

Autoreferat

Dr inż. Anna Kula

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w
Krakowie

Wydział Metali Nieżelaznych

Pracownia Struktury i Mechaniki Ciała Stałego

Al. Mickiewicza 30
30-059 Kraków

Kraków, 2019

Spis treści

1. Imię i Nazwisko.....	3
2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe.....	3
3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu.....	4
4. Wskazanie osiągnięcia naukowego stanowiącego dzieło opublikowane w całości.....	4
5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych wnioskodawcy, świadczących o istotnej aktywności naukowej habilitanta.....	17
5.1. Działalność naukowa prowadzona przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora.....	17
5.2. Działalność naukowa prowadzona po uzyskaniu stopnia naukowego doktora.....	20
5.3. Działalność dydaktyczna i organizacyjna.....	23
Sumaryczne zestawienie osiągnięć wnioskodawcy.....	25

1. Imię i Nazwisko

Anna Kula

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania, tytułu rozprawy doktorskiej i nazwisk osób, które pełniły funkcję promotora i recenzentów

Doktor nauk technicznych

Kierunek: Inżynieria Materiałowa

Tytuł pracy: Analiza wpływu temperatury na strukturę i własności kompozytów Al(Mg)-Nb₂O₅ i Al(Mg)-ZrSi₂ (praca wyróżniona uchwałą Rady Wydziału Metali Nieżelaznych)

Data obrony: 17.02.2010

Miejsce: Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Metali Nieżelaznych

Promotor: prof. dr hab. inż. Ludwik Błaż

Recenzenci: prof. dr hab. inż. Henryk Dybiec (AGH),
prof. dr hab. inż. Jan Sieniawski (Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza w Rzeszowie)

Magister Inżynier

Kierunek: Inżynieria Materiałowa

Tytuł pracy: Wpływ dodatku skandiu na strukturę i własności stopów Al-Sc i Al-Sc-Zr

Data obrony: 05.07.2005

Miejsce: Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Metali Nieżelaznych

Promotor: dr inż. Marian Bronicki

Recenzent: prof. dr hab. inż. Janusz Gryziecki (AGH)

Międzywydziałowe Studium Pedagogiczne

Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Instytut Nauk Społecznych, Studium Przygotowania Pedagogicznego

2002 - 2004

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

Adiunkt:

Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Metali Nieżelaznych, Pracownia Struktury i Mechaniki Ciała Stałego

01.01.2011 - obecnie

Asystent:

Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Metali Nieżelaznych, Katedra Struktury i Mechaniki Ciała Stałego

01.07.2009 – 31.12.2010

4. Wskazanie osiągnięcia naukowego, uzyskanego po otrzymaniu stopnia doktora, stanowiącego znaczny wkład w rozwój dyscypliny Inżynieria Materiałowa zgodnie z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2017 r. poz. 1789):

a) Tytuł osiągnięcia naukowego/artystycznego

Mechanizmy i parametry aktywacyjne odkształcenia plastycznego stopów Mg-Gd i Mg-Y zachodzącego w warunkach silnego ograniczenia łatwego poślizgu dyslokacji

b) (autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa, recenzenci wydawniczy),

Jako moje osiągnięcie naukowe, uzyskane po otrzymaniu stopnia doktora nauk technicznych, stanowiące znaczny wkład w rozwój dyscypliny Inżynieria Materiałów, określone w art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2017 r. poz. 1789), wskazuję autorską monografię – dzieło opublikowane w całości:

Mechanizmy i parametry aktywacyjne odkształcenia plastycznego stopów Mg-Gd i Mg-Y zachodzącego w warunkach silnego ograniczenia łatwego poślizgu dyslokacji

Anna Kula

Kraków, 2019

Wydawnictwo Naukowe Akapit

ISBN 978-83-65955-22-7

Wydawnictwo Naukowe Akapit, Kraków

Recenzenci wydawniczy:

Prof. dr hab. inż. Marek Szczerba, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział
Metali Nieżelaznych

Prof. Marek Niewczas, Ph. D, P. Eng., Department of Materials Science and
Engineering, McMaster University, Hamilton, Kanada

c) omównienie celu naukowego/artystycznego ww. pracy/prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

Monografia, którą wskazałam jako główne osiągnięcie naukowe do postępowania habilitacyjnego, przedstawia zestaw oryginalnych wyników badań doświadczalnych związanych z deformacją plastyczną polikrystalicznego magnezu (Mg) i jego stopów z pierwiastkami ziem rzadkich typu gadolin (Gd) oraz itr (Y). Istotny wkład mojej pracy habilitacyjnej do nauki w dyscyplinie Inżynieria Materiałowa wynika z unikalnego charakteru informacji naukowych na temat strukturalnych mechanizmów deformacji plastycznej i parametrów procesu odkształcenia stopów Mg-Gd oraz Mg-Y o budowie roztworów stałych, rozciąganych i ściskanych w zakresie niskich temperatur tj. 298K, 78K oraz 4K w warunkach znacznego ograniczenia aktywności bazalnego systemu poślizgu.

Magnez ze względu na swój najmniejszy ciężar właściwy wśród metali konstrukcyjnych uważany jest za materiał przyszłościowy, szczególnie w tych gałęziach przemysłu, gdzie obniżenie masy ma priorytetowe znaczenie. Dodatkowe cechy magnezu takie jak: wysoka wytrzymałość właściwa, duża zdolność do tłumienia drgań, bardzo dobra skrawalność i łatwość recyklingu sprawiają, iż magnez staje się coraz bardziej atrakcyjnym materiałem konstrukcyjnym zwłaszcza dla przemysłu transportowego. Niestety, słaba odporność korozyjna, łatwopalność oraz niska odkształcalność magnezu w temperaturach otoczenia powoduje, iż zastosowanie tego typu materiału może być poważnie ograniczone.

Aspekt niskiej odkształcalności magnezu i jego stopów stanowi jeden z bardzo poważnych problemów kształtowania plastycznego tej grupy materiałów, która wpływa na możliwości przetwórstwa, a zarazem szerokiego ich zastosowania w warunkach komercyjnych. Źródłem ograniczonej odkształcalności magnezu jest heksagonalna sieć krystaliczna, która ze względu na niższy stopień symetrii w porównaniu do materiałów regularnych, wykazuje ograniczoną ilość łatwych systemów deformacji decydującą o jego plastyczności w niskich temperaturach. Ponadto, tworzenie się bardzo silnej tekstury podczas przeróbki plastycznej, wpływa na anizotropię właściwości, co dodatkowo potęguje problemy podczas procesów plastycznego kształtowania wyrobów. Jednym z proponowanych rozwiązań zmierzających w kierunku poprawy odkształcalności i osłabienia tekstury jest modyfikacja składu chemicznego stopów magnezu poprzez dodatek pierwiastków ziem rzadkich (ang. Rare Earth Elements, REE). Pierwiastki stopowe typu REE stanowiące dodatek do Mg mogą: (i) pełnić rolę modyfikatorów tekstury, (ii) umożliwić aktywację nie-bazalnych systemów poślizgu w warunkach odkształcenia plastycznego w niskich temperaturach, (iii) wywoływać efekt umocnienia stopu, (iv) zwiększać odporność na pełzanie oraz (v) poprawiać plastyczność stopów na bazie Mg. Zakres oddziaływania metali ziem rzadkich na właściwości stopów Mg jest bardzo szeroki i często opisywany w literaturze tematu, aczkolwiek pomimo bogatej wiedzy z zakresu stopów Mg-REE, mechanizm oddziaływania pierwiastków ziem rzadkich, zarówno z punktu widzenia poprawy plastyczności, efektów umocnienia jak również ich wpływu na aktywację poszczególnych mechanizmów deformacji plastycznej wciąż do końca nie jest poznany, zwłaszcza jeśli chodzi o zakres kriogenicznych temperatur. **Podjęte przeze mnie prace badawcze miały zatem na celu określenie wpływu pierwiastków ziem rzadkich na**

charakterystyki odkształcania plastycznego stopów na bazie magnezu. Realizację postawionego celu pracy oparto o szereg prac doświadczalnych, które obejmowały badania strukturalne oraz właściwości mechanicznych przeprowadzonych na modelowych stopach magnezu z dodatkiem gadolinu (Gd) oraz itru (Y) w zakresie temperatur 4K – 298K. Wybrany zakres niskich temperatur odkształcania ma szczególne znaczenie ze względu na to, iż w literaturze brak jest jakichkolwiek informacji na temat właściwości mechanicznych tej grupy materiałów odkształcanych w tym przedziale temperaturowym. Ponadto, wartość prac doświadczalnych przeprowadzonych w temperaturze 78K oraz 4K wynika z nowej oraz unikalnej wartości informacji na temat mechanizmów kontrolujących proces odkształcania plastycznego podwójnych stopów Mg-Gd oraz Mg-Y w warunkach, gdzie procesy aktywowane cieplnie są silnie tłumione. Przeprowadzone badania eksperymentalne dostarczają podstawowych informacji na temat: (i) właściwości mechanicznych podwójnych stopów Mg-Gd oraz Mg-Y, (ii) mechanizmów płynięcia plastycznego stopów w zależności od koncentracji dodatku stopowego i warunków deformacji, (iii) związku pomiędzy składem chemicznym stopu, a charakterystykami prędkości umocnienia i plastycznością, (iv) mechanizmów, które kontrolują plastyczność stopów i prowadzą do jego pęknięcia w różnych warunkach temperaturowo-prędkościowych, (v) mechanizmów, które dominują w procesie odkształcania w warunkach rozciągania i ściskania, (vi) ewolucji tekstury w zależności od warunków deformacji oraz (vii) termodynamicznych parametrów odkształcania.

Opis zagadnienia badawczego poruszanego w autorskiej monografii rozpoczęto od przedstawienia teoretycznych aspektów odkształcania plastycznego materiałów heksagonalnych w tym systemów deformacji plastycznej jakim jest poślizg dyslokacji oraz bliźniakowanie mechaniczne. Wyróżniono podstawowe systemy poślizgu, które mogą być aktywowane w magnezie i jego stopach przy uwzględnieniu kryterium krytycznego rozłożonego naprężenia ścinającego (ang. Critical Resolved Shear Stress, CRSS). W pracy przedstawiono również teoretyczne podstawy bliźniakowania mechanicznego, który obok poślizgu stanowi podstawowy mechanizm deformacji plastycznej operujący w Mg i jego stopach. W tym przypadku, bliźniakowanie stanowi dodatkową składową umożliwiającą odkształcenie liniowe wzdłuż osi *c* słupa heksagonalnego, niezbędną do zapewnienia

ciągłego i jednorodnego odkształcenia materiału bez pękania. W pracy przedstawiono klasyfikację typowych bliźniaków aktywowanych podczas deformacji plastycznej magnezu, w tym: (i) bliźniaki rozciągania typu $\{10\bar{1}2\} < \bar{1}011 >$ (ang. extension twins), (ii) bliźniaki ściskania typu $\{10\bar{1}1\} < 10\bar{1}\bar{2} >$ (ang. contraction twins) oraz (iii) bliźniaki wtórne typu $\{10\bar{1}2\} - \{10\bar{1}2\}$, $\{10\bar{1}1\} - \{10\bar{1}2\}$ oraz $\{10\bar{1}3\} - \{10\bar{1}2\}$ (ang. double twins).

W monografii zawarto również zagadnienia dotyczące podstawowych mechanizmów umocnienia, które wykorzystuje się do zwiększenia wytrzymałości materiałów krystalicznych w tym magnezu i jego stopów. Zwrócono uwagę, iż w przypadku Mg największe praktyczne znaczenie mają mechanizmy bazujące na wprowadzaniu dodatków stopowych do roztworu, często połączone z zabiegiem kontrolowanego ich wydzielania z przesyconego roztworu stałego oraz mechanizmy wykorzystujące efekt rozdrobnienia ziarna. Szczególną uwagę w monografii poświęcono zjawisku tekstury i jej wpływie na deformację plastyczną, zwłaszcza w magnezie i jego stopach. Przedstawiono aktualne działania naukowo-badawcze zmierzające w kierunku modyfikacji uprzywilejowanej orientacji krystalograficznej ziarn. W tym kontekście przedyskutowano między innymi wpływ pierwiastków ziem rzadkich na teksturę rekrytalizacji wraz z mechanizmami, które mogą być odpowiedzialne za efekt osłabienia tekstury i zarodkowania ziarn o losowej orientacji.

W pracy zamieszczono również ogólną charakterystykę pierwiastków ziem rzadkich, z uwzględnieniem podstawowych informacji na temat generalnego ich podziału, wielkości promieni atomowych, modułów sprężystości E i G, rozpuszczalności w Mg oraz ich ewentualnym potencjale umacniającym wynikającym z ich obecności w roztworze magnezu. Rozpatrując pierwiastki ziem rzadkich przedstawiono również aktualny stan wiedzy na temat właściwości mechanicznych stopów magnezu z dodatkami metali RE, uwzględniając w szczególności aspekt poprawy plastyczności stopów Mg-REE.

W części teoretycznej pracy podjęto również tematykę czułości na prędkość odkształcenia rozpatrywanej w kontekście termodynamicznych aspektów deformacji plastycznej, które stanowią podstawę do dyskusji na temat mechanizmów kontrolujących proces odkształcenia. Wprowadzono podstawowe informacje w tym klasyfikację przeszkód dla ruchu dyslokacji, która opiera się na wielkości energii, która musi być dostarczona dyslokacji blokowanej przez przeszkodę, do jej pokonania. W uzupełnieniu przedstawiono

również tzw. charakterystyki Haasena, które w przypadku badań własnych zostały wykorzystane do identyfikacji dominującego mechanizmu odkształcania podczas deformacji plastycznej oraz wyznaczenia termodynamicznych parametrów odkształcania plastycznego tj. termodynamicznego i inżynierskiego paramteru czułości na prędkość odkształcania m oraz termalnego komponentu płynięcia plastycznego, a w następnej kolejności objętości aktywowanej ΔV^* oraz dystansu aktywacyjnego dyslokacji d podczas aktywacji termicznej.

Część teoretyczna pracy porusza zagadnienia istotne dla zrozumienia podstawowych mechanizmów deformacji plastycznej materiałów heksagonalnych w tym magnezu i jego stopów. Dodatkowo, analiza literaturowa stanu wiedzy z zakresu stopów Mg-REE umożliwiła ocenę aktualności proponowanego zagadnienia badawczego oraz pozwoliła na ukierunkowanie prac eksperymentalnych w stronę deformacji plastycznej w warunkach kriogenicznych temperatur, które do tej pory nie były prezentowane w literaturze tematu.

Badania własne przeprowadzonych dla serii podwójnych stopów magnezu z dodatkiem różnej zawartości gadolinu oraz itru. Kompozycje stopów dobierano tak, by zapewnić pełną rozpuszczalność pierwiastków stopowych w osnowie Mg i utworzyć roztwory stałe. Modelowe stopy przygotowano samodzielnie w warunkach laboratoryjnych i w przypadku stopów Mg-Gd zawartość Gd w roztworze mieściła się w zakresie od 0.22at.% do 0.74at.%, zaś w przypadku stopów z dodatkiem Y od 0.30at.% do 1.13at.%. Przygotowane wlewki wpieryw homogenizowano, a następnie walcowano w temperaturze pokojowej.

W następnej kolejności modelowe stopy Mg-Gd oraz Mg-Y poddano badaniom obejmującym:

- (i). Obserwacje mikrostruktury przy użyciu skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM) oraz wysokorozdzielczej skaningowej transmisyjnej mikroskopii elektronowej (STEM) wraz z pierścieniowym detektorem ciemnego pola (HAADF)
- (ii). Badania właściwości mechanicznych oparte na próbach rozciągania i ściskania w temperaturach 298K, 78K oraz 4K.

- (iii). Badania czułości na prędkość odkształcania oparte o szereg eksperymentów wykorzystujących skokową zmianę prędkości odkształcania przeprowadzone w temperaturze 298K oraz 78K.
- (iv). Badania makro- i mikrotekstury wykorzystujące dyfraktometr rentgenowski oraz techniki EBSD oraz t-EBSD.

Wpływ dodatku gadolinu (Gd) oraz itru (Y) na mikrostrukturę

Obserwacje mikrostruktury przeprowadzono głównie w celu potwierdzenia, iż dodatki stopowe w postaci Gd oraz Y zostały rozpuszczone w osnowie Mg oraz określenia wielkości ziarna badanych stopów. Obserwacje wykonane na poziomie powiększeń oferowanych przez SEM potwierdziły brak wydzielenia drugiej fazy w badanych stopach, jedynie okazjonalnie w niektórych obszarach mikrostruktury, zwłaszcza w przypadku stopów z największą zawartością składników stopowych, wykryto obecność faz wzbogaconych w Gd oraz Y, aczkolwiek ich niewielki udział objętościowy ($\ll 1\%$) nie wpływa na właściwości wytrzymałościowe oraz plastyczność badanych stopów.

Szczegółową analizę mikrostruktury oparto na wysokorozdzielczych technikach obserwacji STEM-HAADF, które pozwoliły na określenie dystrybucji indywidualnych pierwiastków ziem rzadkich w osnowie Mg. Przeprowadzone badania wskazują na praktycznie jednorodne rozmieszczenie atomów Gd i Y w matrycy Mg, aczkolwiek w niektórych obszarach mikrostruktury wyróżniono kolumny atomów wzbogacone w kolonie 2-6 atomów Gd lub Y. Obserwacje mikrostruktury przeprowadzone w obszarach granic ziarn wskazują, iż Gd oraz Y wykazują znaczną tendencję do przyjmowania innych form dystrybucji niż tej zaobserwowanej w wnętrzach ziarn. W przypadku stopów Mg-Gd, wyraźnie zaobserwowano dużą skłonność atomów gadolinu do segregacji w granicach ziarn o charakterze dużego kąta. Co więcej, zaobserwowano, iż efekt segregacji wzdłuż granicy ziarna jest niejednorodny, co przejawia się tworzeniem krystalicznych klastrów gadolinu o wielkości $\sim 1-2$ nm. Efekt segregacji potwierdzono obserwacjami przy użyciu detektora HAADF (technika Z-kontrast) oraz analizą składu chemicznego wykonaną techniką EELS. Warto w tym miejscu podkreślić, iż dyskutowany efekt segregacji atomów Gd w granicach ziarn w literaturze został przedstawiony i zobrazowany w formie STEM-

HAADF i EELS, jako jeden z pierwszych i pionierskich badań (**załącznik 4, pkt. II, poz. A8**), służąc tym samym szerokiej dyskusji na temat zjawiska segregacji pierwiastków ziem rzadkich w magnezie i jego stopach. Wyniki tych badań prezentowano na wielu międzynarodowych konferencjach (**załącznik 4, pkt. II, poz. L: 9, 10, 11, 12**).

W przypadku stopów Mg-Y efekt segregacji również został potwierdzony przez wysokorozdzielcze obserwacje, przy czym w tym przypadku segregacja ma charakter jednorodny. Dodatkowo, zaobserwowano, iż na granicach ziarn dochodzi do wydzielania się kompleksowych cząstek faz międzymetalicznych typu Mg-Fe-Cr-Y lub Mg-Cu-Y o wielkości w granicach od 10 do 100 nm. W tym przypadku uzyskane wyniki badań również opublikowano (**załącznik 4, pkt. II, poz. A13**) i przedstawiano na konferencjach zagranicznych (**załącznik 4, pkt. II, poz. L: 16, 17, 18**).

Efekt migracji metali ziem rzadkich typu Gd oraz Y wynika z naturalnej tendencji układu do minimalizacji energii swobodnej oraz redukcji naprężeń występujących lokalnie w okolicy granic ziarn. Ponadto, lokowanie się tych pierwiastków w obszarach granic ziarn pozwala na bardziej efektywną ich akomodację w sieci magnezu. Ulokowanie atomów Gd oraz Y w granicach ziarn ma swoje konsekwencje przejawiające się między innymi zmianą kinetyki procesu rekrytalizacji, mającej w tym przypadku duże znaczenie zwłaszcza z punktu widzenia modyfikacji tekstury rekrytalizacji. Ponadto, tak jak wskazują badania własne, efekt segregacji może wpływać na wytrzymałość kohezyjną granic ziarn. **Wzmocnienie granic ziarn poprzez preferencyjne ulokowanie atomów Gd i Y wpływa na plastyczność badanych stopów i przejawia się zmianą charakteru pęknięcia materiałów z międzykrystalicznego na transkrystaliczny.**

Wpływ dodatku gadolinu (Gd) oraz itru (Y) na właściwości mechaniczne

Badania właściwości mechanicznych stanowią fundament przedstawionej pracy naukowo-badawczej. Badania mechaniczne oparto na próbach jednoosiowego rozciągania i ściskania w temperaturze wrzenia ciekłego helu (4K), ciekłego azotu (78K) oraz w warunkach temperatury otoczenia (298K). Na tym etapie ważnym aspektem związanym z

deformacją plastyczną jest tekstura badanych stopów, która bardzo silnie determinuje mechanizmy deformacji aktywowane podczas ściskania i rozciągania. Globalne pomiary tekstury badanych stopów wskazują, iż większość ziarn dziedziczy teksturę walcowania pomimo zastosowania operacji wyżarzania rekrytalizującego zadanego po przeprowadzonym procesie walcowania na zimno. W tym przypadku, ziarna zorientowane są w ten sposób, że oś c komórki heksagonalnej jest równoległa do kierunku normalnego (ND), lub innymi słowy, płaszczyzna bazalna $\{0002\}$ leży w płaszczyźnie normalnej walcowanej blachy. Przy tak określonej orientacji ziarn, kierunek rozciągania oraz kierunek ściskania zadano prostopadle do osi c słupa heksagonalnego, bądź innymi słowy równoległe do kierunku walcowania (RD). Modyfikujący charakter oddziaływania dodatków stopowych w postaci Gd i Y przejawia się mniejszą intensywnością tekstury wraz ze wzrostem zawartości Gd i Y w porównaniu do czystego Mg oraz większym stopniem odchylenia bazalnych płaszczyzn od kierunku normalnego, co skutkuje znacznie większym ich rozprzestrzenieniem wokół ND. Konsekwencją takiego zachowania jest transformacja pewnej frakcji ziarn z „twardej” orientacji, niekorzystnie zorientowanej na poślizg w płaszczyźnie bazalnej do orientacji „miękkiej”, w której uruchomienie bazalnego poślizgu jest znacznie łatwiejsze.

Przeprowadzone badania eksperymentalne w zadanym zakresie temperatur wskazują, iż stopy Mg-Gd oraz Mg-Y wykazują jakościowo podobne zachowanie przejawiające się podobnym przebiegiem charakterystyk odkształcania zarejestrowanych w 4K, 78K oraz 298K.

Generalnie, charakterystyki odkształcania, $\sigma_{rz} - \varepsilon_{rz}$, oraz krzywe prędkości umocnienia, $\Theta - \sigma$, wykazują odmienny przebieg w warunkach rozciągania i ściskania na skutek różnych mechanizmów deformacji kontrolujących proces płynięcia plastycznego. Niezależnie od temperatury deformacji, **w warunkach rozciągania proces odkształcania zdominowany jest przez poślizg** zainicjowany w różnych systemach deformacji w tym w płaszczyźnie bazalnej. W tych warunkach, wzajemne interakcje pomiędzy dyslokacjami kontrolują kinetykę akumulacji i zdrowienia dynamicznego defektów w podstrukturze, zaś odkształcanie materiałów związane jest ze Stadium III umocnienia odkształceniowego.

Podczas ściskania, proces deformacji odbywa się wieloetapowo i podzielony jest na co najmniej cztery Stadia, opisane jako Stadium A, B, C oraz D. W przypadku stopów Mg-Gd

oraz Mg-Y proces odkształcenia zapoczątkowany jest intensywnym procesem bliźniakowania mechanicznego, reprezentującym Stadium A charakterystycznym dla niskiej prędkości umocnienia. Lokalne pomiary orientacji wykonane techniką EBSD wskazują, iż proces umocnienia na tym etapie odkształcenia jest determinowany przez bliźniaki typu $\{10\bar{1}2\}$, które w większości zarodkują przy granicy zrekrystalizowanych ziarn, a następnie propagują w głąb i dzielą pierwotne ziarno na wiele „podziarn”. Wprowadzenie granic bliźniaczych do mikrostruktury badanych stopów skutkuje szybkim wzrostem umocnienia na skutek ograniczenia drogi swobodnej dyslokacji przemieszczających się podczas deformacji (Stadium B). Maksymalne umocnienie, charakterystyczne dla Stadium C, osiągnięte jest wówczas, gdy większość materiału jest przetransformowana do nowej, bliźniaczej orientacji, co według pomiarów następuje po około 8% odkształcenia plastycznego. Poziom umocnienia określany przez Etap C oraz jego zakres odzwierciedla skalę równowagi ukształtowanej pomiędzy konkurencyjnymi procesami gromadzenia defektów i ich anihilacji na skutek dynamicznych procesów zdrowienia. Procesy zainicjowane na Etapie C i później kontynuowane w Stadium D związane są ze zjawiskiem łączenia się bliźniaków i stopniowej eliminacji barier dla ruchu dyslokacji w postaci granic bliźniaczych. W końcowym etapie deformacji, poślizg oraz wzajemne interakcje pomiędzy dyslokacjami stanowią podstawowy mechanizm kontrolujący kinetykę akumulacji defektów i ich dynamicznego zdrowienia.

Z przeprowadzonych badań wytrzymałościowych wynika, iż dodatek gadolinu oraz itru znacząco wpływa na poziom naprężeń uplastyczniających oraz odkształcalność magnezu. Dodatkowym czynnikiem determinującym poziom naprężeń jest temperatura odkształcania, która w szczególności odzwierciedla efektywność umocnienia wynikającą z obecności dodatków stopowych w roztworze. Szczegółowa analiza umocnienia wywołanego obecnością atomów obcych w roztworze magnezu wskazuje, iż badane stopy spełniają zależność pomiędzy naprężeniem $\Delta\sigma_{ss}$, określającym komponent umocnienia roztworowego, a koncentracją dodatku stopowego c w roztworze, zgodnie z relacją $\Delta\sigma_{ss} \sim k_{ss}c^n$. Na podstawie prac eksperymentalnych wyznaczono parametr n relacji $\Delta\sigma_{ss} \sim k_{ss}c^n$ zarówno dla warunków jednoosiowego rozciągania jak i ściskania. Uzyskane wyniki sugerują, iż dodatek Gd oraz Y umacniają w większym stopniu systemy deformacji

plastycznej dominujące w warunkach ściskania, a w szczególności bliźniakowanie typu $\{10\bar{1}2\}$.

Opierając się na klasycznych teoriach umocnienia roztworowego Fleischer'a i Labush'a bazujących na niedopasowaniu promieni atomowych oraz modułów sprężystości G pierwiastka rozpuszczonego i rozpuszczalnika, stwierdzono, iż teorie te nie są wystarczające do wytłumaczenia efektów umocnienia związanych z obecnością gadolinu oraz itru w roztworze stałym. Sugeruje się, iż dodatkowo na całkowity efekt umocnienia ma również wpływ struktura elektronowa, a zwłaszcza kowalencyjny charakter wiązań jaki tworzy się pomiędzy magnezem oraz itrem lub gadolinem.

Ważnym aspektem deformacji plastycznej magnezu i jego stopów jest problem anizotropii właściwości, przez którą rozumie się asymetrię naprężeń związanych z przejściem ze stanu sprężystego w stan plastyczny podczas ściskania i rozciągania (σ_{YC}/σ_{YT}). Zjawisko to przeanalizowano dla stopów Mg-Gd oraz Mg-Y i porównano z wynikami zarejestrowanymi dla czystego Mg. **Z przeprowadzonych badań wynika, iż dodatek Gd oraz Y wpływa pozytywnie na redukcję anizotropii właściwości.** Skuteczność redukcji asymetrii związana z dodatkiem gadolinu oraz itru wynika głównie z modyfikującego wpływu tych pierwiastków na teksturę rekrytalizacji, co w konsekwencji prowadzi do bardziej zbalansowanego udziału bliźniakowania i poślizgu w deformacji plastycznej realizowanej w warunkach ściskania i rozciągania.

Seria eksperymentów przeprowadzonych w warunkach rozciągania i ściskania w zakresie temperatur 298K do 4K potwierdza, iż **dodatek gadolinu oraz itru wpływa pozytywnie na plastyczność stopów magnezu.** Zwiększony poziom plastyczności ma swoje bezpośrednie odzwierciedlenie w budowie makroskopowej przełomów uzyskanych w próbach rozciągania i ściskania. Obserwacje SEM wskazują, iż stopy Mg-Gd i Mg-Y wykazują cechy przełomu plastycznego bądź mieszanego aż do 4K, podczas gdy czysty Mg już w warunkach 78K ulega kruchemu, międzykrystalicznemu pękaniu na skutek utrudnionej akomodacji odkształcenia plastycznego między sąsiednimi ziarnami.

Efekt poprawy plastyczności stopów z dodatkiem pierwiastków ziem rzadkich przypisuje się: (i) ułatwionemu poślizgowi w systemie bazalnym na skutek modyfikacji niekorzystnej

orientacji ziarn w kierunku orientacji uprzywilejowanych na poślizg bazalny, (ii) podwyższonej aktywności nie-bazalnych dyslokacji oraz (iii) ułatwionemu poślizgowi poprzecznemu dyslokacji na płaszczyznach pryzmatycznych i piramidalnych.

Termodynamiczne aspekty deformacji plastycznej stopów Mg-Gd oraz Mg-Y

W celu wyznaczenia termodynamicznych parametrów odkształcenia plastycznego przeprowadzono serię eksperymentów czułości na prędkość odkształcania wykorzystujących skokową zmianę prędkości odkształcania. **Na podstawie uzyskany wyników badań stwierdzono, iż niezależnie od warunków deformacji, w temperaturze pokojowej wraz ze wzrostem zawartości dodatków stopowych parametr czułości na prędkość odkształcenia m maleje i osiąga negatywne wartości w przypadku stopów o dużej koncentracji Gd oraz Y.** W temperaturze 78K zaobserwowano odwrotny efekt tj. wzrost parametru m wraz ze wzrostem zawartości dodatku gadolinu oraz itru w roztworze stałym. Zaobserwowane zmiany parametru m w temperaturze 298K można przypisać zjawisku interakcji atomów obcych z dyslokacjami, znanemu jako dynamiczne starzenie odkształceniowe (ang. Dynamic Strain Ageing, DSA). Zjawisko DSA ma dyfuzyjnych charakter, zatem w niskich temperaturach zostaje całkowicie wygaszone ze względu na ograniczoną mobilność obcych atomów w tych warunkach.

Analiza termodynamicznych parametrów odkształcenia w tym objętości aktywowanej ΔV^* oraz dystansu aktywacyjnego dyslokacji d podczas aktywacji termicznej wskazuje, iż **fundamentalnym mechanizmem kontrolującym proces płynięcia plastycznego są wzajemne interakcje pomiędzy dyslokacjami aktywowanymi w różnych systemach poślizgu.** Rola atomów obcych i ich interakcja z dyslokacjami poślizgowymi staje się ważnym elementem procesu ze względu na większy udział termicznego komponentu płynięcia plastycznego wyznaczonego z charakterystyk Haasen'a.

Podsumowanie:

Przedstawione osiągnięcie naukowe obejmuje kompleksowe badania mikrostruktury, makro- i mikrotekstury, właściwości mechanicznych oraz termodynamicznych parametrów aktywacyjnych odkształcenia plastycznego podwójnych stopów Mg-Gd oraz Mg-Y. Zaprezentowany zestaw wyników eksperymentalnych, oparty na serii prób jednoosiowego rozciągania i ściskania w zakresie temperatur 298K – 4K, ma unikalną wartość ze względu na nowy charakter przedstawionych informacji naukowych, które dotychczas nie były prezentowane w literaturze tematu.

Przeprowadzone badania wskazują, iż stopy Mg-Gd oraz Mg-Y wykazują jakościowo podobne zachowanie, zarówno w aspekcie strukturalnym odnoszącym się do efektu segregacji w granicach ziarn oraz tekstury, jak również makroskopowych właściwości odzwierciedlonych w przebiegu charakterystyk odkształcenia. Zachowanie pojedynczych stopów Mg-Gd i Mg-Y zależy od ilości dodatku stopowego rozpuszczonego w osnowie Mg oraz indywidualnych cech struktury w tym stopnia modyfikacji tekstury determinującej aktywność poślizgu i bliźniakowania w warunkach zadanego obciążenia rozciągającego i ściskającego.

Zakres prac badawczych, wyników badań wraz z ich analizą w pełni realizuje postawione cele pracy, dostarczając tym samym podstawowych informacji na temat: (i) właściwości mechanicznych podwójnych stopów Mg-Gd oraz Mg-Y wraz z mechanizmami płynięcia plastycznego stopów w zależności od koncentracji dodatku gadolinu i itru oraz warunków deformacji, (ii) związku pomiędzy składem chemicznym stopu, a charakterystykami prędkości umocnienia i plastycznością, (iii) mechanizmów, które kontrolują plastyczność stopów i prowadzą do jego pęknięcia w różnych warunkach temperaturowych, (iv) mechanizmów, które dominują w procesie odkształcania w warunkach rozciągania i ściskania wraz z ewolucją tekstury w zadanych warunkach deformacji oraz (v) parametrów termicznej aktywacji procesu odkształcenia plastycznego.

Większość prac eksperymentalnych w tym produkcja stopów, wysokorozdzielcze obserwacje mikrostruktury, badania tekstury oraz badania właściwości mechanicznych w temperaturze otoczenia oraz w warunkach kriogenicznych przeprowadzono w laboratoriach Uniwersytetu McMaster w Kanadzie w czasie stażu podoktorskiego

(załącznik 4, pkt. III, poz. L: 2 do 5). Zaprezentowane w monografii wyniki badań zostały częściowo opublikowane w prestiżowych czasopismach naukowych typu Philosophical Magazine (2016r.) czy International Journal of Plasticity (2017r.) (załącznik 4, pkt. II A, poz. A8, A9, A12, A13) oraz dyskutowane na międzynarodowym forum obejmującym wiele konferencji międzynarodowych (załącznik 4, pkt. II, poz. L; 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 15, 16, 17, 18). Ponadto, wiele dyskusji naukowych dotyczących realizowanej tematyki badawczej prowadzono w gronie środowiska przemysłowego General Motors (GM), który częściowo finansował realizację projektu badawczego. Stworzone fundamentalne kompendium wiedzy w zakresie odkształcania plastycznego stopów na bazie Mg z dodatkiem pierwiastków ziem rzadkich ma nie tylko naukowy charakter wpisujący się w obszar badań podstawowych ale również praktyczny i wymierny efekt ze względu na duży potencjał aplikacyjny zdobytej wiedzy przy projektowaniu stopów na bazie magnezu nowej generacji, które będą stanowić podstawowe elementy konstrukcji samochodów osobowych koncernów motoryzacyjnych typu General Motors.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych wnioskodawcy, świadczących o istotnej aktywności naukowej habilitanta

5.1. Działalność naukowa prowadzona przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora

Jestem absolwentką Wydziału Metali Nieżelaznych (kierunek: Inżynieria Materiałowa) Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie. Jednolite studia ukończyłam w 2005 roku, uzyskując stopień magistra inżyniera. Pracę magisterską pt.: „Wpływ dodatku skandu na strukturę i własności stopów Al-Sc i Al-Sc-Zr” zrealizowałam pod opieką naukową dr inż. Mariana Bronickiego. Wyniki prac badawczych zaprezentowanych w pracy magisterskiej opublikowano w czasopiśmie punktowanym przez MNiSW (załącznik 4, pkt. II E, poz. E1).

W trakcie studiów pobierałam stypendium naukowe, zaś po obronie pracy magisterskiej zostałam wyróżniona medalem Stanisława Staszica dla najlepszego absolwenta kierunku Inżynieria Materiałowa oraz otrzymałam nagrodę Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Metali Nieżelaznych (SITMN) dla najlepszego absolwenta Wydziału Metali Nieżelaznych AGH.

W trakcie studiów magisterskich (lata 2002 – 2004) odbyłam dwuletni kurs przygotowania pedagogicznego prowadzonego przez Międzywydziałowe Studium Pedagogiczne Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.

W latach 2005-2010 uczęszczałam na studia doktoranckie na Wydziale Metali Nieżelaznych AGH. Od 1 lipca 2009 roku zostałam zatrudniona na stanowisku asystenta na Wydziale Metali Nieżelaznych Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. W lutym 2010 roku uzyskałam stopień naukowy doktora nauk technicznych, za pracę pt.: „Analiza wpływu temperatury na strukturę i własności kompozytów Al(Mg)-Nb₂O₅ i Al(Mg)-ZrSi₂”. Promotorem rozprawy doktorskiej był Prof. dr hab. inż. Ludwik Błaż, a recenzentami tej pracy byli Prof. dr hab. inż. Henryk Dybiec (Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie, Wydział Metali Nieżelaznych) oraz Prof. dr hab. inż. Jan Sieniawski (Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza w Rzeszowie). Praca doktorska została wysoko oceniona i wyróżniona przez Radę Wydziału Metali Nieżelaznych AGH w Krakowie. Za pracę doktorską zostałam uhonorowana Nagrodą Rektora AGH II stopnia oraz Nagrodą Polskiego Towarzystwa Materiałoznawczego (**załącznik 4, pkt. II, poz. K: 1, 2**)

W swojej pracy doktorskiej zaprezentowałam wyniki dotyczące analizy struktury i własności kompozytów metalicznych na osnowie stopu Al-Mg z dodatkami reaktywnych chemicznie dodatków umacniających - tlenek niobu Nb₂O₅, krzemek cyrkonu ZrSi₂, wytwarzanych metodą mechanicznej syntezy i konsolidacji proszków stopowych przez prasowanie próżniowe i wyciskanie w podwyższonej temperaturze. Analizowano zmiany strukturalne wywołane reakcją chemiczną pomiędzy składnikami w warunkach wyżarzania i odkształcania w podwyższonej temperaturze, oraz ich wpływ na własności mechaniczne materiału. Zrealizowana praca stanowiła efekt współpracy naukowej Wydziału Metali Nieżelaznych AGH z Uniwersytetem Nihon w Japonii. Współpraca naukowa z Uniwersytetem Nihon w Japonii jest nadal kontynuowana, szczególnie w obszarze lekkich materiałów metalicznych przygotowanych na drodze mielenia bądź mechanicznej syntezy połączonej z procesem konsolidacji w warunkach wyciskania na gorąco lub spiekania (**załącznik 4, pkt. III poz. A: 2**).

W trakcie studiów doktoranckich otrzymałam stypendium na dofinansowanie projektu naukowo – badawczego dla doktoranta w ramach projektu „InnoGrant – program

wspierania innowacyjnej działalności doktorantów”, który umożliwił mi realizację prac badawczych związanych z pracą doktorską i zakup niezbędnych materiałów do prowadzenia badań naukowych (**załącznik 4, pkt. II poz. J: 1**). Prace wykonywane w ramach doktoratu stanowiły również część projektu naukowo-badawczego pt.: „Materiały metaliczne o nanokrystalicznych cechach struktury”, którego byłam wykonawcą (**załącznik 4, pkt. II poz. J: 2**). Wyniki badań uzyskane w pracy doktorskiej prezentowałam w formie referatów na wielu konferencjach o zasięgu międzynarodowym (**załącznik 4, pkt. II poz. L: 1, 2, 3**) oraz opublikowałam w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (**załącznik 4, pkt. II A, poz. A3**), czasopismach punktowanych przez MNiSW (**załącznik 4, pkt. II E, poz. E2**) i materiałach konferencyjnych (**załącznik 4, pkt. II E, poz. E15 i E16**).

Oprócz prac badawczych związanych z tematyką pracy doktorskiej, brałam również udział w pracach naukowych związanych z materiałami metalicznymi uzyskanymi na drodze szybkiej krystalizacji, mechanicznej syntezy – wymiernym efektem pracy są publikacje znajdujące się w bazie Journal Citation Reports (**załącznik 4, pkt. II A, poz. A1**) oraz materiałach konferencyjnych (**załącznik 4, pkt. II E, poz. E17, E18, E19, E20**).

Jako doktorantka, brałam również aktywny udział w pracach badawczych związanych z procesem pielgrzymowego walcowania. W ramach tych prac badawczych odbyłam krótkookresowy staż zagraniczny na Uniwersytecie Clausthal (**załącznik 4, pkt. III poz. L: 1**) w ramach którego przeprowadzono pomiary stereofotogramatyczne. Wymiernym efektem tej pracy jest publikacja (**załącznik 4, pkt. II poz. A2**).

5.2. Działalność naukowa prowadzona po uzyskaniu stopnia naukowego doktora

Po uzyskaniu stopnia doktora kontynuowałam pracę w Akademii Górniczo-Hutniczej na Wydziale Metali Nieżelaznych na stanowisku asystenta, a od 1 stycznia 2011 r. na stanowisku adiunkta. Ze względu na duży potencjał badawczy i aplikacyjny wysokowytrzymałych tworzyw metalicznych na bazie aluminium kontynuowałam prace naukowe w obszarze kompozytów oraz szybko-krystalizowanych materiałów. W przypadku materiałów kompozytowych szczególną uwagę poświęcono układom Al-CeO₂, Al(Mg)-CeO₂ oraz Al-AgO. Dwa pierwsze układy składników stanowiły podstawę

obronionej pracy doktorskiej dr inż. Tomasza Skrzekuta, którego byłam promotorem pomocniczym (**załącznik 4, pkt. III poz. K: 1**). Wyniki uzyskanych prac w zakresie kompozytów opublikowano w czasopiśmie z bazy JCR (**załącznik 4, pkt. II poz. A7**) oraz w czasopismach innych niż znajdujące się w bazie JCR (**załącznik 4, pkt. II poz. E8, E10, E24**). Równoległe obok materiałów kompozytowych zajęłam się szerzej tematyką szybko krystalizowanych stopów na bazie Al z dodatkiem metali przejściowych (Transition Metals, TM). Potencjał badawczy tej grupy materiałów wynika z dużej stabilności termicznej tych stopów, która wynika z niskiego współczynnika dyfuzji pierwiastków TM w Al. Niestety powszechnie wiadomo, iż metale przejściowe wykazują niską rozpuszczalność w aluminium i w warunkach klasycznych technik odlewania krystalizują w formie dużych faz międzymetalicznych, które negatywnie wpływają na właściwości mechaniczne, a w szczególności plastyczność. Zastosowanie w tym przypadku szybkiej krystalizacji pozwala na skuteczną modyfikację mikrostruktury, zahamowanie wzrostu faz międzymetalicznych i uzyskanie dużego stopnia dyspersji cząstek faz w osnowie aluminium. Proces szybkiej krystalizacji często łączono z procesem konsolidacji plastycznej prowadzonej w procesie wyciskania na gorąco, który pozwala na uzyskanie masywnego produktu. Prace badawcze związane z tą grupą materiałów dotyczą głównie powiązania cech mikrostruktury z właściwościami mechanicznymi oraz określenia ich stabilności termicznej. Zrealizowane prace eksperymentalne oraz wyniki uzyskanych badań opublikowano w czasopismach z bazy JCR (**załącznik 4, pkt. II poz. A5, A6**), w czasopismach innych niż znajdujące się w bazie JCR (**załącznik 4, pkt. II E, poz. E3, E4, E5, E6, E7, E11, E13**) oraz recenzowanych materiałach konferencyjnych (**załącznik 4, pkt. II E, poz. E22, E23**). Tematyka badawcza szybko-krystalizowanych stopów prezentowana była w formie referatów (**załącznik 4, pkt. II poz. L: 5, 11, 14**) oraz posterów (**załącznik 4, pkt. III poz. B: 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9**) na międzynarodowych konferencjach. Prace w zakresie szybkiej krystalizacji wciąż są kontynuowane; jeden z tematów badawczych realizowany jest przy współpracy z Dr Matthieu Bugnet (MATEIS Lab.; University of Lyon – National Institute for Applied Science of Lyon – UCBL) (**załącznik 4, pkt. III poz. A: 3**).

1 sierpnia 2011 roku rozpoczęłam staż podoktorski na Uniwersytet McMaster (UM) w Kanadzie. Staż ten zakończyłam 31 grudnia 2013 roku (**załącznik 4, pkt. III poz. L: 2**). W

trakcie trwania stażu rozpoczęłam całkowicie nową tematykę badawczą dotyczącą materiału heksagonalnego, jakim jest magnez. Prace badawcze prowadzono od podstaw obejmujących proces odlewania, homogenizacji i obróbki cieplno-mechanicznej. Na dalszym etapie charakteryzowano mikrostrukturę, makro i mikroteksturę, właściwości mechaniczne w szerokim zakresie temperatur. Opracowano preparatykę dla EBSD i t-EBSD oraz TEM. Prace badawcze zrealizowano dla szeregu stopów na bazie Mg z dodatkami pierwiastków stopowych typu: Gd, Y, Sm oraz Sc. Nadrzędnym celem prac badawczych każdej grupy stopów była identyfikacja podstawowych mechanizmów kontrolujących proces deformacji plastycznej oraz poznanie i zrozumienie wzajemnych relacji pomiędzy budową wewnętrzną, a makroskopowymi właściwościami tych stopów. Prace badawcze rozpoczęte w 2011 roku kontynuowano w ramach kolejnych staży podoktorskich na Uniwersytecie McMaster (**załącznik 4, pkt. III poz. L: 3, 4**).

Wyniki uzyskanych badań opublikowano w czasopismach z bazy JCR (**załącznik 4, pkt. II poz. A8, A9, A10, A12, A13, A14, A15, A16**) oraz materiałach konferencyjnych (**załącznik 4, pkt. II E, poz. E21**), jak również prezentowano w formie referatów na międzynarodowych konferencjach (**załącznik 4, pkt. II, poz. L; 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 15, 16, 17, 18**) w tym konferencji, gdzie wygłaszano referat, jako „invited speaker” konferencjach (**załącznik 4, pkt. II, poz. L; 17**). W trakcie pobytu na UM uczestniczyłam w kilku warsztatach naukowych dedykowanych deformacji plastycznej magnezu i jego stopów (**załącznik 4, pkt. III poz. Q: 2a, 2b, 2d**).

W ramach pobytu na Uniwersytecie McMaster w Kanadzie (**załącznik 4, pkt. III poz. L: 5**) brałam również udział w realizacji projektu „Development of high strength – high crash resistant aluminum alloys for lightweight bodies”. Prace badawcze przeprowadzono w konsorcjum z innymi Uniwersytetami w Kanadzie w tym University of Waterloo, a efektem prac są nowe stopy na bazie Al zaprojektowane na potrzeby przemysłu samochodowego. Mój udział w tym projekcie obejmował analizę: mikrostruktury, właściwości mechanicznych w szerokim zakresie temperatur, termodynamicznych parametrów odkształcania oraz czułości na prędkość odkształcania.

Po zakończeniu staży podoktorskich na Uniwersytecie McMaster kontynuuję współpracę naukową z tym ośrodkiem naukowo-badawczym. W ramach nawiązanej współpracy

(załącznik 4, pkt. III poz. A: 1) wizytuję Uczelnię, jako „visiting reseracher” (załącznik 4, pkt. III poz. L: 6, 7, 8) w okresie wolnym od zajęć dydaktycznych. Realizowane w ramach współpracy prace badawcze obejmują zagadnienia deformacji plastycznej aluminium i jego stopów oraz monokrystalicznego i polikrystalicznego magnezu i jego stopów. Aktualnym efektem współpracy jest praca naukowa opublikowana w Acta Materialia (załącznik 4, pkt. II poz. A18) dotycząca mikrostrukturalnych aspektów deformacji plastycznej monokryształów magnezu.

Równolegle prowadzę również badania naukowe w obszarze szybkiej krystalizacji stopów na bazie Mg. W tym obszarze realizowano projekt badawczy dotyczący fundamentalnych aspektów wytrzymałości i plastyczności szybko-krystalizowanego stopu AM60 (załącznik 4, pkt. II poz. J: 4). Jestem również beneficjentem I edycji stypendium im. Bekkera Narodowej Agencji Wymiany Akademickiej (NAWA). W ramach stypendium będę realizować projekt badawczy w obszarze termodynamicznych aspektów odkształcenia podwójnych stopów na bazie metali lekkich (załącznik 4, pkt. II poz. J: 5).

W całym okresie mojego zatrudnienia na Wydziale Metali Nieżelaznych AGH realizuję również zadania badawcze wpisane w prace statutowe (załącznik 4, pkt. II poz. J: 3, 7-15) oraz prace zlecone (załącznik 4, pkt. III poz. M: 1-16).

Podsumowując, efektem mojej pracy naukowej prowadzonej po uzyskaniu stopnia doktora jest współautorstwo 17 publikacji naukowych w czasopismach z bazy JCR. Dane dotyczące liczby cytowań, indeks Hirscha oraz sumaryczny Impact Factor publikacji zestawiono w poniższej tabeli:

Stan z dnia 03 kwiecień 2019	Web of Science	Scopus
Liczba cytowań	166	221
L. cyt. bez autocytowań	135	167
Index Hirsha	7	8
Impact Factor publikacji przed doktoratem	51,643	51,643
po doktoracie	1,607	1,607
Punktacja MNiSW przed doktoratem	50,036	50,036
po doktoracie	727	727
	49	49
	678	678

Za osiągnięcia naukowe w 2016 roku oraz 2017 roku zostałam nagrodzona indywidualną Nagrodą Rektora AGH (**załącznik 4, pkt. II poz. K: 3 i 4**).

Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora uczestniczyłam łącznie w 15 międzynarodowych konferencjach naukowych, na których wygłaszałam referaty (**załącznik 4, pkt. II poz. L: 5 do 19**) w tym 2 zaproszone („invited speaker”) (**załącznik 4, pkt. II poz. L: 17 i 19**). Prezentowałam również 6 posterów z wynikami badań na międzynarodowych konferencjach i seminariach naukowych (**załącznik 4, pkt. III poz. B: 4 do 9**).

Od 2017 roku jestem członkiem Polskiego Towarzystwa Mikroskopii (PTM) oraz European Microscop Society (EMS) i International Federation of Societies for Microscopy (IFSM).

Byłam również recenzentem 9 manuskryptów w uznanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym: Journal of Alloys and Compounds (1), Materials Characterization (1), Archives of Metallurgy and Materials (3), Materials Research Innovations (1), Key Engineering Materials (3) (**załącznik 4, pkt. III poz. P: 1 do 5**).

5.3. Działalność dydaktyczna i organizacyjna

Oprócz działalności naukowo-badawczej ważną rolę w mojej pracy akademickiej zajmują obowiązki dydaktyczne oraz działalność organizacyjna na rzecz uczelni i popularyzacji nauki.

W latach 2010-2019 prowadziłam lub prowadzę wykłady z następujących przedmiotów: „Kompozyty Metaliczne”, „Kształtowanie Struktury i Właściwości Materiałów”, „Light Metals and Alloys”, „Metal Matrix Composites”, „Obróbka Ciepłna Materiałów”, „Obróbka Ciepłna Materiałów” oraz „Fizyczne i Strukturalne Podstawy Odkształceń Plastycznych” (**załącznik 4, pkt. III poz. I**). Prowadzę lub prowadziłam również zajęcia w formie laboratorium w tym: „Modelowanie Procesów Strukturalnych”, „Obróbka cieplno-mechaniczna”, „Obróbka cieplna w procesach przeróbki plastycznej”, „Struktura Materiałów Metalicznych”, „Teoria Przemian Fazowych”, „Light Metals and Alloys”,

„Zaawansowane metody badań strukturalnych”, „Kompozytowe Materiały Metaliczne” oraz „Fizyczne i Strukturalne Podstawy Odkształceń Plastycznych”. Ponadto, prowadzę lub prowadziłam zajęcia seminaryjne i ćwiczeniowe z przedmiotów: „Kompozyty Metaliczne”, „Kompozytowe Materiały Metaliczne”, „Light Metals and Alloys”, „Metal Matrix Composites” oraz „Materiałoznawstwo” (**załącznik 4, pkt. III poz. I: 1**).

Opracowałam w całości treść nowego przedmiotu *Metal Matrix Composites* (wykłady i zajęcia seminaryjne) znajdującego się w ofercie dydaktycznej UBPO (Uczelniana Baza Przedmiotów Obieralnych) AGH, skierowanej głównie dla studentów zagranicznych. Ponadto dla studentów II stopnia na kierunku Modern Materials, Design and Applications opracowałam w całości treści wykładów, zajęć laboratoryjnych oraz zajęć seminaryjnych z przedmiotów *Light Metals and Alloys* oraz *Metal Matrix Composites* (**załącznik 4, pkt. III poz. I: 3**).

Dydaktykę wykonywałam i nadal wykonuje w pełnym obciążeniu godzinowym, a w ciągu kilku ostatnich lat w zakresie ponad pensum dydaktycznego. W ramach opieki na studentami w latach 2011-2018 byłam promotorem 12 prac dyplomowych magisterskich oraz 17 projektów inżynierskich (obecnie prac dyplomowych inżynierskich) realizowanych na Wydziale Metali Nieżelaznych AGH. W tym okresie zrecenzowałam ok. 15 prac dyplomowych inżynierskich i magisterskich (**załącznik 4, pkt. III poz. J**).

Jestem również opiekunem Studenckiego Koła Naukowego Hexagon działającego przy Pracowni Struktury i Mechaniki Ciała Stałego – rok założenia 2018 (**załącznik 4, pkt. III poz. J**).

Moja działalność na rzecz popularyzacji nauki polega na udziale w organizacji Festiwalu Nauki i Sztuki w Krakowie (lata 2010–2011), opiece nad studentami wygłaszającymi referaty w ramach Studenckiej Sesji Kół Naukowych Pionu Hutniczego. W ramach działalności popularyzującej naukę brałam udział w przedsięwzięciach typu „Mielecki Festiwal Nauki”, „Dni Otwarte AGH”, „Małopolska Noc Naukowców”. W ramach tych przedsięwzięć prezentowałam laboratorium skaningowej mikroskopii elektronowej oraz wygłaszałam referat pt. „Świat Metali i Stopów”. Prezentowałam również laboratoria Wydziału Metali Nieżelaznych grupie uczniów klasy 6 Szkoły Podstawowej im. Zofii Stryzowskiej w Janowicach (**załącznik 4, pkt. III poz. I**).

Od 2017 roku, jestem również Członkiem Komisji ds. Egzaminów Dyplomowych studiów II stopnia na specjalności Modern Materials, Design and Applications na Wydziale Metali Nieżelaznych AGH.

Sumaryczne zestawienie kryteriów oceny osiągnięć osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora habilitowanego zestawiałam w tabeli 2.

L.p.	Kryterium według §3 p.4, §4 i §5	TAK (liczba)/BRAK
1.	Publikacje naukowe w czasopismach z bazy Journal Citation Reports (JCR) (po uzyskaniu stopnia doktora)	TAK (19) TAK (17)
2.	Monografie, publikacje naukowe w czasopismach innych niż znajdujące się w bazie JCR - w tym przed uzyskaniem stopnia doktora - po uzyskaniu stopnia doktora	TAK (14) TAK (2) TAK (12)
3.	Publikacje w recenzowanych materiałach konferencyjnych - w tym przed uzyskaniem stopnia doktora - po uzyskaniu stopnia doktora	TAK (16) TAK (5) TAK (11)
4.	Udzielone patenty/zgłoszenia patentowe	BRAK
5.	Wynalazki i wzory użytkowe, które uzyskały ochronę i zostały wystawione na międzynarodowych lub krajowych wystawach lub targach	BRAK
6.	Sumaryczny <i>impact factor</i> według listy Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania:	51,643
7.	Liczba cytowań publikacji według bazy Web of Science (WoS): - w tym bez autocytowań: Liczba cytowań publikacji według bazy Scopus (S): - w tym bez autocytowań:	166 135 221 167
8.	Indeks Hirscha według bazy Web of Science (WoS) Indeks Hirscha według bazy Scopus (S)	7 8
8.A	Kierowanie projektami badawczymi - przed uzyskaniem stopnia doktora: a) międzynarodowymi b) krajowymi Kierowanie projektami badawczymi - po uzyskaniu stopnia doktora: a) międzynarodowymi b) krajowymi	a) BRAK b) TAK (1) a) BRAK b) TAK (2)
8.B	Udział w projektach badawczych: a) międzynarodowych b) krajowych c) uczelnianych – badania statutowe	a) BRAK b) TAK (2) c) TAK (10)
9.	Nagrody za działalność naukową: a) międzynarodowe b) krajowe	a) BRAK b) TAK (4)
10.	Wygłoszenie referatów na tematycznych konferencjach: a) międzynarodowych b) krajowych	a) TAK (19) b) BRAK
11.	Aktywny udział (prezentacja posterów z wynikami badań) w konferencjach naukowych: a) międzynarodowych b) krajowych	a) TAK (9) b) BRAK
12.	Otrzymane nagrody i wyróżnienia inne niż za działalność naukową	BRAK
13.	Członkostwo w organizacjach oraz towarzystwach naukowych: a) międzynarodowych b) krajowych	TAK (2) TAK (1)
14.	Osiągnięcia dydaktyczne i w zakresie popularyzacji nauki	TAK (6)

Załącznik nr 3a do Wniosku o przeprowadzenie
postępowania habilitacyjnego

15.	Opieka naukowa nad studentami: a) prace dyplomowe magisterskie b) projekty inżynierskie	TAK (12) TAK (17)
16.	Opieka naukowa nad doktorantami w charakterze: a) opiekuna naukowego b) promotora pomocniczego	a) BRAK b) TAK (1)
17.	Stáže w ośrodkach naukowych lub akademickich: a) zagranicznych - przed uzyskaniem stopnia dr b) zagranicznych - po uzyskaniu stopnia dr	a) TAK (1) b) TAK (7)
18.	Wykonanie ekspertyz lub innych opracowań na zamówienie	TAK (16)
19.	Recenzowanie projektów: a) międzynarodowych b) krajowych	a) BRAK b) BRAK
20.	Recenzowanie publikacji w czasopismach: a) międzynarodowych b) krajowych	a) TAK (9) b) BRAK
21.	Inne osiągnięcia	TAK (2)

Anna Kula

