



**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE**

Prof. dr hab. inż. Piotr Bała

Kraków, dn. 20.10.2024

Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej
Akademickie Centrum Materiałów i Nanotechnologii
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica
Al. A. Mickiewicza 30
30-059 Kraków

RECENZJA

rozprawy doktorskiej **mgra inż. Adama Gryca**

pt. „**Procesy wydzieleniowe w stopach Mg-Bi oraz Mg-Bi-X (X = Zn, Mn, Ca)**”

Niniejsza recenzja została opracowana na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej prof. dra hab. inż. Adama Grajcara, w związku z uchwałą 86/2024 Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej z dnia 26 września 2024

1. Ogólna charakterystyka pracy

Praca doktorska Pana mgra inż. Adama Gryca, napisana pod kierownictwem dra hab. inż. Andrzeja Kiełbusa, prof. PŚI, dotyczy analizy procesów wydzielenia w modelowych odlewniczych stopach Mg-Bi oraz Mg-Bi z dodatkiem Zn, Mn lub Ca. Praca ma układ klasyczny, tj. składa się z obszernego wstępu i części badań własnych. Przegląd stanu wiedzy opracowany i napisany jest na dobrym poziomie. Oparty jest na odpowiednim przeglądzie literaturowym, który zawiera głównie specjalistyczne czasopisma (większość z ostatnich 15 lat), kilka norm oraz monografii. Bardzo dobrze dobrano informacje, które pozwalają czytelnikowi na

zwiększenie wiedzy na temat stopów magnezu, roli pierwiastków stopowych i mechanizmów umocnienia, jak również nazewnictwa, co świadczy o bardzo dobrej orientacji Doktoranta ww. temacie. Po wstępie Autor przedstawił tezę oraz cele naukowe pracy, obszerną charakterystykę materiału do badań wraz z opisem projektowania i technologii wytwarzania badanych stopów, szczegółowy opis metodyki, wyniki badań wraz z ich dyskusją, podsumowanie oraz wnioski. Na końcu rozprawy zamieszczony jest spis literatury, a po nim streszczenia w języku angielskim i polskim. Praca napisana jest bardzo dobrze stylistycznie, poprawnym językiem technicznym z dobrze opracowanymi rysunkami oraz wysoką jakością badań. Oceniając cały układ pracy uważam, że jest on właściwy i odpowiada ogólnie przyjętym wymaganiom co do rozpraw doktorskich.

2. Ocena doboru tematyki i zakresu pracy

Jedną z najważniejszych zalet stopów magnezu jest ich niska gęstość, najmniejsza wśród metalicznych materiałów konstrukcyjnych wytwarzanych na skalę przemysłową, co powoduje, że są w kręgu zainteresowań przemysłu motoryzacyjnego, lotniczego a nawet kosmicznego. Ograniczeniem w ich stosowaniu są wysoka reaktywność i palność, niskie właściwości wytrzymałościowe, zwłaszcza w podwyższonej temperaturze oraz słaba odporność na korozję i pęcznienie. Podstawowym mechanizmem umacniania stopów magnezu jest utwardzanie wydzieleniowe. Mnogość dodatków stopowych oraz tworzących się z ich udziałem faz międzymetalicznych, w tym również metastabilnych powoduje, że procesy wydzieleniowe, zachodzące podczas rozpadu przesyconego roztworu stałego obejmują szereg przemian. Znajomość procesów wydzielenia i umiejętność ich kontroli umożliwi poprawę właściwości wytrzymałościowych nowo projektowanych stopów magnezu. Dobre rezultaty uzyskano dodając do stopów magnezu przeznaczonych do pracy w podwyższonej temperaturze pierwiastki ziem rzadkich. Pierwiastki te wykazują ograniczoną rozpuszczalność w roztworze stałym i tworzą z magnezem fazy międzymetaliczne o wysokiej temperaturze topnienia i dużej stabilności termodynamicznej. Pierwiastki te są jednak drogie, co w rezultacie silnie ogranicza stosowanie ww. stopów. Jednym z najważniejszych kierunków badań nad nowoczesnymi stopami magnezu są prace nad możliwością wyeliminowania z ich składu pierwiastków ziem rzadkich. Dlatego uważam, że problematyka naukowa podjęta w opiniowanej rozprawie doktorskiej Pana Adama Gryca jest aktualna, a patrząc z punktu widzenia opracowania

nowych stopów magnezu o dobrych właściwościach mechanicznych istotna. W oparciu o studia literaturowe i wyniki własnych badań doświadczalnych sformułowano tezę pracy: „Odpowiedni dobór składu chemicznego i parametrów obróbki cieplnej stopów Mg-Bi oraz Mg-Bi-X (X = Mn, Zn, Ca) umożliwi ich umocnienie wydzieleniowe dyspersyjnymi cząstkami faz międzymetalicznych o morfologii igieł lub płytek na płaszczyznach pryzmatycznych komórki elementarnej α -Mg” i postawiono główny cel, jakim było scharakteryzowanie procesów wydzieleniowych zachodzących podczas rozpadu przesyconego roztworu stałego w stopach Mg-Bi oraz Mg-Bi-X (X = Mn, Zn, Ca). Uważam, że postawiona teza jak cele pracy są prawidłowe. Praca ma zarówno charakter badań podstawowych jak i stosowanych.

3. Ocena merytoryczna pracy

Oceniając pracę od strony merytorycznej warto podkreślić, że zaplanowane eksperymenty oraz interpretacja wyników wykonane są starannie i jako całość stanowią bardzo dobry opis procesów wydzieleniowych w nowych stopach Mg-Bi oraz Mg-Bi-X (X = Mn, Zn, Ca). Zaprojektowano i wytworzono do badań wstępnych stopy Mg-Bi o różnej zawartości Bi, po których dokonano wyboru dodatku Bi na poziomie 6% wag. Następnie do stopu Mg-Bi dodano kolejno Zn, Mn oraz Ca. Całość badań była dobrze zaplanowana oraz prawidłowo dobrano zestaw technik pomiarowych, osiągając wysokiej jakości wyniki. Badania wykonano w sposób przemyślany i wykorzystano odpowiedni zestaw badań w celu charakterystyki badanych materiałów. Rozprawę doktorską Pana mgr inż. Adama Gryca oceniam pozytywnie. Za największe osiągnięcie Autora uważam opis procesów wydzieleniowych zachodzących podczas rozpadu przesyconego roztworu stałego w badanych stopach oraz to, że dzięki odpowiednio zaplanowanym badaniom Autor opisał relację pomiędzy efektami dylatacyjnymi a zachodzącymi w badanych stopach przemianami fazowymi. Co w efekcie pozwoliło mu na świadome zaprojektowanie odpowiedniej obróbki cieplnej badanych stopów. Autor udowodnił postawioną tezę i osiągnął cel naukowy oraz cele szczegółowe.

Podczas uważnej lektury opiniowanej pracy nasuwają się pewne spostrzeżenia natury polemicznej i krytycznej oraz uwagi szczegółowe (natury edycyjnej oraz inne drobne uwagi), które wyrażam poniżej:

Uwagi ogólne i dyskusyjne:

1. Jednym z ważniejszych problemów stopów magnezu jest ich odporność korozyjna. Jak zaproponowane dodatki stopowe mogą wpływać na odporność korozyjną magnezu?
2. Czy efekt może być dylatometryczny? Efekt nie pochodzi od techniki pomiarowej, jest związany z rozszerzalnością cieplną i powinno się używać sformułowania „efekt dylatacyjny”.
3. Moim zdaniem w temperaturze wygrzewania 525°C, nie dochodzi do przesycaenia tylko do rozpuszczania cząstek faz występujących w badanych stopach, przesycaenie następuje podczas chłodzenia.
4. Szkoda, że w pracy nie zamieszczono krzywych dylatometrycznych nagrzewania ze stanu lanego do temperatury 525°C. Czy obserwowano efekty dylatacyjne podczas ww. nagrzewania?
5. Moim zdaniem ciężko oczekiwać wpływu zmian wielkości ziarna w badanych stopach na twardość, gdyż wielkość ziarna była duża, a twardości mierzono metodą Vickersa przy obciążeniu 9,81N (HV1).
6. Krzywe rozciągania dla stopów po obróbce cieplnej (stop Mg-6Bi oraz stop Mg-6Bi-0,5Ca, rys. 130 strona 165) są skokowe, dlaczego?
7. Na stronie 165 rozprawy znajduje się stwierdzenie „Mimo znacznej poprawy właściwości wytrzymałościowych badanych stopów Mg-Bi po utwardzaniu wydzieleniowym charakter przełomów nie zmienił się w stosunku do stanu lanego (Rys. 131). Pękanie nadal następuje po granicach ziaren α -Mg i ma charakter międzykrystaliczny. Wskazuje to na niewystarczającą efektywność wydzieleni fazy Mg_3Bi_2 w umacnianiu granic ziaren.” Szkoda, że Autor nie wykonał badań właściwości mechanicznych w stanie przesyconym, byłby to bardzo dobry punkt odniesienia i wtedy można byłoby mówić o realnym wpływie wydzielonych faz.

Uwagi edycyjne:

1. W rozprawie w odniesieniu do mikrostruktury używane są naprzemiennie struktura i mikrostruktura. Należało wybrać jeden sposób nazewnictwa.
2. Brakuje szczegółowego opisu metodologii badań EDS.
3. Błędnie użyto sformułowania „biodegradowalne” w odniesieniu do bioresorbowalnych stopów magnezu.

4. W tabelach 39, 41 oraz 43 średnia wielkość ziarna jest podana w błędnych jednostkach.
5. W pracy znaleziono nieliczne literówki, które wskazano Autorowi.

Wszystkie przedstawione uwagi mają charakter uzupełniający i dyskusyjny oraz nie wpływają na obiór pracy jako całości. Moim zdaniem Autor poradził sobie z rozwiązaniem sformułowanego problemu badawczego określenia procesów wydzieleniowych w stopach Mg-Bi oraz Mg-Bi-X (X = Zn, Mn, Ca).

4. Wniosek końcowy

Rozprawa doktorska Pana Adama Gryca jest dobrze ulokowana w obecnym stanie wiedzy, została wykonana i napisana na dobrym poziomie naukowym oraz stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Niewątpliwie Autor posiada szeroką wiedzę teoretyczną i praktyczną w zakresie odlewniczych stopów magnezu, w tym procesów wydzieleniowych w stopach Mg-Bi oraz Mg-Bi-X (X = Zn, Mn, Ca) oraz charakteryzowania materiałów, a uzyskane wyniki, ich opis i dyskusja są dowodem na to, że potrafi samodzielnie prowadzić badania naukowe.

Po zapoznaniu się z rozprawą doktorską mgra inż. Adama Gryca pt.: „Procesy wydzieleniowe w stopach Mg-Bi oraz Mg-Bi-X (X = Zn, Mn, Ca)” stwierdzam, że spełnia ona wymagania formalne stawiane rozprawom doktorskim zawarte w stosownej ustawie oraz wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej o dopuszczenie jej do publicznej obrony.



Prof. dr hab. inż. Piotr Bała