

Em prof. dr hab. inż. Ferdynand Romankiewicz  
(Uniwersytet Zielonogórski)  
ul. Zachodnia 41/5  
65-552 Zielona Góra

Zielona Góra, 20.02.2020 r.

## **R E C E N Z J A**

**rozprawy doktorskiej mgr inż. Dawida Kapinosa pt. „Ultradrobnoziarniste materiały wytwarzane metodą szybkiej krystalizacji na bazie stopów Al-Si-Re”, opracowana na zlecenie Dziekana Wydziału Odlewnictwa AGH w Krakowie dr hab. inż. Rafała Dańki, prof. AGH; pismo z dnia 14.01.2020 r. (WO-sd. 510-01-01/2020).**

Dynamiczny rozwój nowoczesnej techniki zwiększa zapotrzebowanie na niekonwencjonalne materiały konstrukcyjne. Istnieje konieczność zastępowania materiałów tradycyjnych nowymi tworzywami o wysokiej odporności na niszczące czynniki mechaniczne przy zachowaniu stabilności struktury i właściwości oraz funkcjonalności.

Liczne badania naukowe wykorzystujące osiągnięcia fizyki ciała stałego oraz wiedzę o czynnikach wpływających na właściwości mechaniczne materiałów dowodzą, zgodnie prawem Halla-Petcha, że zmniejszenie wielkości ziarn w strukturze materiału do wielkości ultradrobnokrystalicznej zapewnia efektywną poprawę właściwości mechanicznych i funkcjonalnych stopów metali. Jedną z bardzo skutecznych technologii wytwarzania takich materiałów jest odlewanie taśm metalowych metoda szybkiej krystalizacji (melt spinning). Umożliwia ona otrzymywanie materiałów o lepszych właściwościach dzięki:

- rozdrobnieniu, np. struktury dendrytycznej i/lub eutektycznej;
- zmniejszeniu lub wyeliminowaniu zjawiska segregacji;
- wytworzeniu stopów o rozszerzonej rozpuszczalności składników;
- wytworzeniu stopów z udziałem faz międzymetalicznych.

Z przedstawionych względów uważam, że Autor rozprawy dokonał właściwego wyboru problematyki badawczej i tematu rozprawy doktorskiej.

Recenzowana rozprawa obejmuje 134 strony, składa się z dwu części (studium literaturowego i badań własnych) zawierających łącznie pięć obszernych rozdziałów oraz bibliografii obejmującej 159 pozycji źródłowych, w tym dwie współautorskie publikacje Doktoranta. Zawiera streszczenie w języku polskim i angielskim. Zawiera również wykaz ważniejszych oznaczeń oraz spis tabel i spis rysunków, co ułatwia korzystanie z rozprawy. Rozprawa zawiera łącznie 116 rysunków i 25 tabel.

Streszczenie prezentuje zwięźle i zarazem dobrze istotę rozprawy oraz zakres zrealizowanych badań.

Wprowadzenie do rozprawy dobrze uzasadnia podjęcie przez Doktoranta problematyki badawczej i ogólną koncepcję rozprawy.

Pierwsza część rozprawy obejmuje studium literaturowe. Autor na wstępie tej części przedstawił krótką charakterystykę odlewniczych stopów aluminium oraz stopów aluminium do przeróbki plastycznej (rozd. 1.1). Zaakcentował wpływ składników stopowych na strukturę i właściwości analizowanych stopów. Następnie przedstawił klasyfikację i scharakteryzował stopy aluminium z krzemem podkreślając wpływ składników stopowych na strukturę i właściwości tej grupy stopów (rozd. 1.2). Z kolei zwrócił uwagę na ograniczone wykorzystanie metali ziem rzadkich w technologii wytwarzania stopów aluminium (rozd. 1.3). Dokonał stosunkowo wnikliwej analizy mechanizmów umocnienia stopów aluminium obejmujących: umocnienie roztworowe, umocnienie odkształceniowe, umocnienie granicami ziarn (poprzez



rozdrobienie ziarn) oraz umocnienie cząstkami innych faz (umocnienie wydzieleniowe oraz umocnienie dyspersyjne) (rozd. 1.4).

Dużo wnikliwości i uwagi poświęcił Doktorant opisowi problematyki stopów aluminium o ultradrobnoziarnistej budowie krystalicznej oraz technikom ich wytwarzania (rozd. 1.5). Świadczy to o Jego rozległej wiedzy w zakresie analizowanej problematyki dotyczącej wytwarzania materiałów o bardzo silnie rozdrobnionej mikrostrukturze.

W rozdziale 1.6 przedstawił Doktorant rozważania nad wpływem dodatku niklu oraz pierwiastków ziem rzadkich na mikrostrukturę i właściwości w stopach Al-Si, wytwarzanych metodą szybkiej krystalizacji. Podstawę tych rozważań stanowiły układy równowagi fazowej: Al-Ni-Ce, AlSi-Ce i Al-Ni-Si. Analizując układy równowagi oraz wyniki badań innych autorów określił Doktorant rodzaj faz, które przy dodatku niklu oraz pierwiastków ziem rzadkich mogą wydzielać się w stopach wytwarzanych metodą szybkiej krystalizacji (Rapid Solidification).

Przeprowadzone studia literaturowe podsumował Doktorant analizą stanu zagadnienia (rozd. 1.7). Dokonana rzeczowa analiza stanowiła dobrą podstawę do sformułowania tezy rozprawy oraz określenia celu i zakresu badań.

W tezie pracy Doktorant słusznie założył, że „ *Poprzez odpowiedni dobór składu chemicznego stopów Al-Si i Al-Si-Ni oraz warunków szybkiej krystalizacji można uzyskać mikrostrukturę zapewniającą wysokie właściwości wytrzymałościowe w niskich jak i podwyższonych temperaturach* ”.

Cel i zakres pracy (rozd. 2) sformułował Doktorant w sposób skondensowany i zarazem precyzyjny. Właściwie określił cel naukowy oraz cel użyteczny. W zakresie badań zawarł informacje dotyczące rodzaju badanych stopów i celowych dodatków oraz przebiegu badań. Określił niezbędną do realizacji badań metodykę badawczą. Zaakcentował zamiar uzyskania korzystnej kombinacji właściwości wytrzymałościowych wytwarzanych stopów

przez doskonalenie procesów ich wytwarzania oraz poznanie mechanizmów ich kształtowania.

Badania własne (rozd. 3) stanowią najobszerniejszą część rozprawy. W pierwszym rozdziale tej części (rozd. 3.1) Doktorant zaprezentował przygotowanie materiału do badań obejmujące: wytwarzanie stopów, odlewanie taśm metodą melt-spinning oraz ich rozdrobnienie, konsolidację mikroziarn i wyciskanie na gorąco prętów do badań. Zaprezentował stosowane urządzenia i przebieg przeprowadzanych procesów. Określił parametry krystalizacji i pełne składy chemiczne badanych stopów. Opisał przygotowanie próbek do badań oraz właściwie dobraną metodykę badawczą dotyczącą określenia właściwości mechanicznych i badania struktury krystalicznej z uwzględnieniem tworzących się w badanych stopach faz międzymetalicznych.

Wyniki badań i ich analizę przedstawił Doktorant w rozdziale 4. Na wstępie tego rozdziału zaprezentował wyniki badań stopów odlewanych grawitacyjnie do formy metalowej, które stanowią bazę odniesienia dla stopów wytwarzanych metodą szybkiej krystalizacji. Zbadał mikrostrukturę oraz jej wpływ na właściwości mechaniczne tych stopów. Badania te wykazały kruchość stopów z udziałem niklu, zwłaszcza z dodatkiem miszmetalów, czego przyczyną okazała się mikrostruktura z dużym udziałem faz międzymetalicznych o niekorzystnej iglastej morfologii.

Na duże uznanie zasługuje dokonana ocena materiału odlanego metodą szybkiej krystalizacji (rozd. 4.2). Obejmuje ona ocenę geometrii i topografii odlanych taśm oraz bardzo staranne badania mikrostruktury taśm z wykorzystaniem mikroskopii optycznej i skaningowej z analizą EDS. Wykorzystując mikroskop TEM dokonał Doktorant pomiaru parametru S-DAS w strukturze badanych stopów określając w ten sposób ilościowo wpływ metali ziem rzadkich na rozdrobnienie struktury. Wykazał, że odlewane taśmy charakteryzowały się znacznym udziałem mikrostruktury o budowie nanometrycznej. Przeprowadzona rentgenowska analiza fazowa odlanych taśm



wykazała, że w stopie z udziałem niklu i metali ziem rzadkich, oprócz fazy międzymetalicznej  $\text{Al}_3\text{Ni}$ , występują fazy  $\text{AlCeLa}$  oraz  $\text{La}_{0,5}\text{Ce}_{0,5}\text{Si}_2$ . Dokonane pomiary mikrotwardości taśm wykazały istotny wpływ niklu oraz miszmetalów na wzrost mikrotwardości.

Oceny materiału w postaci wytworzonych przez wyciskanie współbieżne prętów, dokonał Doktorant w rozdziale 4.3. Przy wykorzystaniu mikroskopii optycznej i skaningowej zbadał mikrostrukturę wytworzonych materiałów. Dokonał analizy chemicznej faz w poszczególnych próbkach przy użyciu SEM z przystawką EDS. Wykonał też mapy rozkłady pierwiastków oraz mapy orientacji krystalograficznej (EBSD). Przy użyciu transmisyjnego mikroskopu elektronowego zbadał mikrostrukturę i dokonał pomiaru wielkości ziarn. Przeprowadził symulację warunków równowagi termodynamicznej w programie Thermo-Calc 3.0 określając występujące w badanych stopach fazy:  $\alpha\text{-Al}$ , Si,  $\text{Al}_3\text{Ni}$ ,  $\text{La}_{0,5}\text{Ce}_{0,5}\text{Si}$  i  $\text{La}_{0,37}\text{Ce}_{0,4}\text{Nd}_{0,27}\text{Ni}_{4,2}\text{Al}_{0,8}$ .

Doktorant zbadał właściwości mechaniczne próbek z wyciśniętych prętów w próbie rozciągania w temperaturze otoczenia oraz w próbie ściskania w zakresie temperatur 20-500°C. Wyniki ostatniego cyklu badań przedstawił w formie wykresów ilustrujących zmianę wartości naprężenia ściskającego w funkcji odkształcenia.

Wyniki zrealizowanych badań zaprezentował Doktorant na bardzo starannie wykonanych fotografiach mikrostruktury oraz w formie tabel i wykresów. Dokumentacja mikrostruktury obejmująca mikrofotografie wykonane przy użyciu mikroskopii optycznej, skaningowej i transmisyjnej uzupełniona mikroanalizami składu chemicznego fazowych składników struktury, stanowi bardzo wartościowe wyniki badań i zasługuje na szczególne uznanie.

W rozdziale 4.4 Doktorant dokonał skondensowanej i rzeczowej analizy wyników badań podkreślając stwierdzone w badaniach efekty i współzależności badanych parametrów.

Rozprawa została zakończona podsumowaniem zawierającym liczne wnioski wynikające z przeprowadzonych badań i osiągniętych wyników. Wnioski dobrze uwzględniają osiągnięcia rozprawy i dowodzą potwierdzenia przyjętej tezy oraz sformułowanego celu i zakresu badań. Świadczą o dużej wartości poznawczej rozprawy i o dużym potencjale jej walorów aplikacyjnych.

Uważam, że rozprawa cechuje się oryginalnością i dużym nowatorstwem oraz wysokim poziomem naukowym i zasługuje na wyróżnienie.

Podsumowując moją opinię stwierdzam, że Doktorant bardzo stosownie i poprawnie zrealizował stosunkowo obszerną pracę badawczą o dużej wartości naukowej i aplikacyjnej. Wykazał się przy tym bardzo dobrym przygotowaniem teoretycznym, zdolnością samodzielnego planowania i realizacji badań naukowych oraz umiejętnością właściwego wykorzystania nowoczesnej aparatury i metodyki badawczej. Sformułowana przez Autora teza rozprawy oraz określony cel badań zostały potwierdzone wynikami badań, które istotnie rozszerzają stan wiedzy w zakresie teoretycznym oraz aplikacyjnym.

Dokonana ocena utwierdza mnie w przekonaniu, że rozprawa doktorska mgr inż. Dawida Kapinosa pt. „Ultradrobnoziarniste materiały wytwarzane metodą szybkiej krystalizacji na bazie stopów Al-Si-Re”, zarówno pod względem problematyki jak też poziomu naukowego, dobrze spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez Ustawę o Stopniach Naukowych i Tytule Naukowym oraz o Stopniach i Tytule w Zakresie Sztuki z dnia 14.03.2003 r. (Dz. U. Nr 65, poz. 595) z późniejszymi zmianami (Rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego; z dnia 26 września 2016 r., Dz. U. z dnia 30.09.2016 r. poz. 1586; z dnia 19 stycznia 2018 r., Dz. U. 30.01.2018, poz. 261, w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz postępowaniu o nadanie tytułu profesora) oraz Ustawy – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 3 lipca 2018 r., (Dz. U. z dnia 30 sierpnia 2018 r., poz. 1669).

W związku z powyższym wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Dawida Kapinosa do publicznej obrony przedłożonej rozprawy doktorskiej.



prof. dr hab. inż. Ferdynand Romankiewicz