

Kraków, 27.08.2019 r.

Dr hab. inż. Maciej Szczerba prof. PAN
Instytutu Metalurgii i Inżynierii Materiałowej PAN
ul. Reymonta 25, 30-059 Kraków

Recenzja osiągnięć dr. inż. Anny Kuli
ubiegającej się o nadanie stopnia doktora habilitowanego

Podstawą opracowania recenzji jest decyzja Centralnej Komisji ds. Stopni i Tytułów z dnia 7 czerwca 2019 r. oraz pismo prof. dr hab. inż. Tadeusza Knycha, Dziekana Wydziału Metali Nieżelaznych AGH z dnia 16 lipca 2019 r.

Informacje ogólne i sylwetka Kandydatki

Dr inż. Anna Kula jest absolwentką Wydziału Metali Nieżelaznych Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Pracę magisterską pt.: „Wpływ dodatku skandu na strukturę i własności stopów Al-Sc i Al-Sc-Zr”, pod opieką dr inż. Mariana Bronickiego, obroniła 05.07.2005 r. Habilitantka swoją karierę naukowej związała z Wydziałem Metali Nieżelaznych AGH. Stopień doktora nauk technicznych uzyskała 17.02.2010 r. przedkładając pracę pt.: „Analiza wpływu temperatury na strukturę i właściwości kompozytów Al(Mg)-Nb₂O₅ i Al(Mg)-ZrSi₂”, która została zrealizowana pod opieką prof. dr hab. inż. Ludwika Błaża. Uwieńczeniem działalności naukowej Kandydatki w tamtym okresie było wyróżnienie Jej pracy doktorskiej przez Radę Naukową Wydziału Metali Nieżelaznych AGH. Od 2011 dr inż. Anna Kula jest nieprzerwanie zatrudniona na Wydziale Metali Nieżelaznych AGH na stanowisku adiunkta.

Ocena autorskiej monografii stanowiącej osiągnięcie naukowe w rozumieniu Ustawy

Przedłożona monografia habilitacyjna dotyczy badań doświadczalnych nad strukturą, właściwościami mechanicznymi oraz termodynamicznymi stopów Mg-Gd oraz Mg-Y, poddanych próbie jednoosiowego rozciągania oraz ściskania w zakresie temperatur 4K-298K. Badania w zakresie niskich temperatur należy w szczególności uznać za istotnym wkład w

dziedzinę inżynierii materiałowej ze względu na brak w literaturze przedmiotu tego typu danych doświadczalnych. Jednocześnie badania te dają podstawową wiedzę dotyczącą mechanizmów deformacji plastycznej w warunkach ograniczających procesy aktywowane cieplnie.

Autorka w pierwszej części pracy zapoznaje czytelnika z aspektem użytkowym przeprowadzonych badań. Przedstawia geometryczne podstawy głównych mechanizmów deformacji plastycznej materiałów o strukturze heksagonalnej: poślizg oraz bliźniakowanie mechaniczne, opierając ich aktywację o kryterium krytycznego naprężenia ścinającego (*ang. Critical Resolved Shear Stress*). W pracy poświęcono wiele uwagi wpływu dodatku ziem rzadkich (Gd, Y) na umocnienie materiału poprzez m.in. umocnienie roztworowe lub rozdrobnienie ziarna i zależność Halla-Petcha. Jednak w przypadku stopów magnezu, na plan pierwszy wysuwa się zjawisko tekstury krystalograficznej, która w istotny sposób wpływa na właściwości plastyczne materiału. Efekt modyfikacji tekstury, a w konsekwencji właściwości mechanicznych stopów Mg poprzez dodatek Gd oraz Y jest jednym z głównych tematów niniejszej monografii. Autorka również zapoznaje czytelnika z podstawowymi pojęciami z zakresu termodynamiki i odkształcenia plastycznego (m.in. charakterystyki Hassena czy pojęć tj. powierzchni aktywowanej podczas ruchu dyslokacji), które posłużyły do interpretacji wyników doświadczalnych w późniejszej części monografii.

W części badań własnych Autorka rozpoczyna od wstępnej analizy strukturalnej otrzymanych stopów wykorzystując w tym celu m.in. wysokorozdzielczą mikroskopię elektronową. Z uzyskanych obserwacji wynika, że w zakresie mniejszych stężeń Gd oraz Y dodatki te zostają rozpuszczone w osnowie. Natomiast, przy większych stężeniach można zaobserwować tendencję do lokowania się tych pierwiastków w granicach ziaren, co z pewnością modyfikuje m.in. proces rekrytalizacji, wpływa na plastyczność materiałów oraz na transformację charakteru pęknięcia z międzykrystalicznego na transkrystaliczny.

Badania wytrzymałościowe w postaci prób jednoosiowego rozciągania oraz ściskania wykonano w trzech temperaturach (4K, 78K oraz 298K). Należy nadmienić specyfikę badanych próbek, które charakteryzowały się silną początkową teksturą w wyniku procesu walcowania z dominacją ułożenia płaszczyzn bazalnych równoległe do kierunku normalnego walcowania. Zatem, przeprowadzone próby rozciągania oraz ściskania (wzdłuż kierunku walcowania) były wykonane w specyficznych warunkach silnego ograniczenia łatwego poślizgu. W tym konkretnym przypadku zmiana składu chemicznego poprzez dodatek Gd lub Y, modyfikująca teksturę krystalograficzną, miała fundamentalny wpływ na właściwości mechaniczne

badanych stopów. Należy mieć jednak na uwadze, że w innych warunkach, chociażby poprzez zmianę kierunku deformacji, modyfikacja tekstury będzie miała zapewne dużo mniejszy wpływ na właściwości mechaniczne (np. granicę plastyczności). Efekt rozdrobnienia ziarna (zależności Halla-Petcha) powinna wtedy w większym stopniu odpowiadać za zmiany właściwości mechanicznych.

Jednym z istotnych wyników badań doświadczalnych były dane anizotropii mechanicznej podczas prób jednoosiowego rozciągania oraz ściskania. W pierwszym przypadku odkształcenie plastyczne było zdominowane przez poślizg dyslokacji i ich wzajemną interakcję (akumulację defektów i zdrowienie dynamiczne). W przypadku prób ściskania, silnie kontrybuuje mechanizm bliźniakowania mechanicznego praktycznie na każdym stadium deformacji. W początkowym stadium poprzez tworzenie bliźniaków oraz granic bliźniaczych wpływa m.in. na kryterium Halla-Petcha. Jak również w późniejszym stadium poprzez oddziaływanie bliźniak-bliźniak, co w gruncie rzeczy będzie obniżać ilość granic bliźniaczych zmniejszając kinetykę akumulacji dyslokacji poślizgowych. Silną anizotropię mechaniczną tych materiałów, reprezentowaną poprzez różnicę w granicy plastyczności w próbach rozciągania oraz ściskania, można istotnie zredukować poprzez dodatek Gd lub Y. Jednocześnie, należy mieć na uwadze, że silna anizotropia mechaniczna, w tym konkretnym przypadku, jest przede wszystkim konsekwencją specyficznej wyjściowej tekstury krystalograficznej.

Badania wytrzymałościowe wykazały wpływ dodatku Gd oraz Y na poziom naprężeń uplastyczniających przy jednoczesnym wzroście odkształcalności magnezu. Uzyskane badania doświadczalne oraz przeprowadzono analiza wyników doprowadziła do zakwestionowania klasycznej teorii umocnienia roztworowego, która opiera się o niedopasowanie promieni atomowych oraz modułów sprężystości. Autorka słusznie sugeruje konieczność analizy struktury elektronowej wiązań pomiędzy magnezem oraz Y lub Gd. Należy jednak podkreślić, iż towarzyszące wydzielienia na granicach ziaren w obu przypadkach będą modyfikować skład chemiczny roztworu, co może nieco zmienić interpretację na korzyść teorii klasycznej.

Dodatek Gd oraz Y pozytywnie wpływa na plastyczność stopów magnezu. Przełomy uzyskane w próbach rozciągania oraz ściskania mają charakter plastyczny nawet w temperaturze 4K. Natomiast, w przypadku czystego magnezu obserwuje się kruche pękanie już w temperaturze 78K. Efekt uplastycznienia w niskich temperaturach słabo odkształcalnych stopów Mg jest niezmiernie istotne z punktu aplikacyjnego. Uplastycznienie w głównej mierze

przypisuje się wzrostowi roli poślizgu na płaszczyźnie podstawy słupa heksagonalnego wraz z dodatkiem składnika stopowego.

Analizy termodynamiczne wykonano w oparciu o eksperymenty ze skokową zmianą prędkości odkształcenia. Z danych doświadczalnych wyznaczono parametr czułości na prędkość odkształcenia „m”, który w temperaturze 298K wraz ze wzrostem koncentracji składnika stopowego ulegał obniżeniu osiągając w konsekwencji negatywne wartości. Odwrotną zależność zaobserwowano obniżając temperaturę eksperymentu do 78K. Inwersja ta została wytłumaczona ograniczeniem efektu dynamicznego starzenia odkształceniowego w wyniku obniżenia temperatury. Dalsza analiza w oparciu o wyliczenia czynnika m dotyczyła wyznaczenia termodynamicznych parametrów tj. objętości aktywowanej czy dystansu aktywacyjnego dyslokacji. Główny wniosek z tej części badań dotyczy dominującej roli interakcji dyslokacji z systemów poślizgowych w trakcie płynięcia plastycznego.

Podsumowując, przedstawiona do recenzji monografia habilitacyjna jest dziełem oryginalnym i dostarcza kompleksowych informacji z zakresu fizyko-mechaniki stopów Mg-Gd oraz Mg-Y. Należy docenić i podkreślić ogrom zaprezentowanych danych doświadczalnych, a co ważniejsze ich dogłębną analizę w oparciu o szereg fizycznych parametrów deformacji plastycznej. Uzyskane wyniki badań wraz z ich interpretacją, w szczególność te dotyczące deformacji w warunkach kriogenicznych, jest istotnym wkładem naukowym w dziedzinę inżynierii materiałowej.

Ocena dorobku naukowego

Działalność naukowa Pani dr inż. Anny Kuli jest bardzo jednorodna, prawie całkowicie związana z badaniami procesów odkształcenia plastycznego. W swoim dorobku jest współautorem 19 prac z tzw. listy JCR (w tym 17 po doktoracie). Dodatkowo, jest współautorem 14 publikacji w czasopismach z poza listy (w tym 12 po doktoracie). W skład dorobku naukowego wchodzi również 10 publikacji w materiałach konferencyjnych. Wskaźniki bibliometryczne według dwóch głównych źródeł wynoszą: 166 wg bazy Web of Science (w tym 135 bez autocytowań) oraz 221 wg bazy Scopus (w tym 167 bez autocytowań) Habilitantka wygłosiła 19 referatów (14 po uzyskaniu stopnia doktora) na konferencjach międzynarodowych, w tym 12 zagranicą.

Dr inż. Anna Kula była kierownikiem trzech projektów naukowych. Pierwszy o nazwie „InnoGrant – program wspierania innowacyjnej działalności doktorantów” był realizowany jeszcze przed uzyskaniem stopnia doktora. Dwa kolejne (projekt NCN Miniatura oraz projekt wymiany akademickiej NAWA) zostały zrealizowane lub są aktualnie w trakcie realizacji. Habilitantka była również wykonawcom w dwóch projektach badawczych oraz uczestniczyła w 9-ciu pracach statutowych w latach 2011-2018.

Jednak najbardziej wyróżniająca działalność dr inż. Anny Kuli dotyczy współpracy międzynarodowej. W 2011 r. rozpoczęła staż podoktorski na Uniwersytecie McMaster w Kanadzie we współpracy z Prof. Markiem Niewczasem, gdzie w gruncie rzeczy zapoczątkowała i w znacznym stopniu zrealizowała tematykę niniejszej monografii habilitacyjnej. Współpraca ta zaowocowała również dziesięcioma publikacjami w prestiżowych czasopismach naukowych. Kolejna współpraca dotyczy tematyki lekkich materiałów metalicznych, która jest realizowana wraz z Prof. Masahiro Kubotą z Japonii oraz Dr Matthieu Bugnet z Francji.

Ocena dorobku organizacyjnego, dydaktycznego i popularyzatorskiego

Dr inż. Anna Kula prowadziła liczne wykłady na swojej uczelni macierzystej m.in. w ramach przedmiotów tj.: Kompozyty Metaliczne, Kształtowanie Struktury i Właściwości Materiałów czy Fizyczne i Strukturalne Podstawy Odkształcenia Plastycznego. Na podkreślenie zasługuje działalność związana z opracowaniem od podstaw treści wykładów oraz ćwiczeń laboratoryjnych w języku angielskich z przedmiotu „Metal Matrix Composites”. Dr inż. Anna Kula będąc na stanowisku adiunkta była promotorem łącznie 29 prac dyplomowych magisterskich i inżynierskich oraz 15-krotnie pełniła rolę recenzenta. Habilitantka również intensywnie udzielała się na rzecz popularyzacji nauki w ramach działalności Wydziału Metali Nieżelaznych AGH poprzez udział i/lub organizację Festiwalu Nauki i Sztuki, Dni Otwartych AGH oraz przy opiece nad studentami w ramach Studenckiej Sesji Kół Naukowych Pionu Hutniczego. Od 2017 r. pełni również rolę Członka Komisji ds. Egzaminów dyplomowych studiów II stopnia.

Podsumowując, dr inż. Anna Kula w okresie kilku lat intensywnie działała w zakresie naukowo-dydaktycznych, w tym przede wszystkim w zakresie współpracy międzynarodowej. Dorobek ten może być stawiany za wzór innym osobom dążącym do uzyskania stopnia doktora habilitowanego.

Wniosek końcowy

W mojej opinii dorobek naukowy dr inż. Anny Kuli jest wystarczający do uzyskania stopnia naukowego doktora habilitowanego i z całą pewnością wnosi "znaczny wkład Autora w rozwój określonej dyscypliny naukowej" jak wymaga tego Ustawa. Jednocześnie, stwierdzam, że Habilitantka w sposób istotny powiększyła swój dorobek naukowy w okresie po uzyskaniu stopnia doktora.

Stwierdzam zatem, że dr inż. Anna Kula spełnia wymagania określone w Ustawie o Stopniach Naukowych i Tytule Naukowym oraz Stopniach i Tytule w Zakresie Sztuki z dnia 14.03.2003 r. (Dz. U. Nr 65 poz. 595 z 2003 roku z późniejszymi zmianami). Tym samym z przyjemnością wnioskuję o nadanie dr. inż. Annie Kuli stopnia doktora habilitowanego w obszarze nauk technicznych.

Małgorzata Szczęsna