

Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej
KATEDRA INŻYNIERII POWIERZCHNI I ANALIZ MATERIAŁÓW

Dr hab. inż. Sławomir KAĆ, prof. AGH
Kierownik Katedry

Kraków, dnia 1 marca 2024 r.

RECENZJA

dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego oraz osiągnięcia naukowego w postaci cyklu publikacji zatytułowanego: „Opis mikrostruktury i charakteru oddziaływań magnetycznych stopów z pamięcią kształtu na osnowie Ni-Mn poddanych procesom stopowania, obróbki mechanicznej oraz cieplnej w celu optymalizacji właściwości funkcjonalnych” w postępowaniu o nadanie stopnia doktora habilitowanego dr. inż. Pawłowi Czaja

Podstawa prawna recenzji

Recenzję sporządzono na zlecenie Rady Naukowej Instytutu Metalurgii i Inżynierii Materiałowej im. A. Krupkowskiego PAN (pismo P. Dyrektor Instytutu dr hab. inż. Joanny Wojewody-Budka, prof. instytutu, nr DP.521.3.2023 z dn. 5 stycznia 2024 r) o wyznaczeniu na recenzenta i członka Komisji Habilitacyjnej w postępowaniu o nadanie stopnia doktora habilitowanego.

Recenzja została wykonana na podstawie analizy głównego osiągnięcia naukowego, którym jest zbiór powiązanych tematycznie publikacji pod wspólnym tytułem „Opis mikrostruktury i charakteru oddziaływań magnetycznych stopów z pamięcią kształtu na osnowie Ni-Mn poddanych procesom stopowania, obróbki mechanicznej oraz cieplnej w celu optymalizacji właściwości funkcjonalnych”, autoreferatu, wykazu innych osiągnięć naukowych, dydaktycznych i organizacyjnych, dostarczonych wraz z wnioskiem.

1. Informacje ogólne

Dr inż. Paweł Czaja jest absolwentem Akademii Górniczo Hutniczej im. S. Staszica w Krakowie. W roku 2005 ukończył studia magisterskie na Wydziale Inżynierii Materiałowej i Ceramiki. Temat pracy dyplomowej „Bioactive sol-gel glasses featuring antibacterial properties”. Następnie w 2009 r. ukończył studia magisterskie w University of Aberdeen w Szkocji, na Wydziale Chemii, realizując pracę dyplomową pt.: “Investigation into the formation and decomposition of alloocimene oxide”. 18.06.2015 r. na podstawie rozprawy doktorskiej zatytułowanej: „Magnetocaloric transition and magnetocaloric effect in Ni-Mn-Sn based Heusler alloys”, a wykonanej pod kierunkiem dra hab. inż. Wojciecha Maziarza, prof. instytutu oraz dr hab. Aleksandry Kolano-

Burian, prof. Instytutu Metali Nieżelaznych, w Instytucie Metalurgii i Inżynierii Materiałowej im. Aleksandra Krupkowskiego Polskiej Akademii Nauk w Krakowie, uzyskał stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria materiałowa.

Od 1 lipca 2015 r. jest zatrudniony na stanowisku adiunkta w Instytucie Metalurgii i Inżynierii Materiałowej im. A. Krupkowskiego Polskiej Akademii Nauk w Krakowie.

2. Ocena osiągnięcia naukowego w postaci cyklu publikacji

Głównym osiągnięciem naukowym, przedstawionym przez Habilitanta, jest zbiór 12 powiązanych tematycznie publikacji, opublikowanych w czasopismach posiadających współczynnik wpływu (IF). Wyniki badań zaprezentowane w cyklu 12 publikacji zostały zgrupowane pod wspólnym tytułem: „Opis mikrostruktury i charakteru oddziaływań magnetycznych stopów z pamięcią kształtu na osnowie Ni-Mn poddanych procesom stopowania, obróbki mechanicznej oraz cieplnej w celu optymalizacji właściwości funkcjonalnych”. Sumaryczny współczynnik wpływu cyklu 12 publikacji wynosi 37,93, a sumaryczna liczba punktów wg. listy czasopism punktowanych Ministerstwa Edukacji i Nauki to 1180. Publikacje zaliczone do głównego osiągnięcia naukowego powstały w latach 2016-2022, a więc w ciągu ostatnich 7 lat. Warto podkreślić, że we wszystkich publikacjach stanowiących główne osiągnięcie naukowe, dr inż. P. Czaja jest pierwszym autorem, natomiast w przypadku jednej publikacji jest jedynym autorem. Zgodnie z deklaracjami w załączniku nr 4 do wniosku, we wszystkich publikacjach Habilitant jest autorem (w jednej jest współautorem) koncepcji badawczej i planu badań, a ponadto jest autorem korespondencyjnym. W 6 publikacjach Dr inż. P. Czaja ocenia swój udział w przygotowaniu publikacji w zakresie od 70 do 100 %. W sześciu kolejnych publikacjach deklarowany udział Habilitanta wynosi od 50 do 70 %.

Tematyka badawcza realizowana w ramach publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe obejmuje badania stopów magnetycznych z pamięcią kształtu. Posiadają one cechy klasycznych materiałów z pamięcią kształtu, ale dodatkowo, po odkształceniu mogą wrócić do kształtu pierwotnego na skutek oddziaływania pola magnetycznego.

W zbiorze publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe Habilitant zajął się badaniem stopów na osnowie Ni-Mn, modyfikowanych poprzez zmianę składu chemicznego oraz poprzez obróbkę cieplno-mechaniczną. W pracach tych analizował charakter oddziaływań magnetycznych w zależności od struktury krystalicznej oraz mikrostruktury badanych stopów. Ze względu na dość szeroki zakres tematyczny, badania podzielono na trzy główne cele badawcze. W publikacjach oznaczonych jako A1-A4, zgodnie z wykazem w załączniku nr 3 wniosku (tj. Autoreferat), Autor podjął próbę wyjaśnienia wpływu uporządkowania atomowego i jego korelacji z mikrostrukturą na przemiany martenzytyczną i magnetyczną oraz na charakter oddziaływań magnetycznych w trój-, cztero- i pięcioskładnikowych stopach na osnowie Ni-Mn-Sn/Ga. W publikacjach oznaczonych jako A5-A7, Habilitant zajął się analizą

wpływu austenitu szczątkowego na powstawanie oddziaływań superparamagnetycznych, wyznaczenie stałej anizotropii magnetokrystalicznej oraz oszacowaniem jej wkładu jako siły pędnej do indukowanej polem magnetycznym odwrotnej przemiany martenzytycznej w stopie o silnej teksturze na osnowie Ni-Mn-Sn. Trzecim celem badawczym był opis mikrostruktury i oddziaływań magnetycznych w wysokomanganowych stopach na osnowie Ni-Mn-Sn z dodatkiem czwartego i piątego pierwiastka (Co, Cu, Fe, Ge, In, Al), który to cel Habilitant realizował w publikacjach A8-A12 z ww. wykazu.

Na podstawie analizy wyników prowadzonych badań opublikowanych w pracy A1 Autor wykazał, że w stopie o składzie $\text{Ni}_{49}\text{Co}_1\text{Mn}_{37.5}\text{Sn}_{6.5}\text{In}_6$, który poddano zabiegom obróbki cieplnej, wpływ procesu uporządkowania na zmianę temperatury przemiany martenzytycznej i magnetycznej należy rozpatrywać zarówno z punktu widzenia termodynamiki jak i mechaniki na poziomie mikrostrukturalnym. W wyniku badań Autor udowodnił, że zmiana temperatury przemiany martenzytycznej w zależności od zmiany stopnia uporządkowania wynika w istotnej mierze ze zmian mikrostrukturalnych, które z jednej strony mają wpływ na różnicę energii swobodnej pomiędzy fazami austenitu i martenzytu, a z drugiej determinują wielkość domen antyfazowych mających wpływ na proces bliźniakowania.

W pracy A2 stop w postaci szybko chłodzonych taśm o składzie $\text{Ni}_{48}\text{Mn}_{39.5}\text{Sn}_{10.5}\text{Al}_2$ poddano procesowi mielenia. Na podstawie przeprowadzonych badań Autor stwierdził, że mielenie taśm wraz z obróbką cieplną pozwala na kształtowanie właściwości funkcjonalnych magnetycznych stopów z pamięcią kształtu na osnowie Ni-Mn, ponieważ wykazał, że obróbka cieplna zmielonych proszków wpływa na zanik oddziaływań typu antyferromagnetycznego w niskotemperaturowej fazie martenzytycznej.

Kontynuacją badań zjawisk rozpoczętych w publikacji A2 są badania szybko chłodzonych taśm ze stopu $\text{Ni}_{50.2}\text{Mn}_{28.3}\text{Ga}_{21.5}$, które poddano silnemu odkształceniu poprzez proces mielenia w młynie wibracyjnym, a następnie obróbce cieplnej. Wyniki badań przedstawiono w publikacji A3. W rezultacie prowadzonych badań Autor potwierdził zajście przemiany alotropowej austenitu ze struktury krystalicznej regularnej przestrzennie centrowanej do regularnej ściennie centrowanej.

Kontynuacją badań realizowanych w publikacji A3 (są one bowiem próbą rozwiązania problemu, który pojawił się w czasie realizacji tej pracy) są badania prowadzone w ramach pracy A4. W tym przypadku badania wykonano z wykorzystaniem stopu $\text{Ni}_{48}\text{Mn}_{39.5}\text{Sn}_{9.5}\text{Al}_3$ uzyskanego techniką szybkiej krystalizacji, a następnie poddanego specyficznemu obróbce cieplnej. Wykazano, że w niskich temperaturach badany stop wykazuje zachowanie dwuetapowe. Początkowo poniżej temperatury blokowania (temperatury nieodwracalności) stan superparamagnetyczny materiału ewoluuje do stanu zamrożonego z silnym komponentem ferromagnetycznym, co w efekcie powoduje, że materiał wykazuje pewne cechy

charakterystyczne dla szkła spinowego. Składnik ferromagnetyczny okazał się być podatny na temperaturę obróbki cieplnej. W pracy dowiedziono, że w temperaturach poniżej 80 K, dla badanego materiału, zachodzi odchylenie od liniowej zgodności z prawem Almeida-Thoulessa, które wskazuje obecność rozdziału fazowego pomiędzy stanem superparamagnetycznym, a super szkłem spinowym. W wyniku badań wykazano, że w zakresie temperatur poniżej 80 K układ przechodzi do niejednorodnego stanu magnetycznie twardszego charakteryzującego się występowaniem oddziaływań typu exchange-bias (indukowana oddziaływaniami wymiennymi anizotropia jednokierunkowa), które są wykorzystywane w dyskach twardych oraz głowicach do zapisu informacji, czy w nadprzewodnikach wysokotemperaturowych.

W kolejnej publikacji, A5 z przedstawionego cyklu, Habilitant postanowił wyjaśnić czy występowanie uporządkowania typu superparamagnetycznego w badanych materiałach jest efektem obecności drobnych klastrów austenitu szcążkowego o uporządkowaniu L_{21} , czy jest to wynikiem redukcji symetrii sieci krystalicznej związanej z przemianą martenzytyczną. Badaniom poddano monokryształ stopu $Ni_{50}Mn_{37.5}Sn_{12.5}$. Na podstawie przeprowadzonych badań Habilitant wykazał, i opublikował po raz pierwszy w literaturze, że obecność ferromagnetycznych klastrów austenitu szcążkowego nie gwarantuje oddziaływania ferromagnetycznego, ale korzystnie wpływa na jego występowanie w martenzytcie.

Dalszą analizę własności magnetycznych stopu $Ni_{50}Mn_{37.5}Sn_{12.5}$ prowadzono w ramach badań opublikowanych w pracy A6. W pracy tej Habilitant analizował charakter oddziaływań magnetycznych oraz postanowił wyznaczyć stałą anizotropii magneokrystalicznej, która była niezbędna do eksperymentalnego zweryfikowania czy reorientacja wariantów martenzytu w stopach spoza układu Ni-Mn-Ga jest w ogóle możliwa. W literaturze brakowało bowiem ilościowych danych na ten temat.

Na podstawie prowadzonych badań Habilitant, po raz pierwszy w literaturze światowej, wyznaczył stałą anizotropii magnetycznej K_u dla stopu Ni-Mn-Sn, która w temperaturze 3 K wynosi 7×10^4 J/m³ i następnie stopniowo maleje wraz ze wzrostem temperatury, gdy system zbliża się do temperatury Curie, która wynosi 215 K. Ponadto, Habilitant wykazał, że stała anizotropii magnetokrystalicznej w analizowanym stopie ma zanedbywalny wpływ na indukowaną polem magnetycznym odwrotną przemianę martenzytyczną, a co za tym idzie, nie jest możliwa reorientacja wariantów martenzytu pod wpływem pola magnetycznego.

W związku z tym, że z dotychczasowych badań Habilitanta wynikało, że zakres temperaturowy zachodzenia przemiany martenzytycznej dla stopów monokrystalicznych Ni-Mn-Sn był znacznie dłuższy niż dla stopów polikrystalicznych w pracy A7 podjęto próbę wyznaczenia eksperymentalnego wielkości zmian entropii magnetycznej związanej z procesem odwrotnej przemiany martenzytycznej oraz przemiany magnetycznej w tym stopie, odznaczającym się wysokim stopniem teksturyzacji. W publikacji A7 Habilitant, na podstawie badań za pomocą skaningowej

kalorymetrii różnicowej oraz badań termomagnetycznych, wykazał silny wpływ tekstury materiału na wielkość zmian entropii magnetycznej oraz fakt, że silnie steksturyzowana postać stopu, istotnie wpływa na zmniejszenie strat związanych z pętlą histerezy.

W kolejnych publikacjach (A8-A12) z przedstawionego cyklu, Habilitant zajął się analizą mikrostruktury i charakteru oddziaływań magnetycznych w stopach wysokomanganowych z dodatkiem czwartego pierwiastka (Cu, Co czy Fe), które powodują uplastycznienie badanych stopów, a ponadto Co oraz Fe zwiększają moment magnetyczny. Stopowanie w istotny sposób wpływa na zachodzenie przemiany martenzytycznej, prowadząc niekiedy do jej zatrzymania czy pojawiania się dodatkowych faz, takich jak np. faza γ . Autor podjął próbę przeanalizowania natury oddziaływań magnetycznych w ww. stopach i zbadania w jaki sposób wpływają one na zachodzenie przemiany martenzytycznej oraz na właściwości funkcjonalne związane m.in. z wielkością zmian entropii magnetycznej, co miało przyczynić się do zrozumienia termodynamicznych podstaw efektu magnetycznej pamięci kształtu i odwrotnego efektu magnetokalorycznego.

W pracy A8 badano wpływ uporządkowania magnetycznego fazy austenicyzacji i martenzytycznej w zakresie temperatury przemiany martenzytycznej na zachodzenie przemiany oraz na wielkość zmian entropii magnetycznej w pięcioskładnikowym stopie $Ni_{45-x}Co_xCu_5Mn_{39}Sn_{11}$ (gdzie $x = 0, 1, 2$).

Autor potwierdził eksperymentalnie, przewidywania na podstawie doniesień literaturowych i obliczeń teoretycznych, że dodatek Co stabilizuje uporządkowanie ferromagnetyczne w austenicie i wykazał, że powoduje zmianę sekwencji przemian. Ferromagnetyczny austenit transformuje do paramagnetycznego martenzytu dla stopu z dodatkiem Co na poziomie 1% at. oraz do stanu słabo magnetycznego martenzytu dla stopu z dodatkiem 2 % at. Co. W stopach bez dodatku Co przemiana martenzytyczna zachodzi ze stanu paramagnetycznego austenitu do paramagnetycznego martenzytu. Badania prowadzone w ramach pracy A8 pozwoliły Habilitantowi opracować quasi magnetyczny diagram fazowy pozwalający na kontrolę udziału poszczególnych faz magnetycznych w stopie poprzez wprowadzenie pierwiastka stopowego jakim jest Co.

W publikacji A9, Habilitant kontynuował badania związane z analizą wpływu pierwiastków stopowych na przemianę martenzytyczną i własności magnetyczne stopów na bazie Ni-Mn-Sn. Badaniom podano polikrystaliczny stop $Ni_{50}Mn_{44}Sn_6$, w którym, w miejsce niklu wprowadzono pierwiastki stopowe: Cu, Co i Fe w ilości 5% at. Badania prowadzono na próbkach litych, a nie na próbkach silnie odkształconych poprzez sproszkowanie, co znacząco mogłoby zniekształcać wyniki w stosunku do materiału wykorzystywanego w praktycznym zastosowaniu. Na podstawie prowadzonych badań Autor potwierdził, że przemiana martenzytyczna zachodzi we wszystkich badanych stopach oraz dowiódł liniową korelację temperatury przemiany martenzytycznej z zależnym od składu stopu ilorazem elektronów do atomów (e/a). Istotnym wynikiem prowadzonych badań było opracowanie diagramów ukazujących

zależności temperatury przemiany martenzytycznej i magnetycznej oraz teoretycznego odkształcenia, oszacowanego na podstawie wyznaczonych stałych sieciowych dla wszystkich badanych stopów.

W kolejnej, z cyklu publikacji stanowiącego osiągnięcie naukowe Habilitanta, czyli w pracy A10 Autor kontynuował badania nad domieszkowanymi (tym razem indem) stopami Ni-Mn-Sn. Badaniom poddano stop o składzie $\text{Ni}_{48}\text{Mn}_{39.5}\text{Sn}_{12.5-x}\text{In}_x$ (gdzie $x=2, 4, 6$) w postaci masywnej jak i w postaci szybko chłodzonych taśm. W efekcie prowadzonych badań habilitant wykazał jednoznacznie, że parametr e/a oraz tzw. ciśnienie chemiczne (objętość komórki elementarnej) nie są czynnikami w pełni kontrolującymi zmiany temperatur przemiany martenzytycznej i magnetycznej, co jest stwierdzeniem polemicznym z obowiązującym dotąd w literaturze poglądem. Autor pracy stwierdził ponadto, że to zjawiska hybrydyzacji orbitali walencyjnych i wkład magnetyczny w zmianę energii swobodnej Gibbsa mogą wywierać istotną rolę w stabilizowaniu danego układu w stopach Heuslera na bazie Ni-Mn.

W publikacji oznaczonej jako A11, badaniom poddano domieszkowany germanem stop Ni-Mn-Sn. Badania miały odpowiedzieć na pytanie, powstałe podczas realizacji poprzednich prac, jak izoelektronowe podstawienie atomów, związane tylko ze zmianą objętości komórki elementarnej, wpływa na kierunek zmian temperatur krytycznych oraz właściwości magnetyczne niskotemperaturowej fazy martenzytycznej. W tym celu badano stop o składzie $\text{Ni}_{50}\text{Mn}_{37.3}\text{Sn}_{12.5-x}\text{Ge}_x$ ($x = 0, 1, 2, 3$). Istotnym wynikiem prowadzonych badań jest potwierdzenie, że poniżej temperatury Curie martenzytu, osnowa paramagnetyczna superparamagnetyka porządkuje się ferromagnetycznie, natomiast w zakresie niższych temperatur istniejące klastry ferromagnetyczne ulegają zamrożeniu prowadząc do tworzenia się fazy superferromagnetycznej. Poniżej temperatury nieodwracalności (tzw. temp. blokady), która wynosi ok. 206 K, obserwowano występowanie efektu exchange bias. Ponadto na podstawie wyników prowadzonych prac stwierdzono, że wielkość tego efektu wzrasta wraz ze wzrostem zawartości Ge w stopie.

W ostatniej z zaliczonych do cyklu publikacji pracy, czyli A12, Habilitant przedstawił wyniki badań, w których analizował charakter uporządkowania magnetycznego w domieszkowanym stopie na bazie Ni-Mn-Sn. Badania prowadzone były w kierunku określenia wpływu hybrydyzacji orbitali atomowych i relacji parametru e/a na temperatury przemiany martenzytycznej i magnetycznej. W tym celu ww. stop domieszkowano poprzez zastąpienie atomów cyny atomami glinu, czyli pierwiastkiem nie tylko o mniejszym promieniu atomowym, jak w publikacji A11, ale również o mniejszej liczbie elektronów walencyjnych. Do badań wykorzystano stop o składzie $\text{Ni}_{48}\text{Mn}_{39.5}\text{Sn}_{12.5-x}\text{Al}_x$ (gdzie $x = 0, 1, 2, 3$). Na podstawie przeprowadzonych badań Autor wnioskuje, że wszystkie badane stopy odznaczały się uporządkowaniem typu paramagnetycznego powyżej temperatury 300 K. W zakresie temperatur pomiędzy 300 a 200 K na skutek zachodzenia przemiany martenzytycznej stopy przechodziły do stanu

martenzytu o słabo magnetycznym charakterze uporządkowania, a efektywny moment magnetyczny fazy martenzytycznej malał wraz ze wzrostem zawartości glinu. Autor pracy stwierdza, że faza martenzytyczna w zakresie temperatury powyżej temperatury Curie martenzytu, a poniżej temperatury końca przemiany martenzytycznej odznacza się złożonym stanem uporządkowania magnetycznego, złożonego po części z oddziaływań typu superparamagnetycznego. Istotnym osiągnięciem pracy jest również to, że Autor stworzył magnetyczny quasi diagramu fazowego, ułatwiającego bardziej świadome projektowanie składów stopów na osnowie Ni-Mn-Sn.

3. Wkład habilitanta w rozwój dyscypliny inżynieria materiałowa

Na podstawie analizy publikacji przedstawionych jako cykl stanowiący osiągnięcie naukowe stwierdzam, że badania te są ze sobą tematycznie ściśle powiązane. Widać, że stanowią efekt przemyślanego planu badawczego i są rozwiązaniem istotnego problemu badawczego, ponieważ w pracach tych Autor dokonał opisu mikrostruktury i oddziaływań magnetycznych w stopach Heuslera na bazie Ni-Mn, a ponadto wykazał w jaki sposób uporządkowanie atomowe, czy stopowanie przyczyniają się do kształtowania natury tych oddziaływań. Z pewnością, przedstawione wyniki badań Habilitanta pozwoliły istotnie poszerzyć wiedzę na temat struktury stopów Ni-Mn, a także ułatwią świadome projektowanie stopów o pożądanych właściwościach funkcjonalnych. Wyraźnie widać, że tematyka kolejnych publikacji wynika z pojawiania się nowych pytań i problemów pojawiających się w poprzednich publikacjach.

Najważniejszymi osiągnięciami Habilitanta (z którymi w pełni się zgadzam), i które wnoszą istotny wkład w rozwój inżynierii materiałowej są z pewnością (cytat z autoreferatu):

- a) wykazanie, że mechanizm wpływu procesu uporządkowania na zmianę temperatury przemiany martenzytycznej i magnetycznej w stopach z układu Ni-Mn należy rozpatrywać dwutorowo z punktu widzenia termodynamiki i mechaniki na poziomie mikrostrukturalnym;
- b) stwierdzenie, że obróbka temperaturowa zmielonych taśm na osnowie Ni-Mn prowadzi do zaniku oddziaływań typu antyferromagnetycznego;
- c) potwierdzenie przemiany alotropowej austenitu z komórki regularnej przestrzennie centrowanej do komórki regularnej ściennie centrowanej w mielonych taśmach z układu Ni-Mn-Ga;
- d) stwierdzenie stanu magnetycznie twardego charakteryzującego się występowaniem oddziaływań typu exchange-bias w taśmach na osnowie Ni-Mn-Sn-Al;
- e) wykazanie, że obecność ferromagnetycznych klastrów austenitu szczątkowego w stopach na osnowie Ni-Mn wzmacnia oddziaływanie typu superparamagnetycznego ale nie jest jego wyłącznym źródłem;
- f) wyznaczenie stałej anizotropii magnetokrystalicznej w monokryształach Ni-Mn-Sn;

- g) wykazanie, że stała anizotropii magnetokrystalicznej ma zaniedbywalny wpływ na indukowaną polem magnetycznym odwrotną przemianę martenzytyczną;
- h) potwierdzenie, że wielkość zmian entropii magnetycznej w stopach na osnowie Ni-Mn silnie zależy od tekstury materiału;
- i) opracowanie quasi magnetycznego diagramu fazowego dla pięcioskładnikowego stopu $\text{Ni}_{45-x}\text{Co}_x\text{Cu}_5\text{Mn}_{39}\text{Sn}_{11}$ ($x = 0, 1, 2$);
- j) opracowanie diagramu zależności temperatury przemiany martenzytycznej i magnetycznej oraz teoretycznego odkształcenia dla stopów z układu $\text{Ni}_{50-x}\text{Mn}_{44}\text{Sn}_6$ ($x = 5$ at.% Co, Cu, Fe);
- k) potwierdzenie, że zgrubnie stosowany parametr e/a oraz tzw. ciśnienie chemiczne nie są czynnikami w pełni kontrolującymi zmiany temperatur przemiany martenzytycznej i magnetycznej w stopach na osnowie Ni-Mn;
- l) potwierdzenie występowania efektu exchange bias w zakresie niskotemperaturowego martenzytu w stopach z układu $\text{Ni}_{50}\text{Mn}_{37.5}\text{Sn}_{12.5-x}\text{Gex}$ ($x = 0, 1, 2, 3$); m) wyznaczenie magnetycznego quasi diagramu fazowego dla stopów z układu Ni-MnSn-Al.

4. Ocena aktywności naukowej i całokształtu dorobku naukowego

Przed uzyskaniem stopnia doktora, po ukończeniu studiów magisterskich w AGH, Habilitant studiował i uzyskał drugi fakultet z chemii na Wydziale Chemii Uniwersytetu w Aberdeen w Szkocji. W ramach pracy magisterskiej realizowanych we współpracy z przedsiębiorstwem, prowadził badania naukowe, których rezultatem była jedno autorska monografia naukowa pt.: „Olefin epoxidation and catalysis. Formation and decomposition of alloociemene oxide”, wydana przez Lambert Academic Publishing, w 2012 r. W czasie realizacji studiów doktoranckich w IMiIM PAN w Krakowie Habilitant zajmował się zjawiskiem efektu magnetokalorycznego w stopach Heuslera na osnowie Ni-Mn. W trakcie studiów doktorskich realizował, w latach 2013-2016, projekt n-b Preludium IV (NCN), pt.: „Optymalizacja procesu wytwarzania monokryształów metamagnetycznych stopów Ni-Mn-Sn”. Ponadto, w 2013 r. prowadził badania naukowe na Uniwersytecie Wysp Balearskich na Majorce w ramach 31 Programu Erasmus (przez trzy tygodnie) oraz w ramach projektu Harmonia Narodowego Centrum Nauki (przez dwa tygodnie).

Po zatrudnieniu w IMiIM PAN w Krakowie w 2015 r, i już po uzyskaniu stopnia doktora n.t., odbył 6 miesięczny staż zagraniczny (w ramach programu Dresden Fellowship) na Uniwersytecie Technicznym w Dreźnie (w okresie 01-03-2016 do 31-08-2016), w którym kontynuował badania dotyczące wytwarzania monokryształów Ni-Sn-Mn. Za najważniejsze osiągnięcia z tego okresu Habilitant podaje „optymalizację warunków otrzymywania monokryształów stopu trójskładnikowego na osnowie Ni-Mn-Sn oraz poprawny opis mikrostruktury monokryształów z tego składu i właściwości mechanicznych”, a wyniki Jego badań z tego okresu są opublikowane w pracach

Akademia Górniczo-Hutnicza | Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej
Katedra Inżynierii Powierzchni i Analiz Materiałów
 al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków,
 tel. +48 12 617 38 17
 e-mail: Slawomir.Kac@agh.edu.pl, www.agh.edu.pl

wykazanych pod nr 29-33 autoreferatu, w których to pracach Habilitant jest pierwszym autorem.

Pracując w IMiM PAN w Krakowie Habilitant specjalizował się głównie w zaawansowanych badaniach techniką transmisyjnej mikroskopii elektronowej, badając różne grupy materiałów (materiały metaliczne, ceramiczne oraz materiały organiczne). Jak deklaruje Habilitant w autoreferacie, jako pierwszy w Instytucie wyspecjalizował się w obsłudze zaawansowanych trybów pracy TEM, zoptymalizował warunki obrazowania w trybie różnicowego kontrastu fazowego, a także dokonał opracowania optymalnych warunków przygotowania cienkich folii do eksperymentów grzewczych, które wymagają specjalnego kunsztu i znajomości techniki preparatyki FIB. Swoją szczególny wkład Habilitant upatruje w nw. badaniach:

- 1) Badania mikrostrukturalne i katalityczne szybkochłodzonych taśm z układu Ni-X (X=Al, Sn, Ga, In), realizowane w ramach grantu NCN, których wyniki opublikował w pracach wykazanych pod nr 34-38 w autoreferacie.
- 2) Badania mikrostruktury magnetycznej magnetyków miękkich z wykorzystaniem technik Lorentza i różnicowego kontrastu fazowego w trybie niskopowiększeniowej skaningowej mikroskopii elektronowej, których wyniki opublikował w pracach wykazanych pod nr 39-41 w autoreferacie.
- 3) Ewolucja mikrostruktury bezołowiowych stopów lutowniczych na potrzeby analizy której wykorzystałem m.in. stolik grzewczy, dzięki czemu proces segregacji składników, ewolucja frontu fazowego na styku podłoże/lutowie zostały prześledzone w warunkach in-situ. Badania prowadzone były w ramach grantu NCN, a których wyniki opublikował w pracach wykazanych pod nr 42-43 w autoreferacie.

W 6 z tych publikacji dr inż. P. Czaja jest pierwszym autorem, a w jednej nawet jedynym autorem, co potwierdza, że badania naukowe prowadzone przez Habilitanta były kluczowe w powstaniu tych prac.

Analizując przebieg kariery zawodowej Habilitanta stwierdzam, że wykazuje się On się bardzo dużą aktywnością naukową we współpracy innymi instytucjami naukowymi, w tym z zagranicznymi. Oprócz wymienionych już staży w Uniwersytecie Technicznym w Dreźnie, Uniwersytecie w Aberdeen w Szkocji, czy Uniwersytecie Wysp Balearskich, należy wymienić współpracę naukową z Centrum Synchrotronowym DESY w Hamburgu, gdzie w czasie krótkoterminowego pobytu prowadził badania z wykorzystaniem wysokoenergetycznej wiązki promieniowania X. Swoje badania (mikroskopia świetlna i efekt Kerr) Habilitant prowadził także w Leibniz Institute for Solid State and Materials Research w Dreźnie. Przez 10 miesięcy w 2018 r. pracował w firmie Pasek Europe/Pasek Espana Technical Centre, w Hiszpanii na stanowisku specjalisty ds. badań i rozwoju. W listopadzie 2019 r. Habilitant odbył 10-dniowy pobyt na Uniwersytecie Szanghajskim, którego efektem było podjęcie współpracy w zakresie magnetycznych stopów z pamięcią kształtu oraz publikacja naukowa, wykazana pod nr 45 w autoreferacie. W grudniu 2023 r. Dr inż. P. Czaja przebywał w Centrum Badań

Energii w Budapeszcie gdzie wygłosił wykład na temat obrazowania domen magnetycznych przy pomocy różnicowego kontrastu fazowego w transmisyjnej mikroskopii elektronowej oraz nawiązał współpracę naukową. Z tą współpracą ściśle związany jest również 10-miesięczny staż w ramach stypendium Polsko-Amerykańskiej Komisji Fulbrighta na Uniwersytecie Stanforda w Stanach Zjednoczonych (Numer GAF: PL/2023/28/SR), które rozpoczęło się we wrześniu 2023 r.

Habilitant współpracuje z licznymi ośrodkami naukowymi w kraju i za granicą, czego potwierdzeniem są wspólne prace n-b oraz publikacje naukowe, jak również liczne staże naukowe.

Dr inż. P. Czaja (wg. bazy WoS) jest autorem i współautorem 82 artykułów z listy JCR, z czego 70 zostało opublikowane po uzyskaniu stopnia doktora n.t. Jego publikacje posiadają 530 cytowań (z czego 392 bez autocytowań). Brał udział w 11 projektach n-b, z czego w jednym jako kierownik projektu, przed uzyskaniem stopnia dr n.t. Wygłosił 34 referaty na konferencjach, w tym 10 referatów na zaproszenie organizatorów konferencji). Indeks Hirsha Habilitanta wg WoS wynosi 14, a sumaryczny współczynnik wpływu IF wynosi 259.

5. Ocena działalności dydaktycznej i organizacyjnej

W związku z tym, że Dr inż. P. Czaja pracuje w instytucie naukowym, a nie na uczelni, to jest w pełni zrozumiałe że Jego działalność dydaktyczna jest ograniczona. Pomimo tego jednak, wielokrotnie podejmował działalność dydaktyczną. Prowadził cykl wykładów j. polskim i j. angielskim pt. Inżyniera materiałów funkcjonalnych i Engineering of functional materials dla studentów II stopnia studiów stacjonarnych na Wydziale Inżynierii Materiałowej i Ceramiki, Akademii Górniczo-Hutniczej. Wygłosił wykłady podczas szkoły mikroanalizy MIKROSOFA 2019 Cykliczna Szkoła Mikroanalizy – Mikrosofa 2019. Na Uniwersytecie Szanghajskim w 2019 r. wygłosił dla studentów wykład pt.: „Heat treatment effects in metamagnetic shape memory alloys”, wprowadzający ich w zagadnienie efektów obróbki cieplnej magnetycznych stopów z pamięcią kształtu.

Oprócz wygłoszonych wykładów, Dr P. Czaja posiada również swój wkład w kształcenie studentów pełniąc rolę promotora pomocniczego w trzech przewodach doktorskich. Ponadto pełnił funkcję opiekuna praktyk studenckich trzech studentek AGH odbywających praktyki studenckie w IMiIM PAN w Krakowie, opiekunem naukowym praktyk studenckich studentów z Politechniki Sorbońskiej oraz opiekunem dwóch studentów z Turcji w ramach programu Erasmus.

Habilitant bardzo aktywnie udziela się w działaniach na rzecz popularyzacji nauki prowadząc fun-page Polskiego Towarzystwa Mikroskopii oraz IMiIM PAN na portalu Facebook. Jest także autorem podcastu popularno-naukowego poświęconego tematyce inżynierii materiałowej oraz mikroskopii elektronowej. W 2023 r. w IMiIM PAN pełnił rolę koordynatora Ogólnopolskiego Dnia Inżynierii Materiałowej.

**Akademia Górniczo-Hutnicza | Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej
Katedra Inżynierii Powierzchni i Analiz Materiałów**

al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków,

tel. +48 12 617 38 17

e-mail: Slawomir.Kac@agh.edu.pl, www.agh.edu.pl

Jest członkiem Europejskiego Towarzystwa Mikroskopii, Polskiego Towarzystwa Materiałoznawczego, a także Małopolskiego Towarzystwa Ornitologicznego! Pełni także funkcję członka zarządu Polskiego Towarzystwa Mikroskopii. Wielokrotnie pełnił funkcję sekretarza, członka komitetu organizacyjnego, a nawet pomysłodawcy i głównego organizatora w pięciu konferencjach i sympozjach krajowych i międzynarodowych.

Od 2016 r. jest członkiem komitetu redakcyjnego i edytorem działowym czasopisma Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences BPASTS; a od 2017 r. członkiem komitetu redakcyjnego i edytora działowego czasopisma Archives of Metallurgy and Materials. Jest także recenzentem ponad 60 artykułów na zaproszenie redakcji czasopism międzynarodowych.

6. Wniosek końcowy

Analizując dorobek naukowy Habilitanta, stwierdzam, że jest w pełni dojrzałym naukowcem. Od momentu uzyskania stopnia doktora nauk technicznych znacząco zwiększył swój dorobek naukowy oraz poszerzył swoje zainteresowania naukowe. Przedstawione osiągnięcie naukowe, który stanowi zbiór 12 artykułów, pod wspólnym tytułem: „Opis mikrostruktury i charakteru oddziaływań magnetycznych stopów z pamięcią kształtu na osnowie Ni-Mn poddanych procesom stopowania, obróbki mechanicznej oraz cieplnej w celu optymalizacji właściwości funkcjonalnych” posiada wysoki poziom naukowy, a Jego autor wykazał się, znaczącym wkładem naukowym do Dyscypliny Inżynieria Materiałowa. Biorąc pod uwagę dorobek naukowy Habilitanta, Jego działalność dydaktyczną i organizacyjną uważam, że w pełni zasłużył na to aby kontynuować pracę, jako samodzielny pracownik naukowy. Wszystkie obszary działalności Habilitanta oceniam na bardzo wysokim poziomie.

Na podstawie oceny całości dorobku, stwierdzam, że Dr inż. Paweł Czaja spełnia wszystkie wymagania stawiane kandydatom ubiegającym się o stopień naukowy doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie Inżynieria Materiałowa (Ustawa z dn. 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, Dz.U. z 2023 r. poz. 742 z późn. zm. oraz ustawę z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, Dz.U. 2018, poz. 1669 z późn. zm.) i wnioskuję do Rady Naukowej Instytutu Metalurgii i Inżynierii Materiałowej im. Aleksandra Krupkowskiego Polskiej Akademii Nauk w Krakowie o dopuszczenie do dalszego procedowania i o nadanie stopnia doktora habilitowanego.

