZn6, których strukturę kształtowano tylko poprzez zmianę szybkości krzepnięcia, gdzie wykonano dziewięć wariantów testowych odlewów wlewków oraz poprzez zmianę szybkości krzepnięcia i wprowadzenie zarodków krystalizacji, gdzie wykonano kolejnych dziewięć wariantów testowych odlewów wlewków. Zastosowano modyfikator w postaci stopu wstępnego MgZr33, który wprowadzono do stopu w ilości 0,78% mas. Zobrazowano front ich krystalizacji z zastosowaniem wytypowanego markera, wykonano badania mikrostruktury z zastosowaniem mikroskopu optycznego, dokonano analizy rozkładu wielkości ziaren wzdłuż średnicy wlewków, przeprowadzono obserwacje mikrostruktury z zastosowaniem mikroskopii skaningowej z mikroanalizą składu chemicznego, oceniono wartość gęstości opracowanego materiału oraz procentową zawartość porowatości, pomierzono wartość podłużnej fali ultradźwiękowej oraz tłumienie drgań, a na próbkach poddanych przeróbce plastycznej metodą wyciskania, określono ich właściwości mechaniczne. Etap zakończono podsumowaniem.

W rozdziale 9 Autor dysertacji jeszcze raz podsumował wyniki swoich badań, rozszerzając je i odpowiadając na wątpliwości dotyczące zastosowania różnych wartości parametrów procesu przeróbki plastycznej metodą wyciskania.

W rozdziale 10 przedstawiono wnioski potwierdzające osiągnięcie celów pracy. Popieram również końcowy wniosek dotyczący potrzeby kontynuowania badań.

Sposób realizacji założonego celu pracy, zastosowane metody badawcze, sposób realizacji badań eksperymentalnych oraz rozważań teoretycznych oceniam pozytywnie.

Dokonując podsumowania merytorycznej strony opiniowanej rozprawy stwierdzam, że jej osiągnięciem naukowym jest znacznie lepsze, niż dotychczas, poznanie możliwości kształtowania struktury oraz właściwości fizycznych i mechanicznych wybranych stopów magnezu w procesie odlewania półciąglego.

Uwagi szczegółowe i pytania

Ogólnie zastosowane słownictwo odpowiada terminologii stosowanej w rozprawach naukowych. Zauważone usterki tekstowe zostały wcześniej przekazane Autorowi rozprawy. Niektóre uwagi merytoryczne zostały zamieszczone w trakcie omawiania dysertacji. Jednak niektóre szczegóły treści wymagają zwrócenia uwagi:

1. W rozdziale 5 (str. 55) Autor pisze, że celem ogólnym pracy było badanie wybranych stopów magnezu, odlewanych we wlewki metodą odlewania półciąglego pionowego, pod kątem otrzymania materiałów o możliwie najwyższych właściwościach. Autor powinien doprecyzować, o jakie właściwości chodzi.
2. Na tej samej stronie Autor sformułował następujące tezy pracy:
 - Teza nr 1. *Poprzez dobór właściwych parametrów odlewania półciąglego (prędkości odlewania i/lub szybkości chłodzenia) można sterować frontem krystalizacji w celu kształtowania struktury odlewu dla uzyskania „dobrej jednorodności” składu chemicznego.* Jest to niefortunne sformułowanie, ponieważ zdaniem Recenzenta wyrażenie „jednorodność składu chemicznego” jest jednoznaczne i nie ma *dobrej* lub *złej* jednorodności.
 - Teza Nr 2. *Poprzez sterowanie parametrami procesu odlewania i procesem modyfikacji możliwe jest uzyskanie:*
 - *rozdrobnienia średniej wielkości ziarna wzdłuż średnicy wlewka,*
 - *zmniejszenie rozrzutu wielkości ziarna wzdłuż średnicy wlewka,*
 - *zmiany właściwości fizycznych i mechanicznych (gęstości, twardości) wlewków, a w ślad za tym właściwości mechanicznych elementów wyciskanych.* Brak jest określenia, jakie konsekwencje spowodują te zmiany.
3. W przypadku modyfikacji stopu AZ91 stosowano sześciochloroetan w postaci proszkowej oraz dwa modyfikatory na bazie węgla o nazwach handlowych Nucleant 200 oraz Nucleant 5000. Wszystkie wprowadzano do ciekłego stopu w ilości 0,6% masy wsadu. W przypadku modyfikacji stopu MgZn6 zastosowano modyfikator w postaci stopu wstępnego MgZr33, który wprowadzono do ciekłego stopu w ilości 0,78% mas. Na jakiej podstawie ustalono ich ilości?
4. W metodyce dotyczącej badań ultradźwiękowych nie podano parametrów zastosowanej do badań głowicy ultradźwiękowej oraz metodyki pomiarów tłumienia drgań. Ponadto mierzona była wartość prędkości podłużnej fali ultradźwiękowej a nie „fali dźwiękowej”.

5. W pierwszym etapie badań, które dotyczyły stopu AZ91, zmieniano tylko wartości prędkości odlewania, wydatek wody chłodzącej oraz temperaturę ciekłego stopu przyjęto jako wartości stałe. Na jakiej podstawie?
6. W pierwszym etapie badań, które dotyczyły stopu AZ91, temperatura ciekłego metalu w rozdzielaczu wynosiła 690°C, natomiast w drugim etapie badań, które również dotyczyły tego stopu, temperatura ciekłego metalu w rozdzielaczu wynosiła 710°C. Czy mogło to mieć wpływ na uzyskane wyniki badań?
7. Rozdział 7.3 (strona 101). Dlaczego zamieszczono tylko wyniki badań mikroskopii skaningowej dotyczące stopu AZ91 bez modyfikacji? Ponadto zamieszczenie samych widm, bez podania procentowych zawartości atomowych nie daje podstaw do określania formuł związku.
8. Rozdział 7.4 (strona 102, tabela 7.3). Brak komentarza wyjaśniającego różnice w wartości twardości opracowanych wariantów stopu AZ91.
9. Rozdział 8.3. Rysunki 8.15-8.21, 8.23-8.28, 8.30-8.35, 8.37-8.43. Zamieszczanie takiej ilości widm pierwiastków nic nie wnosi, niepotrzebnie zwiększając objętość i tak obszernej pracy.
10. Rozdział 8.4 (strona 135). Z jakich obszarów pobierano próbki do oceny gęstości? Jakie miały wymiary?

Wniosek końcowy

Wymienione wyżej uwagi nie obniżają wartości pracy. Jest ona interesująca z punktu widzenia możliwości kształtowania struktury oraz właściwości fizycznych i mechanicznych stopów magnezu odlewanych we wlewki w systemie półciągłym, poprzez zastosowanie zmiennych szybkości chłodzenia i krzepnięcia odlewów i/lub zabiegów modyfikacji, mających na celu otrzymanie materiałów o możliwie najwyższych właściwościach mechanicznych po przeróbce plastycznej. Przedstawia oryginalne opracowanie zagadnienia mającego znaczenie naukowe i użytkowe, w której Doktorant wykazał wiedzę z zakresu przedmiotu pracy i umiejętności opracowania metodyki badań, prowadzenia badań eksperymentalnych oraz interpretacji ich wyników, rozwiązał problem naukowy o ważnym znaczeniu technologicznym z zakresu kształtowania struktury i sterowania właściwościami tworzyw odlewniczych ze stopów magnezu, zgodnie z tematem rozprawy doktorskiej, przez co spełnione zostały wymagania określone w *ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym*, stawiane rozprawom doktorskim. Biorąc to pod uwagę wnioskuję do Rady Wydziału Odlewnictwa Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie o dopuszczenie mgr inż. Bogusława Augustyna do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

