

dr hab. Tomasz Goryczka prof. US
Instytut Inżynierii Materiałowej
Wydział Nauk Ścisłych i Technicznych
Uniwersytet Śląski

Katowice, 22.02.2024 r.

Recenzja

dorobku naukowego oraz aktywności naukowej dr inż. Pawła Czaja w ramach postępowania o nadanie stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria materiałowa

1. Formalna podstawa recenzji

Podstawę oceny dorobku naukowego oraz opracowania recenzji głównego osiągnięcia naukowego stanowiła uchwała Rady Naukowej Instytutu Metalurgii i Inżynierii Materiałowej im. A. Krupkowskiego PAN przekazana w piśmie - Pani dr hab. inż. Joanny Wojewoda-Budka, prof. PAN (DP.521.3.2023 z dnia 5.01.2024 r.). Ocena została wykonana na podstawie dołączonej dokumentacji oraz w oparciu o kryteria określone w art. 219 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2020 r. poz. 85 z późniejszymi zmianami).

2. Ogólna charakterystyka Habilitanta

Z punktu widzenia inżynierii materiałowej, zakres działalności naukowej dr inż. Pawła Czaja jest relatywnie szeroki i obejmuje materiały ceramiczne oraz metale i stopy. Już jako student Wydziału Inżynierii Materiałowej i Ceramiki, Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, Habilitant zajmował się bioaktywnymi szklami wykazującymi właściwości antybakteryjne. Tę część działalności podsumował w pracy magisterskiej zatytułowanej "Bioactive sol-gel glasses featuring antibacterial properties" (2005). Nie poprzestał na tym etapie. Poszerzył swoją wiedzę realizując kolejny projekt magisterski na Wydziale Chemii Uniwersytetu w Aberdeen prowadząc badania nad uwodornieniem i utlenianiem węglowodorów nienasyconych. Wyniki badań zostały przedstawione i obronione w postaci dysertacji zatytułowanej "Investigation into the formation and decomposition of alloocimene oxide" (2009). Podejmując studia doktorskie zmienił zainteresowania naukowe ukierunkowując swoją działalność na magnetyczne stopy wykazujące pamięć kształtu na osnowie nikiel-mangan, które zaliczane są do stopów Heuslera. Szczególną uwagę poświęcił badaniom efektu magnetokalorycznego dedykowanego praktycznemu wykorzystaniu w bezemisyjnej technologii chłodzenia. Wyniki prac badawczych zostały podsumowane w pracy doktorskiej zatytułowanej "Magnetostructural transition and magnetocaloric effect in Ni-Mn-Sn based Heusler alloys" obronionej w 2015 roku. Od tegoż roku dr inż. Paweł Czaja związany jest zawodowo z Instytutem Metalurgii i Inżynierii Materiałowej PAN w Krakowie.

3. Ocena osiągnięcia naukowego stanowiącego znaczący wkład w rozwój dyscypliny

Opracowane i wskazane do oceny przez dr inż. Pawła Czaja osiągnięcie naukowe, stanowi cykl 12 artykułów naukowych zatytułowany "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". Publikacje te ukazały się w czasopismach naukowych zamieszczonych w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. b - (Komunikat Ministra Edukacji i Nauki w sprawie wykazu czasopism naukowych i recenzowanych materiałów z konferencji międzynarodowych) obowiązującym w okresie złożenia wniosku. Wszystkie artykuły zostały opublikowane w czasopismach naukowych opatrzonych współczynnikiem wpływu IF o sumarycznej wartości 37.93, co daje relatywnie wysoką średnią 3.16 na artykuł. Pomimo faktu, że współczynniki bibliometryczne nie są parametrem służącym do oceny osiągnięcia wkładu naukowego Habilitanta w rozwój dyscypliny, to świadczą one o jego dobrej rozpoznawalności w środowisku naukowym zajmującym się magnetycznymi stopami z pamięcią kształtu. Ponadto, zgodnie z oświadczeniem Habilitanta oraz oświadczeniami współautorów, we wszystkich artykułach dr inż. Paweł Czaja pełnił przewodnią rolę pomysłodawcy hipotezy badawczej, koncepcji prowadzonych badań, autora korespondencyjnego oraz badań związanych z wykorzystaniem technik mikroskopii elektronowej. Fakty te wskazują na wysokie zaangażowanie Habilitanta w prowadzenie tematyki badawczej powiązanej z głównym osiągnięciem naukowym oraz umiejętności tworzenia zespołu badawczego i współpracy.

Możliwość doboru składu chemicznego i/lub kształtowania struktury stanowią podstawowe narzędzia do zmian charakterystyki odwracalnej przemiany martenzytycznej, która stoi u podstaw zjawisk pamięci kształtu. W klasycznych stopach, w których pamięć kształtu jest indukowana zmianą temperatury i/lub naprężenia zewnętrznego czynniki te odgrywały wiodącą rolę podczas ich projektowania. W przypadku stopów wykazujących magnetyczną pamięć kształtu dodatkowym elementem umożliwiającym kształtowanie efektów pamięci jest ingerencja w sprzężenie magnetyczno-strukturalne jak również uzyskanie odpowiedniego wariantu orientacji martenzytu w stosunku do kierunku działania zewnętrznego pola magnetycznego. Warto podkreślić w tym momencie, że jedną z istotnych różnic pomiędzy grupą stopów klasycznych, a grupą stopów z magnetyczną pamięcią kształtu jest szczególna wrażliwość tej drugiej grupy na wartość stężenia elektronowego. Habilitant dostrzegł możliwości wpływu na zakres występowania odwracalnej przemiany martenzytycznej poprzez zmianę składu chemicznego, co w konsekwencji doprowadziło do zmiany stężenia elektronowego, jak również i stopnia uporządkowania atomowego. Ponadto wprowadzenie dodatkowej obróbki cieplno-mechanicznej otwarło kolejną sposobność do uformowania odpowiedniej mikrostruktury o orientacji korzystnej z punktu widzenia wzmocnienia efektów magnetycznej pamięci kształtu.

Opierając się na powyższych przesłankach Habilitant przyjął uzasadniony tok prowadzenia badań. Najpierw podjął skuteczną próbę opisu wpływu uporządkowania atomowego na przebieg przemiany martenzytycznej oraz charakter oddziaływań magnetycznych w

wieloskładnikowych stopach na osnowie Ni-Mn z dodatkami stopniowymi takimi jak Sn/Ga oraz w stopach z dodatkiem Sn i In, w których podstawowy pierwiastek stopowy Ni został zastąpiony dodatkowo kobaltem. Na podstawie przeprowadzonych badań wykazał zależność pomiędzy stopniem uporządkowania, a charakterystycznymi temperaturami przemiany martenzytycznej oraz magnetycznej. Nie był to jedyny sposób zastosowany przez Habilitanta potwierdzający taką zależność. Dodatkowe badania przeprowadził na zmielonych taśmach $\text{Ni}_{48}\text{Mn}_{39.5}\text{Sn}_{10.5}\text{Al}_2$, które poddał obróbce cieplnej. W tym przypadku również wykazał, że w wyniku zastosowanych parametrów obróbki cieplnej wzrasta stopień uporządkowania atomowego, ponadto dochodzi do uporządkowania defektów strukturalnych, a to przełożyło się na wzrost temperatur charakterystycznych przemian martenzytycznej i magnetycznej (A1-A2). Istotnym elementem było również potwierdzenie wystąpienia uporządkowania samej fazy macierzystej polegającym na przejściu fazowym ze struktury o niższym stopniu porządkowania o strukturze typu B2 do sieci krystalicznej typu $L2_1$ charakteryzującej się wyższym stopniem uporządkowania. Fakt ten jest znany w stopach Heuslera opartych na Ni-Mn-Ga o niestechiometrycznym składzie chemicznym. Uporządkowanie to nie ma wpływu na sekwencję tworzących się odmian struktury martenzytu (A3). Habilitant poszerzył ten obszar wiedzy dodając do niego stop $\text{Ni}_{50.2}\text{Mn}_{28.3}\text{Ga}_{21.5}$ oraz wykazał, że oprócz stopnia uporządkowania atomowego również granice domem ferromagnetycznych i antyferromagnetycznych miały istotny wpływ na poprawę właściwości magnetycznych (A4).

Drugim istotnym problemem dostrzeżonym i rozwiniętym w badaniach prowadzonych przez Habilitanta było opisanie wpływu występowania austenitu szczątkowego ($L2_1$) na właściwości magnetyczne stopów na osnowie Ni-Mn-Sn. W wyniku przeprowadzonych badań na monokryształach doprowadzonym do jednowariantowej orientacji martenzytu Habilitant wykazał, że zastosowana procedura uzyskania uprzywilejowanej orientacji przyczyniła się do zaniku austenitu szczątkowego. Fakt ten miał istotny wpływ na właściwości magnetyczne mając swoje źródło w zmianie odległości pomiędzy atomami wywołanej przemianą martenzytyczną. Ponadto uzyskanie jednowariantowej orientacji umożliwiło potwierdzenie mechanizmu procesu magnesowania poprzez rotację wektora momentu magnetycznego bez udziału przemieszczania się granic domen magnetycznych. Również uzyskane wyniki badań wykazały, że stała anizotropii magnetokrystalicznej praktycznie nie ma wpływu na zaindukowaną polem magnetycznym, odwrotną przemianę martenzytyczną. Wynikało stąd, że uzyskanie odpowiednio zorientowanego jednowariantowego martenzytu poprawia efekty magnetycznej pamięci kształtu (prace A5-A7).

Znanym faktem jest, że stopy Ni-Mn-Ga od których zaczęła się magnetyczna pamięć kształtu, są stopami kruchymi - nienadającymi się do przeróbki plastycznej. Fakt ten zainspirował Habilitanta do podjęcia wysiłku w kierunku uplastycznienia tych stopów. Efektem prac było wytworzenie stopów cztero- i pięcioskładnikowych opartych o Ni-Mn, z udziałem takich pierwiastków, jak Co, Cu, Fe, Ge, In, Al. Ponadto oczekiwanym było, że zastosowane pierwiastki stopowe przyczynią się również do poprawy właściwości magnetycznych. Uzyskane wyniki umożliwiły Habilitantowi na opisanie struktury, mikrostruktury oraz oddziaływań magnetycznych, jak również przebiegu odwracalnej

przemiany martenzytycznej. W mojej opinii najważniejszym efektem tej części osiągnięcia jest opracowanie quazi diagramów fazowych uwzględniających zarówno strukturę stopów oraz ich właściwości magnetyczne. Z punktu widzenia inżynierii materiałowej aspekt ten ma istotne znaczenie - umożliwia opracowanie i projektowanie stopów o nowych składach chemicznych z dostosowanym zakresem (temperaturowym, magnetycznym) wystąpienia efektów pamięci kształtu pod kątem zdefiniowanych warunków zastosowania (A8-A12).

Wczytując się w opracowaną treść osiągnięcia wskazanego przez Habilitanta, jako istotnego nasuwają się drobne spostrzeżenia i uwagi. Pierwsza z nich dotyczy niewłaściwego zdefiniowania przemiany prowadzącej do uporządkowania fazy macierzystej, jako przemiany alotropowej. Przemiana alotropowa występuje tylko w czystych pierwiastkach, natomiast w związkach oraz stopach zmiana typu struktury sieci krystalicznej bez zmiany składu chemicznego nazywana jest przemianą polimorficzną.

Niezrozumiałe dla recenzenta jest posługiwanie się przez Habilitanta zwrotem "poprawny opis". Miałoby to sens, jeżeli Habilitant dyskutowałby lub polemizował z obecnym stanem danych literaturowych wykazując, że w dostępnej literaturze są zawarte dane niepoprawne i na tej podstawie wykazałby poprawność swoich tez popartych własnymi badaniami. Habilitant bardzo często odwołuje się i korzysta z danych literaturowych, traktując je jako wsparcie, na którym buduje, uzupełnia i poszerza wiedzę dotyczącą stopów wykazujących magnetyczną pamięć kształtu.

W podsumowaniu stwierdzam, że przedstawiony do oceny cykl 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" stanowi spójne tematycznie opracowanie dr inż. Pawła Czaja, przyczynia się do poszerzenia wiedzy dotyczącej specyficznej i relatywnie nowej grupy materiałów, jakimi są magnetyczne stopy z pamięcią kształtu, tym samym wnosi istotny wkład w rozwój dyscypliny "Inżynieria materiałowa". Przedstawione przeze mnie uwagi nie mają wpływu na merytoryczną wysoką, jakość prowadzonych przez Habilitanta badań oraz uzyskanych wyników.

4. Ocena istotnej aktywności naukowej realizowanej w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.

Prowadzona przez dr inż. Pawła Czaja działalność naukowo-badawcza zaowocowała opublikowaniem 82 artykułów naukowych w czasopismach opatrzonych, relatywnie wysokimi współczynnikami wpływu. Dwanaście z nich Habilitant opublikował przed doktoratem, natomiast 70 po uzyskaniu stopnia doktora. Fakt ten potwierdza zwiększenie dorobku naukowego w stosunku do okresu przed doktoratem. Ponadto wziął czynny udział w licznych konferencjach, na których zaprezentował łącznie 34 wystąpienia w postaci referatów. Wziął również udział w realizacji 11 projektów (9 po uzyskaniu stopnia doktora)

w charakterze wykonawcy. Głównym źródłem zwiększenia się dorobku naukowego Habilitanta była i nadal jest jego współpraca z innymi jednostkami naukowo-badawczymi - w tym przede wszystkim zagranicznymi.

Pracami wdrażającymi Habilitanta w tematykę magnetycznej pamięci kształtu były badania prowadzone we współpracy z Instytutem Fizyki Uniwersytetu Wysp Balearskich, w grupie profesora Cezariego. Kolejnym przejawem istotnej aktywności naukowej Habilitanta były badania dotyczące stopnia uporządkowania atomowego, przebiegu przemiany magnetycznej oraz martensytycznej zachodzących w stopach na osnowie nikiel mangan prowadzonej we współpracy z Centrum Synchronotromowym DESY w Hamburgu.

Uzyskanie stypendium w ramach projektu "Dresden Fellowship" umożliwiło Habilitantowi na półroczny pobyt w Uniwersytecie Technicznym w Dreźnie oraz kontynuację badań stopów z pamięcią kształtu w grupie prof. Rudolfa Schaefera. Ponadto pobyt przyczynił się do poszerzenia zainteresowań badawczych Habilitanta o materiały z obszaru kompozytów metalowo-ceramicznych.

Obecnie istotnym elementem aktywności naukowej Habilitanta było pozyskanie dziesięciomiesięcznego stypendium Polsko-Amerykańskiej Komisji Fulbrighta na Uniwersytecie Stanforda w Stanach Zjednoczonych. Dr inż. Paweł Czaja przekierował swoje zainteresowania naukowe na obszar materiałów wytwarzanych w postaci ultra cienkich warstw. Nad tą problematyką Habilitant rozpoczął badania w grupie profesora Alberto Salleo w 2023 r.

Dr inż. Paweł Czaja jest rozpoznawalnym ekspertem posługującym się biegle technikami mikroskopii elektronowej. Fakt ten otworzył Habilitantowi możliwości współpracy krajowej z takimi jednostkami jak: Katedra Inżynierii Procesowej i Technologii Chemicznej Wydziału Chemicznego Politechniki Gdańskiej, Katedra Chemii i Technologii Organicznej Politechniki Krakowskiej; Katedra Energetyki Wodorowej oraz Wydziałem Inżynierii Materiałowej i Ceramiki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.

Działalność dotycząca współpracy Habilitanta z innymi jednostkami nie tylko dotyczyła jednostek naukowych. Istotnym elementem była współpraca z przemysłem z branży hutniczej. Przykładem tego jest praca Habilitanta w charakterze specjalisty do spraw badań i rozwoju w firmie Pasek Europe w Salinas (Hiszpania) jak również współdziałanie z firmą Arcelor Mittal (Dąbrowa Górnicza).

Wyniki prowadzonej współpracy zostały przedstawione w wystąpieniach konferencyjnych, jak również i artykułach naukowych.

Podsumowując stwierdzam, że powyższa działalność dr inż. Pawła Czaja w pełni wyczerpuje wymogi stawiane kandydatom do stopnia doktora habilitowanego dotyczące istotnej aktywności naukowej albo artystycznej, realizowanej w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej (art. 219 ust. 1 pkt.3 ustawa z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce).

5. Ocena pozostałych osiągnięć w tym dydaktycznych, działalności popularyzującej naukę oraz organizacyjnej

Dr inż. Paweł Czaja również czynnie działa w obszarze dydaktyki oraz kształcenia kadr. Działalność naukowa w obszarze materiałów wykazujących efekty pamięci kształtów, jak również i znajomość technik mikroskopii elektronowej została dostrzeżona przez organizatorów szkoły mikroanaliz MIKROSOFA 2019 jak również i władze Wydziału Inżynierii Materiałowej i Ceramiki AGH powierzając Habilitantowi prowadzenie cyklu wykładów dla studentów oraz uczestników szkoły. Należy podkreślić, że tematyka prowadzonych wykładów była ściśle powiązana z obszarem inżynierii materiałowej.

Ponadto dr inż. Czaja pełnił oraz nadal pełni rolę promotora pomocniczego w 3 pracach doktorskich realizowanych w Instytucie Metalurgii i Inżynierii Materiałowej PAN. Do jego zadań należało również sprawowanie opieki nad praktykantami pochodzących zarówno z uczelni krajowych, jak i zagranicznych.

Aktywność Habilitanta jest także widoczna w obszarze organizacyjnym oraz popularyzującym naukę. Brał czynny udział w pracach komitetów organizacyjnych warsztatów, sympozjów oraz konferencji, których tematyka była ściśle powiązana z zaawansowanymi materiałami, technologiami oraz technikami badawczymi w obszarze mikroskopii elektronowej. Jako pasjonat mikroskopii elektronowej jest zaangażowany w wprowadzenie strony internetowej Polskiego Towarzystwa Mikroskopii oraz strony na portalu społecznościowym Facebook. Do najważniejszych osiągnięć w tym zakresie należy zrealizowany przez Habilitanta i opublikowany wywiad przeprowadzony z Panem profesorem Janem Dutkiewiczem dotyczący początków mikroskopii elektronowej transmisyjnej w Polsce, w zastosowaniu do inżynierii materiałowej.

W podsumowaniu tej części recenzji stwierdzam, że dorobek dydaktyczny oraz działalność organizacyjna i popularyzatorska na rzecz nauki potwierdzają czynną aktywność Habilitanta w tym obszarze.

6. Wniosek końcowy

Przedstawione przez dr inż. Pawła Czaja osiągnięcie naukowe w postaci spójnego cyklu 12 publikacji zatytułowane „*Opis mikrostruktury i charakteru oddziaływań magnetycznych stopów z pamięcią kształtu na podstawie Ni-Mn poddanych procesom stopowania, obróbki mechanicznej oraz cieplnej w celu optymalizacji właściwości funkcjonalnych*” stanowi oryginalny i istotny wkład w rozwój inżynierii materiałowej. Prowadzone badania są dobrze udokumentowane, stanowią zwartą całość, potwierdzają znajomość stosowanych technik badawczych oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

Ponadto, na podstawie dokonanej oceny aktywności naukowo badawczej, dorobku dydaktycznego, organizacyjnego oraz popularyzatorskiego dr inż. Pawła Czaja stwierdzam, że w pełni wychodzą naprzeciw wymaganiom stawianym kandydatom do stopnia doktora

habilitowanego zawartych w ustawie z dnia 20 lipca 2018 roku. Prawo o szkolnictwie wyższym nauce (Dz.U. 2018 poz. 1668, z późn. zm.).

Na podstawie przeprowadzonej kompleksowej oceny *wniosuję do Rady Naukowej Instytutu Metalurgii i Inżynierii Materiałowej im. A. Krupkowskiego PAN o nadanie Panu dr inż. Pawłowi Czaja stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk Inżynieryjno-Technicznych, w dyscyplinie "Inżynieria materiałowa".*

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized, cursive letters that appear to be 'GK'.