

Dr hab. inż. Andrzej Kielbus
prof. nzw. w Pol. Śl.
Wydział Inżynierii Materiałowej i Metalurgii
Politechniki Śląskiej

Katowice, 15.04.2015

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr inż. Piotra Drzymały

pt. „Microstructural conditions of plastic deformation of Mg-based metal alloys”

wykonanej pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Jana Bonarskiego
w Instytucie Metalurgii i Inżynierii Materiałowej PAN w Krakowie.

1. Podstawa prawna

Recenzję wykonano na podstawie pisma Dyrektora Instytutu Metalurgii i Inżynierii Materiałowej PAN w Krakowie z dnia 16.03.2015.

2. Zakres i ocena merytoryczna rozprawy

Rozprawa doktorska mgr inż. Piotra Drzymały dotyczy zastosowania zaawansowanych metod analizy dyfrakcyjnej do oceny wpływu wyciskania na gorąco, a także obróbki cieplno-mechanicznej na mikrostrukturę i właściwości stopów magnezu przeznaczonych do przeróbki plastycznej. Badania przeprowadzono głównie na stopie AZ31 oraz dla porównania na stopie AZ91. Tematyka rozprawy wpisuje się w kierunek badań nad przerabianymi plastycznie stopami magnezu przeznaczonymi na różne elementy konstrukcyjne przeznaczone głównie dla przemysłu motoryzacyjnego i lotniczego.

Rozprawa zawiera 104 strony maszynopisu, podzielonego na 9 rozdziałów, w tym 85 rysunków, 5 tabel oraz spis literatury obejmujący 77 pozycji, w tym 60 zagranicznych. Ma klasyczny układ i składa się z przeglądu piśmiennictwa (43 strony) oraz części badawczej (61 stron) zakończonej ośmioma wnioskami. Szkoda, że autor nie przedstawił szerszego podsumowania wyników badań. Pewnym utrudnieniem w czytaniu rozprawy jest umieszczenie rozdziału 3 – Teza i cel pracy pomiędzy rozdziałami 2 - Przegląd literatury i 4 - Definicje,

wzory i algorytmy. Bardziej czytelne byłoby umieszczenie tego rozdziału po rozdziale 4, który również jest analizą danych literaturowych. Rozprawa została napisana w języku angielskim.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

W przeglądzie piśmiennictwa, po krótkim scharakteryzowaniu magnezu i jego stopów, Autor w bardzo skrótowy sposób omówił zagadnienia dotyczące odkształcenia plastycznego stopów magnezu, w tym między innymi mechanizm bliźniakowania. W opinii autora decydującą rolę w procesie powstawania tekstury stopów magnezu odgrywa właśnie ten proces, dlatego istotne są wyniki analizy tekstury i krystalografia granic międzyziarnowych. Doktorant zdecydował się na zastosowanie własnych rozwiązań i algorytmów obliczeniowych, które tworzą oprogramowanie o nazwie ODYS (Orientation Data Imaging Software). Jest to ciekawe podejście do zagadnień związanych z odkształceniem plastycznym stopów magnezu. W dalszej części Doktorant przedstawił na podstawie danych literaturowych podstawowe dane dotyczące analizy orientacji, przybliżył parametryzację Rodriguesa, omówił zagadnienia odtwarzania figur biegunowych z pojedynczych orientacji i wyznaczania czynników Schmid. Są to zagadnienia znane, jednakże bardzo istotne i ściśle związane z tematyką rozprawy. Jedynym mankamentem tej części pracy jest brak podsumowania informacji literaturowych. Ponieważ w przeglądzie literatury Doktorant skupił się głównie na stopie z grupy Mg-Al (AZ31) proszę o odpowiedź na dwa pytania:

1. Czy te same mechanizmy odkształcenia występują również w stopach Mg-Zr? Przykładowo WE43 i EV31A.
2. Jaki wpływ na mechanizm odkształcenia stopów magnezu mają wydzielenia faz międzymetalicznych?

Reasumując uważam, że przegląd piśmiennictwa został przez Doktoranta opracowany bardzo dobrze. W sposób przejrzysty i zwięzły Autor przedstawił problematykę dotyczącą odkształcenia plastycznego stopów magnezu. Zebrane w tej części rozprawy dane są niezbędne do przeprowadzenia analizy uzyskanych wyników w dalszej części pracy.

Na podstawie przeglądu piśmiennictwa Doktorant sformułował następującą tezę pracy: „Wieloskalowa analiza orientacji krystalograficznej stopów magnezu prowadzi do uzyskania optymalnej mikrostruktury zapewniającej wzrost plastyczności dla wybranego sposobu odkształcenia.”

Dla uzasadnienia tezy Doktorant zrealizował główny cel badań, którym było zastosowanie zaawansowanych metod analizy dyfrakcyjnej (XRD, EBSD) dla bardziej dokładnego zrozumienia i optymalizacji odkształcenia plastycznego na zimno wyciskanych prętów i rur wykonanych ze stopów magnezu.

Zakres i teza rozprawy spełniają wymagania stawiane badaniom realizowanym w ramach pracy doktorskiej. Zastosowana procedura badawcza, uzyskane wyniki badań i przedstawione wnioski uzasadniają postawioną tezę badawczą.

W części poświęconej materiałom i metodyce badań Doktorant scharakteryzował dwa stopy będące przedmiotem rozprawy. Przedstawił parametry zastosowanego odkształcenia plastycznego i krótko opisał zastosowaną metodykę badań:

- składu chemicznego,
- XRD i EBSD,
- właściwości mikro i nanomechanicznych,
- własności mechanicznych,
- emisji akustycznej.

Na tym etapie pracy prosiłbym o wyjaśnienie, co Doktorant rozumie pod pojęciem „stopień przerobu” i jak on się ma do stosowanego w dalszej części pracy „odkształcenia” podawanego w %.

W części eksperymentalnej doktorant przedstawił wyniki badań bliźniakowania na modelowej próbce po wyciskaniu na gorąco oraz po zastosowanej obróbce cieplno-mechanicznej. Główny nacisk w swoich badaniach doktorant skierował na zmiany mikrostruktury i właściwości stopu magnezu AZ31. Był to właściwie jedyny stop poddany badaniom. Szkoda, że drugi stop będący przedmiotem rozprawy został scharakteryzowany bardzo ogólnie. W swojej pracy doktorant stwierdził, że zwiększenie stopnia przerobu ma korzystny wpływ na kształt i rozmiar ziaren roztworu stałego, co jak opisuje związane jest ze zwiększeniem ich „kulistości”. Proszę o wyjaśnienie tego pojęcia. Czy Doktorat miał na myśli „równościowość”?

Część badawcza, tak jak i całość pracy jest prawie w całości poświęcona metodyce badania struktury z wykorzystaniem programu ODYS. Dominuje analiza tekstury. Jest to bardzo ciekawe, tym bardziej, że w opracowaniach literaturowych bardzo rzadko spotyka się wyniki wykorzystujące podobne oprogramowanie, a już prawie wcale do analizy materiałów trudnoodkształcalnych jakimi są stopy magnezu. Bardzo ciekawe jest także przedstawienie wyników badań, przykładowo tak jak na rysunkach 44 i 47. Również stosunkowo rzadko stosuje się mapy SF do analizy struktury, szczególnie do przedstawienia mechanizmu bliźniakowania. Równie ciekawe jest zaprezentowanie możliwości zastosowanego oprogramowania do badań materiału odkształcanego. Niekiedy jednak wyniki uzyskane przez doktoranta prowadzą do oczywistych wniosków. Przykładowo wyniki przedstawione na rys.28 można było przewidzieć bez badań. Podobnie po zastosowaniu walcowania pielgrzymowago dla wcześniej wyciskanych rur – rozdział 6.2.1. W pierwszym etapie wyciskania wyraźna jest

tekstura wraz ze wzrostem odkształcenia, maleją znacznie maxima intensywności tekstury, a orientacja ziarna jest przypadkowa. Tego można było oczekiwać po walcowaniu pielgrzymowym, gdyż dla tego sposobu odkształcenia zmienia się schemat naprężeń podczas odkształcenia, a odkształcenie jest złożone, co sprzyja rozdrobnieniu struktury i zróżnicowaniu orientacji poszczególnych ziarn (rys. 59). Zupełnie inaczej jest w przypadku ściskania wyciskanych rur. W efekcie otrzymano różne typy tekstury i mikrostruktury w objętości odkształconego materiału. Z punktu widzenia poznawczego na uwagę zasługują wyniki badań nanotwardości oraz modułu sprężystości.

Na podstawie sposobu przedstawienia wyników badań i ich analizy można stwierdzić, że doktorant wykazuje dużą znajomość zagadnień analizy XRD, a szczególnie tekstury. Niemniej jednak unika zagadnień związanych z szerszym podejściem do odkształcania. Być może wynika to z faktu, że nie jest on fachowcem w dziedzinie przeróbki plastycznej. Niemniej jednak pracę należy uznać za ciekawą, dyskusja w każdym rozdziale jest krótka i na temat. Zagadnienia przedstawione są w sposób konkretny. Jak w każdej pracy, tak i w tej można doszukać się pewnych niejasności. Proszę więc o ustosunkowanie się do kilku uwag i pytań.

1. Na rys. 25 oś x powinna być oznaczona odkształceniem np. logarytmicznym lub rzeczywistym, natomiast w pracy znajduje się „strain [%]”. Czy to oznacza gniot? Ponadto linia czerwona ma obrazować fakt, że na początku procesu ściskania jest „początkowe miękniecie”. Uważam, że do $\varepsilon \sim 7\%$ różnice w wartości $R_{0.2}$ [MPa] (125 MPa i 117 MPa) są niewielkie, mieszczące się w granicach błędu (nie podano odchylenia standardowego).
2. Na rys. 26 zaprezentowano i wyjaśniono, co oznaczają krzywe niebieskie i czerwone. Nie podano natomiast, co oznacza ich ilość (dla każdego koloru 4 krzywe).
3. Na rys. 42, 49, i 63 brakuje powiększenia.
4. Na rys 76 słabo widoczne są pasma ścinania.
5. Jak na dyskusję dotyczącą wyjaśnienia mechanizmu bliźniakowania obrazu orientacji na rys. 49, 74 itp., a także mapy wskaźników Schmid'a są przedstawione przy małych powiększeniach.

Na zakończenie proszę o odpowiedź na ostatnie moje pytanie: Jaką doktorant widzi możliwość zastosowania przedstawionej w pracy metodyki w praktyce przemysłowej?

4. Ocena końcowa

W podsumowaniu mojej oceny stwierdzam, że mgr inż. Piotr Drzymała uzyskał i przedstawił w rozprawie doktorskiej oryginalne wyniki badań. Wykazał się wiedzą w zakresie doboru technik badawczych i planowania badań oraz umiejętną analizą uzyskanych wyników. Uważam, że recenzowana rozprawa zawiera szereg oryginalnych wyników. Uwagi i wątpliwości zamieszczone w recenzji mają w większości charakter dyskusyjny i nie wpływają na pozytywną ocenę wartości merytorycznej pracy.

Stwierdzam, że recenzowana rozprawa spełnia wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim, określone w art. 13. ust.1 Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym. Wnioskuje o dopuszczenie mgr inż. Piotra Drzymały do publicznej obrony przed Radą Instytutu Metalurgii i Inżynierii Materiałowej PAN w Krakowie.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'P. Drzymała', is located in the lower right quadrant of the page. The signature is fluid and cursive, with a long horizontal stroke extending to the right.