

Instytut Metalurgii i Inżynierii Materiałowej
im. Aleksandra Krupkowskiego
Polskiej Akademii Nauk
30-059 Kraków
ul. Reymonta 25

Autoreferat

Spis treści:	Nr str.
1. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe- z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.....	2
2. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych.....	2
3. Osiągnięcie stanowiące podstawę wszczęcia postępowania habilitacyjnego.....	3
4. Przebieg pracy naukowej.....	5
4.1. Okres przed doktoratem.....	5
4.2. Okres po doktoracie.....	7
4.3. Omówienie celu naukowego i osiągniętych wyników prac stanowiących podstawę wszczęcia postępowania habilitacyjnego.....	10
4.3.1. Zagadnienie analizy mikrostrukturalnej mechanizmów zużycia wielowarstwowych powłok tribologicznych.....	11
5. Podsumowanie działalności naukowej.....	18
5.1. Autorstwo i współautorstwo w publikacjach naukowych.....	18
5.2. Udział w konferencjach.....	19
5.3. Udział w realizacji grantów i umów z ośrodkami naukowymi i przemysłowymi.....	20
5.4. Otrzymane nagrody.....	21
5.5. Staże zagraniczne.....	21
6. Działalność dydaktyczna.....	21
7. Działalność organizacyjna.....	22

1. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe- z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

- W 1997 roku ukończyłem XXVI liceum ogólnokształcące o profilu biologiczno-chemicznym przy zespole szkół chemicznych im. Marii Skłodowskiej Curie w Krakowie
- Studia magisterskie ukończyłem w 2002 roku na Akademii Górniczo-Hutniczej, na wydziale Metali Nieżelaznych, specjalności: Inżynieria Materiałowa. Pracę magisterską pt.: „Badania nad niestabilnością płynięcia plastycznego monokryształów Cu i CuAl o orientacji $\langle 112 \rangle$ i zbliżonej do $\langle 112 \rangle$ ” obroniłem z wyróżnieniem. Promotorem pracy był prof. Marek Szczerba
- Studia doktoranckie ukończyłem w 2007 roku w Instytucie Metalurgii i Inżynierii Materiałowej Polskiej Akademii Nauk w Krakowie. Pracę doktorską pt.: „Struktura i własności wielowarstwowych materiałów kompozytowych uzyskiwanych metodą osadzania laserowego” obroniłem z wyróżnieniem. Promotorem pracy był prof. Jerzy Morgiel
- W celu poszerzenia wiedzy z zakresu profesjonalnego prowadzenia projektów badawczych w 2012 roku ukończyłem dwusemestralne studia podyplomowe "Zarządzanie projektem badawczym i komercjalizacja wyników badań" na Uniwersytecie Ekonomicznym w Krakowie, oraz zdałem egzamin państwowy na certyfikat IPMA (International Project Management Association) poziom D, który jest uznawany na całym świecie.

2. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych.

- Podczas studiów doktoranckich, w 2003 do 2007 roku, zatrudniony zostałem na stanowisku technicznym (metalurg) w Instytucie Metalurgii i Inżynierii Materiałowej PAN
- od roku 2007 zatrudniony jestem w Instytucie Metalurgii i Inżynierii Materiałowej PAN w Krakowie, na stanowisku adiunkta

3. Osiągnięcie stanowiące podstawę wszczęcia postępowania habilitacyjnego.

Osiągnięciem stanowiącym podstawę wszczęcia postępowania habilitacyjnego według art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach naukowych i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.) jest jedno- tematyczny cykl publikacji z obszaru:

„Mikrostrukturalna analiza mechanizmów zużycia mechanicznego wielowarstwowych powłok tribologicznych, przeprowadzona przy wykorzystaniu transmisyjnej mikroskopii elektronowej”

Cykl ten obejmuje 15 publikacji w czasopismach:

- 3.1 . **L. Major (80%)**, W. Tirry, G. Van Tendeloo: Microstructure and defect characterization at interfaces in TiN/CrN multilayer coatings, Surface & Coatings Technology 202, (2008) 6075-6080. *JCR, IF=2,193 (lista ministerialna= 40)*
- 3.2 . **L. Major (70%)**, J.Morgiel, J.M. Lackner, M.J. Szczerba, M. Kot, B. Major; Microstructure Design and Tribological Properties of Cr/CrN and TiN/CrN Multilayer Films; Advanced Engineering Materials vol. 10(2008)617- 621. *JCR, IF=1,185 (lista ministerialna= 30)*
- 3.3 . J.M. Lackner, W. Waldhauser, M. Schwarz, L. Mahoney, **L. Major (10%)**, B. Major: Polymer pre-treatment by linear anode layer source plasma for adhesion improvement of sputtered TiN coatings, Vacuum 83 (2009) 302–30. *JCR, IF=1,208 (lista ministerialna= 20)*
- 3.4 . **L. Major (60%)**, J.Morgiel, M.Kot, W.Rakowski; Obserwacje zużycia powłok wielowarstwowych Ti/TiN w teście ball-on-disc; Tribologia ISSN 0208-7774 ROK XL;nr3(2009)115-124 (*lista ministerialna= 7*)
- 3.5 . **L. Major (90%)**, J.Morgiel; TEM analysis of wear of Ti/TiN multi- layer coatings in ball-on-disc test; Fractography- Key Engineering Materials; 409(2009)123-127. *JCR, IF=0,224*
- 3.6 . J.M. Lackner, W. Waldhauser, A. Alamanou, C.Teichert, F.Schmied, **L. Major (10%)**, B.Major; Mechanisms for self-assembling topography formation in low- temperature vacuum deposition of inorganic coatings on polymer surfaces; Bulletin of the Polish Academy of Sciences- Technical Sciences; vol.58, No. 2, (2010)281-294. *JCR, IF=0,942 (lista ministerialna= 30)*

- 3.7 . **L. Major (60%)**, M. Kot, J.M. Lackner; The effect of metallic inter- layers on multilayer ceramic/ metal coatings properties; Inżynieria Materiałowa; vol. 3(2010) 445- 448 (*lista ministerialna= 7*)
- 3.8 . J.M.Lackner, **L. Major (40%)**, M.Kot: Microscale interpretation of tribological phenomena in Ti/TiN soft-hard multilayer coatings on soft austenite steel substrates; Bulletin of the Polish Academy of Sciences- Technical Sciences vol.59, No. 3, (2011)343-355. *JCR, IF=0,942 (lista ministerialna= 30)*
- 3.9 . **L. Major (100%)**: Transmission Electron Microscopy (TEM) analysis of TiOx coatings on polymer cannulas; Chapter in the book: Nanostructural materials for implants and cardiovascular biomedical devices ISBN 978-83-63310-00-4 (2011)119- 127
- 3.10 **L. Major (60%)**, M. Kot, B. Major: Mikrostrukturalna analiza mechanizmów zużycia powłok mono- i wielowarstwowych bazujących na składzie TiN i a-C-H. Problemy Eksploatacji, 4 (2011) 19-25 (*lista ministerialna= 5*)
- 3.11 **L. Major (80%)**, J.M. Lackner, J. Morgiel: TEM Investigations of Wear Mechanisms of Single and Multilayer Coatings; Chapter in the book: The Transmission Electron Microscope ISBN 979-953-307-311-7 (2012) 179-196
- 3.12 **L. Major (100%)**: TEM investigations of damage caused by indentation of multilayer TiN/Ti/a-C:H coatings; Solid State Phenomena; vol. 186 (2012) 188- 191 (*lista ministerialna= 10*)
- 3.13 **L. Major (80%)**, J.M. Lackner, B. Major: Multiscaled analysis of wear mechanism of titanium and carbon basis multilayer coatings; Inżynieria Materiałowa nr 6(190)(2012)553- 555 (*lista ministerialna= 7*)
- 3.14 M. Kot, **L. Major (40%)**, J. Lackner: Tribological phenomena of new kind of multilayer coatings TiN/a-C:H; Materials and Design 51 (2013) 280–286 *JCR, IF=2,193 (lista ministerialna= 30)*
- 3.15 J. M. Lackner, W. Waldhauser, B. Major, **L. Major (20%)**, M. Kot: Plastic deformation in nano-scale multilayer materials — A biomimetic approach based on nacre; Thin Solid Films 534 (2013) 417–425 *JCR, IF= 2,014 (lista ministerialna= 30)*

4. Przebieg pracy naukowej

4.1. Okres przed doktoratem

Studia wyższe podjąłem na Wydziale Metali Nieżelaznych Akademii Górniczo-Hutniczej na kierunku Inżynieria Materiałowa, które ukończyłem z wyróżnieniem w 2002 roku. Promotorem pracy magisterskiej pt.: „Badania nad niestabilnością płynięcia plastycznego monokryształów Cu i CuAl o orientacji $\langle 112 \rangle$ i zbliżonej do $\langle 112 \rangle$ ”, był prof. Marek Szczerba. W czasie studiów, w latach 2000 i 2001 odbyłem miesięczne praktyki z zakresu nowoczesnych metod badawczych na Montanuniversität w Leoben w Austrii.

W 2002 roku rozpocząłem studia doktoranckie organizowane przez Instytut Metalurgii i Inżynierii Materiałowej PAN i Wydział Mechaniczny Politechniki Krakowskiej. Wyniki badań zostały rozpowszechnione w 11 publikacjach zamieszczonych w renomowanych czasopismach i materiałach konferencyjnych:

- 4.4.1 W. Bochnowski, H. Leitner, **L. Major**, R. Ebner, B. Major Primary and secondary carbides in high-speed steel after conventional heat treatment and laser modification; Materials Chemistry and Physics 81(2003)503-506
- 4.4.2 B. Major, **L. Major**, J. Morgiel, J.M. Lackner, W. Waldhauser, W. Mróz, T. Wierzchoń: Nano- crystalline nitride- based coatings produced by pulsed laser deposition; Inżynieria Materiałowa; ADVANCED MATERIALS & TECHNOLOGIES AMT'2004 (2004)623-625
- 4.4.3 J. Morgiel, **L. Major**, L. Lityńska, T. Czeppe, J. Dutkiewicz: Crystallization of TiZrNiCo melt spun ribbon aimed for high temperature shape memory application; XIX International Conference on „Applied Crystallography” Conference Proceeding World Scientific (2004) 142-145
- 4.4.4 **L. Major**, J.M. Lackner, J. Morgiel, R. Kustosz, T. Wierzchoń, B. Major: Tribological multilayers of Ti/TiN and Cr/CrN type produced by laser ablation for application in assisted medical equipment; Engineering of Biomaterials (2004)68-70
- 4.4.5 J. Morgiel, **L. Major**, H. Takahashi, T. Shibayama, D. Foord, J.M. Lackner: Microstructure Characterization of Cr(N,C) Coating Deposited with Pulsed Laser Deposition (PLD) Technique; Archives of Materials Science 26 (2005)111- 117

- 4.4.6 **L. Major**, J. Morgiel, J.M. Lackner, W. Waldhauser, W. Rakowski, B. Major: Diagnostic of the Cr/CrN type tribological coating produced by pulsed laser deposition technique; *Inżynieria Materiałowa* 5 (2005)324- 326
- 4.4.7 J. Morgiel, **L. Major**, H. Takahashi, T. Shibayama, D. Foord, J.M. Lackner: Microstructure Characterization of Cr(N,C) Coating Deposited with Pulsed Laser Deposition (PLD) Technique; *Archives of Materials Science* 26 (2005)111- 117
- 4.4.8 J.M. Lackner, W. Waldhauser, B. Major, J. Morgiel, **L. Major**, H. Takahashi, T. Shibayama; Growth structure and growth defects in pulsed laser deposition Cr-CrN_x-CrC_xN_{1-x} multilayer coatings; *Surface & Coatings Technology* 200 (2006) 3644- 3649
- 4.4.9 **L. Major**, J. Morgiel, B. Major, J.M. Lackner, W. Waldhauser, R. Ebner, L. Nistor, G. Van Tendeloo; Crystallographic aspects related to advanced tribological multilayers of Cr/CrN and Ti/TiN types produced by Pulsed Laser Deposition (PLD); *Surface & Coatings Technology* 200(2006)6190-6195
- 4.4.10 J. Morgiel, **L. Major**, B. Major, J.M. Lackner, L. Nistor; Advances and problems with TEM characterization of Cr/CrN multilayer coatings; *Journal of Microscopy* 223(2006)237- 243
- 4.4.11 J.M. Lackner, W. Waldhauser, M. Kahn, R. Berghauser, D. Hufnagel, R. Major, **L. Major**, B. Major; Growth Morphology, Adhesion and Mechanical Properties of Room-Temperature Pulsed Laser Deposited Cr-CrN Multilayer Coatings; *Plasma Processes and Polymers* 4 (2007)51-54

Oprócz wykładów i ćwiczeń z zakresu studiów odbyłem następujące staże zagraniczne:

-University of Antwerp "EMAT: Electron Microscopy for Materials Science". Belgia- dwa razy po miesiącu (w latach 2004 i 2005)

-Research Institute for Technical Physics and Materials Science; Hungarian Academy of Sciences. Węgry- dwa razy po tygodniu (w latach 2005 i 2006)

Pracę doktorską pt.: „Struktura i własności wielowarstwowych materiałów kompozytowych uzyskiwanych metodą osadzania laserowego” obroniłem 26 marca 2007. Praca została wyróżniona. Promotorem pracy był prof. Jerzy Morgiel.

4.2. Okres po doktoracie

W roku 2007 zatrudniony zostałem w Instytucie Metalurgii i Inżynierii Materiałowej PAN w Krakowie (IMIM PAN), na stanowisku adiunkta. Jestem pracownikiem IMIM PAN oraz działam w Zespole Akredytowanych Laboratoriów Badawczych w Instytucie. Koncentruję się głównie na wykorzystaniu metod transmisyjnej mikroskopii elektronowej (TEM). Moje zainteresowania naukowe dotyczą analizy zmian mikrostruktury wielowarstwowych powłok tribologicznych wywołanych procesem zużycia mechanicznego. Technikę TEM wykorzystuję do określenia budowy mikrostrukturalnej powłok tribologicznych, ich składu chemicznego i fazowego, orientacji ziarn, zdefektowania, zależności krystalograficznych pomiędzy poszczególnymi warstwami składowymi w układach wielowarstwowych. Prowadzę wieloskalową analizę wad strukturalnych, które w późniejszym etapie eksploatacji mogłyby prowadzić do uszkodzenia pokrytego elementu, lub jego przedwczesnego zużycia się. Jakość powłok w stanie po nałożeniu bardzo silnie wpływa na ich zachowanie się podczas eksploatacji.

Odpowiednia preparatyka cienkich folii techniką FIB (Focused Ion Beam-zogniskowana wiązka jonów galu) w połączeniu z mikromanipulatorem in-situ do TEM pozwala na przeprowadzanie badań zmian mikrostruktury po testach mechanicznych. Technika ta pozwala na uzyskanie cienkiej folii z dokładnie określonego miejsca. W przypadku moich badań, cienkie folie do TEM uzyskuję ze ścieżek wytarcia po testach na zużycie (Ball-on-disc), lub z miejsc po testach na przyleganie (tzw. scratch test). Ostatnio rozpocząłem analizę mikrostruktury powłok wywołanych zużyciem mechanicznym w biologicznych płynach ustrojowych. Działalność moja ma na celu stworzenie fenomenologicznego opisu zmian mikrostruktury wielowarstwowych powłok tribologicznych do kontaktu z tkanką biologiczną (np. powłok do zastosowań na narzędzia chirurgiczne), wywołanymi testami bio- mechanicznymi, czyli testami mechanicznymi na zużycie lub zmęczenie w połączeniu z oddziaływaniem agresywnego korozyjnie środowiska biologicznych płynów ustrojowych.

W celu doskonalenia techniki mikroskopii transmisyjnej w roku 2007 wyjechałem na dwumiesięczne stypendium wspólnoty Flamandzkiej w Belgii na Uniwersytecie w Antwerpii- EMAT: Electron Microscopy for Materials Science. Jest to cenione na Świecie centrum transmisyjnej mikroskopii elektronowej.

Zagadnienie zmian mikrostruktury wielowarstwowych powłok tribologicznych realizuję w ramach prac statutowych oraz szeregu projektów, których jestem kierownikiem:

- [5.6] Grant (NCN): Opracowanie i diagnostyka wielofunkcyjnych powłok typu ceramika/ uwodorniony amorficzny węgiel na elementy pomp wspomagania sztucznych komór serca; nr 3066/B/T02/2011/40; czas trwania 2011- 2013. Celem projektu jest wytworzenie i charakterystyka wielofunkcyjnych, samosmarujących powłok.

- [5.8] Grant (NCN): Opracowanie anty- zużyciowych, samouszczelniających, wielowarstwowych powłok ochronnych na kompozyty węglowo- węglowe; nr 2012/06/M/ST8/00408; czas trwania 2013- 2016. Celem projektu jest zwiększenie odporności na zużycie i wysokotemperaturowe utlenianie kompozytów węglowo- węglowych poprzez zastosowanie innowacyjnych, samouszczelniających, wielowarstwowych powłok ochronnych.

- [5.10] Grant (NCN): Analiza bio-mechaniczna i mikrostrukturalna wielowarstwowo- nano- kompozytowych powłok ochronnych na podłoża metaliczne do interakcji z tkanką; Przyznany (OPUS 4 sekcja ST-8), czekam na podpisanie umowy: czas trwania 2013-2016. Celem projektu jest stworzenie unikatowego, fenomenologicznego opisu właściwości wielowarstwowo- nanokompozytowych powłok ochronnych do kontaktu z tkanką.

Wszystkie trzy projekty istotnie różnią się od siebie. Stanowią program (zbiór projektów o wspólnym celu strategicznym), którego celem jest wzbogacenie dziedziny nauki związanej z inżynierią powierzchni o opis zmian mikrostruktury różnorodnych powłok wielowarstwowych i nano- kompozytowych wywołanych testami mechanicznymi, temperaturowymi czy korozyjnymi, przeprowadzony w wielo- skali, przy wykorzystaniu transmisyjnej mikroskopii elektronowej.

W ramach przyznanego projektu [5.10] planuję zakup unikatowej maszyny wytrzymałościowej do przeprowadzania testów zmęczeniowych powłok w biologicznych płynach ustrojowych. Powłoki po tego typu testach, podobnie jak po testach mechanicznych na zużycie i bio- korozyjnych, poddane zostaną szczegółowej analizie zmian mikrostruktury za pomocą transmisyjnej mikroskopii elektronowej. W ramach projektu rozwijana będzie nowoczesna dziedzina związana z bio- mechaniką powłok.

Od wielu lat realizuję współpracę z Centrum Laserowym w Austrii (JOANNEUM RESEARCH- Materials- Institute for Surface Technologies and Photonics- Dr hab. inż. Jürgen.M. Lackner). Ośrodek ten jest jednym z wiodących w Austrii w obszarze

wytwarzania powłok technikami PVD, głównie laserowymi i magnetronowymi. JOANNEUM RESEARCH -Instytut Technologii Powierzchniowych i Fotoniki zapewnia dostęp do najnowszych rozwiązań technicznych potrzebnych do wdrażania innowacyjnych materiałów powłokowych. Oferuje rozwój i wytwarzanie wysokiej jakości cienkich warstw oraz modyfikację powierzchni, a także wsparcie we wdrażaniu tych technologii w szerokim zakresie dziedzin.

Współpracę tę prowadzę w ramach projektów:

- [5.5] Projekt wymiany Polska- Austria: Rozwój biomimetycznych cienkich warstw dla urządzeń wspomagania serca: nowe strategie bazujące na próżniowym nanoszeniu samoorganizujących się biomateriałów; 023/2012/2013/2014; 8548/R 12/R 14; czas trwania 2012-2014 (gdzie jestem wykonawcą)
- [5.8] Grant (NCN): Opracowanie anty- zużyciowych, samouszczelniających, wielowarstwowych powłok ochronnych na kompozyty węglowo- węglowe; nr 2012/06/M/ST8/00408; czas trwania 2013- 2016 (którego jestem kierownikiem)

W ramach mojej działalności współpracuję również z Akademią Górniczo- Hutniczą, wydziałem Inżynierii Mechanicznej i Robotyki (dr inż. Marcin Kot), gdzie powłoki poddawane są mechanicznym testom na zużycie i przyleganie, oraz z Politechniką Częstochowską (dr hab. inż. Piotr Lacki prof. Polit. Częstochowskiej), gdzie wykonywane jest modelowanie właściwości mechanicznych powłok metodą elementów skończonych.

Nowoczesne prowadzenie badań naukowych, w głównej mierze oparte jest o działalność projektową. Umiejętności interpersonalne oraz cechy osobowości są równie ważne, jak doświadczenie i wiedza. W roku 2012 ukończyłem studia podyplomowe z zakresu zarządzania projektem badawczym i komercjalizacji wyników badań oraz zdałem egzamin państwowy na certyfikat IPMA (International Project Management Association). Organizacja ta promująca project management, reprezentuje ponad pięćdziesiąt stowarzyszeń narodowych na wszystkich kontynentach. System certyfikacji IPMA jest stosowany i uznawany na całym świecie. Został on opracowany jako proces ciągłego doskonalenia i rozwoju kompetencji kierownika projektu. Uzyskaną wiedzę wykorzystuję w opracowywaniu projektów badawczych i w ich odpowiednim kierowaniu.

4.3. Omówienie celu naukowego i osiągniętych wyników prac stanowiących podstawę wszczęcia postępowania habilitacyjnego

Wymagania stawiane nowoczesnym materiałom oraz urządzeniom, szczególnie tym stosowanym w medycynie są coraz większe. Prawidłowo ukształtowana warstwa wierzchnia zapewnia optymalne właściwości tribologiczne w trakcie eksploatacji, a tym samym trwałość i niezawodność konstrukcji. Nowoczesne rozwiązania bazują na układach wielowarstwowych. Naprzemianległe ułożenie warstw twardych (ceramicznych) i miękkich (metalicznych lub amorficznych) o grubości od kilkudziesięciu do kilku nanometrów jak również zastosowanie odpowiedniej warstwy buforowej (warstwa pierwsza od podłoża) może prowadzić do poprawy jakości przylegania powłoki, zwiększenia jej elastyczności oraz twardości. W przypadku pęknięć propagujących się przez warstwę ceramiczną są one zatrzymane na granicy międzywarstwowej przechodząc do fazy amorficznej bądź metalicznej.

Kompleksowy, fenomenologiczny opis właściwości nowoczesnych powłok tribologicznych, głównie powłok wielowarstwowych, stanowi istotny wkład w rozwój nauk związanych z inżynierią powierzchni i bio- mechaniką powłok. Szczególnie istotny jest opis zmian mikrostruktury tego typu powłok, wywołanych testami mechanicznymi i bio- mechanicznymi. Powodem podjęcia przeze mnie tego typu badań był brak podobnych analiz w literaturze i rozwój dziedziny nauki związanej z inżynierią powierzchni. Tego typu diagnostyka jest szczególnie istotna w aspekcie poznania zachowania się nowych materiałów pod wpływem oddziaływania na nie przyłożonej siły, temperatury lub agresywnego środowiska.

Głównym celem naukowym mojej działalności było stworzenie fenomenologicznego opisu właściwości wielowarstwowo- nano- kompozytowych powłok ochronnych do kontaktu z tkanką, za pomocą analizy zmian mikrostruktury, powstałych w wyniku zużycia mechanicznego i korozyjnego (w biologicznych płynach ustrojowych), przy wykorzystaniu transmisyjnej mikroskopii elektronowej (TEM, HRTEM).

Fenomenologiczny opis właściwości złożonych struktur warstwowych, jest bardzo istotny z naukowego punktu widzenia i stanowi istotny wkład w rozwój nauk związanych z inżynierią powierzchni oraz bio- mechaniką powłok.

4.3.1. Zagadnienie analizy mikrostrukturalnej mechanizmów zużycia wielowarstwowych powłok tribologicznych

Odporne na zużycie powłoki stosowane są w celu zabezpieczenia powierzchni elementów pracujących w warunkach oddziaływania przyłożonych, odpowiednio wysokich sił zewnętrznych, temperatury lub agresywnego środowiska korozyjnego. Obecnie dużą uwagę przykładana się do ochronnych, wielowarstwowych powłok tribologicznych.

Opracowanie odpowiedniego typu wielowarstwowych powłok tribologicznych przeprowadziłem przy współpracy z Centrum Laserowym (JOANNEM RESEARCH-Materials), gdzie powłoki były wytwarzane, laboratorium tribologii Akademii Górniczo-Hutniczej wydz. Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, gdzie były one testowane pod kątem odporności na zużycie mechaniczne i siłę przylegania do podłoża, oraz Politechniką Częstochowską, gdzie przeprowadzono modelowanie właściwości mechanicznych powłok za pomocą metody elementów skończonych. Moją rolą w zespole, który stworzyłem, było przeprowadzenie zaawansowanej, mikrostrukturalnej diagnostyki powłok w aspekcie ich jakości przylegania do podłoża, jak również mikrostrukturalnego opisu mechanizmów zużycia oraz pęknięcia. Do tego celu wykorzystałem transmisyjną mikroskopię elektronową. Prace, które zostały wykonane i które będą kontynuowane, prowadzą do zastosowania opracowywanych powłok na narzędzia chirurgiczne.

Wielowarstwowe powłoki tribologiczne zbudowane są z naprzemiennie ułożonych warstw twardych i miękkich o grubości od kilku do kilkudziesięciu nanometrów, typu ceramika/ metal; lub ceramika/ ceramika (z tym, że jedna jest twardsza i bardziej krucha, druga miększa i bardziej wytrzymała). Tego typu naprzemiennie ułożenie może prowadzić do zwiększenia twardości, elastyczności i dobrej jakości przylegania całej powłoki. Prace nad analizą zdefektowania mikrostruktury wielowarstwowych powłok tribologicznych rozpocząłem od opisu defektów wywołanych samym procesem nakładania i stwierdziłem, że defekty te nie wpływają negatywnie na właściwości. Występują one w postaci dużej ilości dyslokacji, co w konsekwencji prowadzi do zwiększenia wytrzymałości powłok, co opisałem w publikacjach [3.1., 3.2.].

Kolejnym etapem moich badań była analiza defektów w postaci pęknięć wywołanych procesem zużycia mechanicznego oraz jego mechanizmów. W przypadku wielowarstw typu ceramika/ metal, możliwa propagacja pęknięcia wywołana przyłożoną siłą zewnętrzną np. podczas eksploatacji, może zostać zatrzymana na granicy warstwowej między warstwą ceramiczną, a metaliczną. Jest to spowodowane płynięciem plastycznym warstw

metalicznych. Energia kruchego pęknięcia zamieniana jest na energię odkształcenia plastycznego. Mikrostrukturalny opis propagującego się pęknięcia przez powłoki rozpocząłem od analiz mechanizmów zużycia powłok monowarstwowych [3.3., 3.4., 3.6., 3.9]. Powłoki te traktowałem jako odniesienie do później opisanych wielowarstw [3.5., 3.7., 3.8.]. Azotek tytanu jest powszechnie stosowanym materiałem na twarde powłoki stosowane w przemyśle. W celu zwiększenia jakości przylegania tego typu powłoki do metalicznego podłoża, nałożyłem dodatkową, buforową warstwę metalicznego tytanu.

Powłoki poddane zostały mechanicznym testom na zużycie i zaawansowanej diagnostyce zmian mikrostruktury. Proces zużycia spowodował, że powłoka była silnie popękana i sfragmentaryzowana. Za pomocą techniki wysokorozdzielczej mikroskopii transmisyjnej stwierdziłem, że pęknięcia propagowały się po płaszczyznach najgęstszego ułożenia atomów dla struktury regularnej, ściennie centrowanej, jaką charakteryzuje się TiN. W wyniku procesu zużycia powstała duża ilość tribo- filmu tzn. materiał wytworzony jako produkt zużycia. Zużycie powodowało pojawienie się pęknięć, ziarna uległy wykruszeniu, następnie dalszemu rozdrobnieniu. Finalnie materiał ten nałożony został mechanicznie na powierzchnie powłoki w postaci tzw. tribo- filmu czyli rozdrobnionej mieszaniny wykruszonych fragmentów powłoki. Analiza fazowa, którą przeprowadziłem za pomocą techniki dyfrakcji elektronowej, wykazała obecność tlenku tytanu (jako produktu reakcji wykruszonych fragmentów ziarn TiN oraz Ti z atmosferą) oraz austenitu, z uwagi na fakt, że w części centralnej ścieżki zużycia powłoka była usunięta- odsłonięte podłoże stalowe.

Układ wielowarstwowy opisany został przeze mnie na przykładzie powłok tytan/azotek tytanu (Ti/TiN) [3.5., 3.7., 3.8.]. Powłoki w stanie po nałożeniu charakteryzowały się silnie zdefektowaną (duża ilość dyslokacji) strukturą kolumnową. Kontrast dyfrakcyjny przechodzący przez kilka warstw składowych mógł świadczyć o pewnych zależnościach krystalograficznych pomiędzy warstwami. Warstwa buforowa (pierwsza od podłoża), charakteryzowała się znacznie drobniejszymi krystalitami, niż następne warstwy składowe. Powłoki poddane zostały mechanicznemu, statycznemu testowi na wciskanie kulistego penetratora do powłoki z siłą 1N. Cienkie folie do analizy TEM przygotowane zostały z części gdzie powłoka uległa deformacji. Diagnostyka mikrostrukturalna przeprowadzona została na przekroju poprzecznym. Powłoki po teście mechanicznym były silnie odkształcone. Na przekroju poprzecznym powstały charakterystyczne linie deformacji przechodzące przez powłokę.

Linie te układały się pod kątem 45° do kierunku wzrostu krystalitów. Kąt ten jest charakterystyczny dla odkształcenia plastycznego polikrystalicznych materiałów metalicznych. Obrazy TEM przy większym powiększeniu ujawniły, że linie te składały się z plastycznego odkształcenia w warstwach metalicznych (Ti) i kruche pęknięcia w warstwach ceramicznych (TiN). Odkształcenie plastyczne w warstwach metalicznych propagowało się pod kątem 45° , podobnie jak całkowita linia deformacji powłoki, natomiast kruche pęknięcie było prostopadłe do podłoża. Obrazy uzyskane techniką wysokorozdzielczej mikroskopii transmisyjnej (HRTEM) ujawniły, że pęknięcie w warstwach TiN propagowało się po płaszczyznach najgęstrzego ułożenia atomów dla struktury regularnej ściennie centrowanej, którą ta faza charakteryzuje się, czyli po płaszczyznach $\{111\}$. Linia pęknięcia miała charakter zygzakowy, a kąt pomiędzy uskokami wynosił $\sim 71^{\circ}$. Charakter całkowitej linii deformacji mógł świadczyć o przewadze właściwości plastycznych w powłoce. Z jednej strony, obecność metalicznych międzywarstw jest konieczna, mogą one zatrzymać propagujące się pęknięcie przez powłokę lub zmniejszyć jego energię, z drugiej strony zmniejszenie ilości fazy metalicznej kosztem fazy ceramicznej, utrzymując stałą grubość całkowitą powłoki, może wpływać na wzrost właściwości mechanicznych, np. twardości. Przeprowadziłem testy wpływu zwiększenia ilości fazy ceramicznej kosztem metalicznej, na właściwości mechaniczne powłok. Mikroskopia transmisyjna pozwoliła na określenie zmiany charakteru linii deformacji w powłoce. Obserwacje przeprowadziłem na powłokach z dwukrotnie większym udziałem fazy TiN oraz z czterokrotnie większym jej udziałem. Deformacja indywidualnych warstw składowych była podobna jak przy udziale faz 1:1. Warstwy Ti odkształcały się plastycznie pod kątem 45° , natomiast warstwy TiN kruch pękały. Zmieniał się jednak charakter całkowitej linii deformacji. W miarę zwiększenia fazy ceramicznej, charakter całej powłoki zmieniał się od dominacji właściwości plastycznych do ceramicznych. Dla dwukrotnie większego udziału fazy ceramicznej, linia deformacji propagowała się pod kątem $\sim 20^{\circ}$, natomiast dla czterokrotnie większego udziału była praktycznie prostopadła do podłoża. Testy mechaniczne wykazały, że zwiększenie udziału fazy ceramicznej w strukturze spowodowało zwiększenie odporności na zużycie.

Dążeniem moich badań jest aby wielowarstwowe powłoki tribologiczne, znalazły zastosowanie jako odporne na zużycie narzędzia chirurgiczne.

W przypadku powłok stosowanych w medycynie powinno się redukować zawartość fazy metalicznej. Dlatego drugą grupą powłok wielowarstwowych, których mechanizmy zużycia mechanicznego opisałem przy wykorzystaniu mikroskopii transmisyjnej były wielowarstwy oparte na składzie TiN/Ti/a-C:H (azotek tytanu/tytan/amorficzny węgiel) [3.10, 3.11, 3.12,

3.13, 3.14, 3.15]. W tym przypadku tytan występował jedynie jako warstwa buforowa (pierwsza od podłoża), oraz jako cienkie warstwy (~7nm) na każdej granicy TiN/a-C:H w celu zwiększenia jakości ich przylegania do siebie i zmniejszenia poziomu naprężeń własnych zwykle występujących na granicy tych faz. Analizując warstwę składową TiN, proces jej nakładania prowadzony był z tarczy tytanowej, początkowo w atmosferze gazu niereakcyjnego (argonu), następnie stopniowo przepływ argonu zamieniany był na azot. Nakładanie w argonie spowodowało wytworzenie cienkiej warstwy Ti. Stopniowe wprowadzanie azotu spowodowało, że wytworzony azotek tytanu w każdym miejscu miał inny stosunek tytanu do azotu. Największy przepływ azotu był w centrum warstwy azotku tytanu. Po przekroczeniu tej granicy, przepływ azotu stopniowo był zamykany i zamieniany na przepływ argonu. Proces nakładania ponownie zakończył się w atmosferze argonu i wytworzona została kolejna warstwa Ti po drugiej stronie azotku tytanu.

Analizę fazową przeprowadziłem za pomocą wysokorozdzielczej mikroskopii transmisyjnej. Mierząc odległości pomiędzy rzędami kolumn atomowych oraz kąty, dopasowałem odpowiednie fazy. Azotek tytanu przy granicach z Ti występował w postaci Ti_2N , natomiast w części centralnej w postaci TiN. Zawartość fazy metalicznej w powłokach była bardzo mała, jednak odegrała znaczącą rolę w odporności powłok na kruche pękanie. Analizy mechanizmów zużycia techniką transmisyjnej mikroskopii elektronowej przeprowadziłem w ramach kierowanego przeze mnie projektu [5.6 NCN]. Analizę mikrostrukturalną przeprowadziłem na powłokach w stanie po nałożeniu (przed testami mechanicznymi) oraz na powłokach po testach mechanicznych na zużycie (kula- tarcza). Numeryczne modelowanie metodą elementów skończonych, które realizowałem w ramach współpracy z Politechniką Częstochowską, wskazało, że podczas procesu zużycia największe naprężenia kumulują się w części bocznej ścieżki zużycia. Analizy eksperymentalne przeze mnie przeprowadzone potwierdziły te wyniki. Największa ilość pęknięć powstawała w części bocznej ścieżki zużycia. Analizując mikrostrukturę wykazałem obecność dwóch mechanizmów jakie występują podczas zużywania się tego typu struktur wielowarstwowych. Powłoki zużywały się poprzez pękanie oraz usuwanie warstwa po warstwie i tworzenie tribofilmu. Obrazy mikrostruktury przy większym powiększeniu wykazały, że poszczególne, ceramiczne warstwy składowe t.j. TiN oraz a-C:H ulegały kruchemu pękaniu, podczas gdy warstwy fazy Ti (warstwa buforowa i cienkie warstwy na każdej granicy TiN/a-C:H odkształcały się plastycznie pod kątem 45° . Technika wysokorozdzielczej mikroskopii transmisyjnej pozwoliła mi na analizę zmian mikrostruktury w obrębie pojedynczego ziarna tytanowego, cienkiej (~7nm) warstwy. Poprzez nałożenie maski na refleksy na transformacie

Fouriera obraz został przefiltrowany. Ujawniły się rozmyte linie w obszarze pojedynczego ziarna. Lokalne rozmycie się obrazu zwykle wskazuje na obecność jakiegoś zakłócenia w orientacji. Zaobserwowałem dużą ilość dyslokacji (najprawdopodobniej mieszanych) układających się wzdłuż wcześniej wspomnianych rozmytych linii widocznych na wysokorozdzielczym, przefiltrowanym obrazie. Linie te tworzyły kąt 60° . Jest to kąt pomiędzy płaszczyznami pryzmatu oraz piramidy (odpowiednio $\{1\ 0\ -1\ 0\}$ and $\{1\ 0\ -1\ 1\}$), po których odbywa się poślizg plastyczny materiałów o strukturze heksagonalnej, jaką charakteryzuje się Ti. Wykazałem, że obecność cienkich warstw Ti odegrała ważną rolę w odporności na zużycie opisywanych struktur wielowarstwowych. Jedną z ważniejszych cech struktur wielowarstwowych był fakt, że pęknięcie nie następowało gwałtownie. Realizowane było poprzez tzw. „ruch warstwowy”. Mechanizm ten nigdy wcześniej nie został opisany w literaturze. Koncentracja naprężeń własnych, powstała podczas procesu zużycia mechanicznego, przesuwała się podczas deformacji powłoki. W przypadku pęknięcia konwencjonalnych struktur wielowarstwowych (bez cienkich warstw metalicznych obecnych na granicach), pęknięciu ulegają wszystkie warstwy składowe w tym samym czasie. W opisywanym przypadku, z uwagi na obecność cienkich warstw metalicznych na wszystkich granicach TiN/a-C:H linia pęknięcia przesuwała się w poprzek powłoki zrywając jedynie pojedyncze warstwy. Po przerwaniu, pojedyncza warstwa przesuwała się do najbliższej tej samej fazy, a następnie ulegała ponownemu połączeniu. Efekt ten przypominał ruch dyslokacji krawędziowej, gdzie największe zniekształcenie struktury występuje w obszarze tzw. „extra płaszczyzny”. W przypadku ruchu dyslokacji krawędziowej następuje lokalne zerwanie wiązań atomowych i utworzenie nowego połączenia z atomami sąsiednimi po przeciwnej stronie „extra płaszczyzny”. Efekt ten jest powtarzany wielokrotnie, aż dyslokacja przejdzie przez strukturę. W opisywanym przypadku „ruchu warstw” efekt lokalnego zrywania pojedynczych warstw, przesunięcia do warstw sąsiadujących tej samej fazy i ponowne zakotwiczenie również występował. Ponowne połączenie się warstw po przesunięciu, było możliwe dzięki obecności cienkich warstw metalicznych na granicach.

Drugim mechanizmem zużycia, było usuwanie warstwa po warstwie i tworzenie się charakterystycznego tribo-filmu. Usuwanie warstwa po warstwie podczas procesu zużycia to kolejna pozytywna cecha struktur wielowarstwowych, a zużycie powoduje wytworzenie tribo- filmu. Obserwacje w jasnym polu wskazały na obecność dwu obszarów tribo-filmu. Obszaru jednorodnego oraz warstwowego. Warstwowy charakter mógł świadczyć o obecności grafitu w tribo- filmie. Wykorzystując technikę dyfrakcji elektronowej przeprowadziłem identyfikację fazową tworzącego się podczas zużycia materiału. Analiza

wykazała obecność węgla w postaci grafitu, który jest znanym, znakomitym materiałem smarnym. Zatem analizując mikrostrukturę wykazałem, że podczas procesu zużycia, tworzył się naturalny smar, co wpływało na zmniejszenie współczynnika tarcia. Grafit utworzony został z usuniętych warstw amorficznego węgla. Jakościowa analiza składu chemicznego, przedstawiona na wynikach w postaci map wybranych pierwiastków, wskazała na większą zawartość węgla w obszarze tribo- filmu warstwowego, natomiast w obszarze jednorodnym więcej było tlenu i tytanu, co mogło wskazywać na większą obecność tlenku tytanu w tym obszarze. Analiza fazowa tribo- filmu warstwowego przeprowadzona przy wykorzystaniu wysokorozdzielczej mikroskopii transmisyjnej pozwoliła na zmierzenie odległości pomiędzy rzędami kolumn atomowych, co odpowiadało danym teoretycznym dla grafitu.

Testy mechaniczne na zużycie wykazały, że przy odpowiednio niskich siłach zewnętrznych przy jakich były przeprowadzane (czyli 1N i 5N), stosowanie tak złożonych struktur, jakimi są opisane wielowarstwy, wydaje się nieuzasadnione. Najlepsze właściwości wykazała powłoka monowarstwowa TiN. Rola powłok wielowarstwowych zaczyna być znacząca dopiero przy wyższych obciążeniach. Wykazał to test na jakość przylegania powłoki do podłoża- test na zarysowanie (scratch test). Test ten wykazał, że wielowarstwy pozwalają na sterowanie ich właściwościami. Wykazano, że im większa ilość warstw składowych na tej samej grubości powłoki tym siła przylegania większa. Test na powłokach o różnym stosunku faz pokazał, że im większy był udział fazy węglowej tym jakość przylegania była gorsza, natomiast zwiększenie udziału fazy TiN spowodowało zwiększenie siły jej przylegania. Cienkie folie do analizy TEM przygotowałem ze ścieżki zarysowania dla powłoki z czterokrotnie większym udziałem fazy węglowej (a zatem z tej, która szybko uległa delaminacji), oraz z powłoki gdzie był czterokrotnie większy udział fazy TiN.

Z obserwacji mikrostrukturalnych wykazałem, że na jakość przylegania powłoki silnie wpływają warstwy TiN w połączeniu z Ti. Po obydwu stronach TiN znajdowały się cienkie warstwy Ti. Powstały one jednak w jednym procesie, bez zmiany tarczy, jedynie poprzez stopniową zmianę atmosfery. Naprężenia spowodowane niedopasowaniem sieci krystalicznej powinny być zatem znacznie mniejsze pomiędzy Ti a TiN niż pomiędzy Ti a a-C:H. Z obserwacji w jasnym polu TEM powłoki z czterokrotnie większym udziałem fazy węglowej, stwierdziłem, że energia krucho pękających warstw węglowych była na tyle silna, że wpływała również na szybkie pęknięcie warstw TiN z metalicznymi warstwami Ti po obydwu jej stronach. Widoczne było, że warstwy Ti odkształcały się plastycznie, jednak energia pęknięcia a-C:H była na tyle silna, że plastyczne odkształcenie w nich realizowane nie powstrzymało krucho pęknięcia. Inaczej zachowywała się powłoka z czterokrotnie większym

udziałem fazy TiN. W tym przypadku obie fazy TiN i a-C:H również uległy pęknięciu ale pakiety Ti/TiN/Ti były na tyle silne, że plastyczne odkształcenie w cienkich warstwach Ti po obydwu stronach TiN było w stanie w znacznie lepszym stopniu (niż w poprzednio opisywanym przypadku) powstrzymać kruche pęknięcie.

Powłoki po testach mechanicznych poddane zostały oddziaływaniu agresywnego środowiska korozyjnego w biologicznych płynach ustrojowych (płynach do hodowli komórkowej- Endotelial Basal Medium). Powłoki posiadały liczne defekty w postaci pęknięć, co mogło stanowić drogi łatwej penetracji tego medium do metalicznego podłoża i rozpoczęcie procesu korozji. Analizy mikrostruktury powłok po tych testach, przeprowadzone na przekroju poprzecznym, wykazały, że największa ilość pozostałości po reakcji medium biologicznego z powłoką znajdowała się w miejscach najliczniejszych i najsilniejszych pęknięć powłok. Nie doszło jednak do przedostania się medium do metalicznego podłoża z uwagi na układ wielowarstwowy i obecność cienkich, plastycznie odkształcalnych warstw metalicznych na każdej granicy. Dzięki ich obecności wystąpił tzw. „ruch warstwowy” (który wcześniej szczegółowo został opisany) czyli lokalne pęknięcie pojedynczych warstw, przesunięcie i ponowne połączenie z warstwą sąsiednią tej samej fazy. To ponowne połączenie nie dopuściło do całkowitego otwarcia drogi penetracji medium korozyjnego do podłoża. Wyniki dotyczące opisanych mechanizmów zużycia mechanicznego i bio- korozyjnego wielowarstwowych powłok TiN/Ti/a-C:H przedstawiłem w tym roku na konferencji Society of Vacuum Coaters w Providence (stan Rhode Irland) w USA. Prezentacja spotkała się z dużym zainteresowaniem. Wyniki zostaną opublikowane w jednym z czasopism z listy filadelfijskiej.

Poznanie mechanizmów zużycia nowoczesnych struktur warstwowych, jakimi są powłoki wielowarstwowe, przy wykorzystaniu technik transmisyjnej mikroskopii elektronowej, stanowi znaczący wkład w rozwój nauk związanych z inżynierią powierzchni. W przyszłości zagadnienie pragnę poszerzać o mikrostrukturalną analizę zmian powłok wielowarstwowych wywołanych agresywnym oddziaływaniem biologicznych płynów ustrojowych. Pozwoli to na rozwinięcie nowoczesnej dziedziny związanej z bio- mechaniką powłok. Obecnie rozpoczynam nowy projekt badawczy związany z tym zagadnieniem, gdzie wielowarstwowe powłoki tribologiczne, dodatkowo z nano-kompozytową warstwą zewnętrzną, oprócz testów mechanicznych poddane zostaną testom na zmęczenie w biologicznych płynach ustrojowych [5.10 NCN]. W ramach projektu planuję zakup precyzyjnej maszyny wytrzymałościowej (dla niskich obciążeń), gdzie testy zmęczeniowe przeprowadzane będą w specjalnej komorze z płynami biologicznymi.

Materiały po testach mechanicznych i bio- mechanicznych, poddane zostaną szczegółowej analizie zmian mikrostruktury przy wykorzystaniu transmisyjnej mikroskopii elektronowej.

5. Podsumowanie działalności naukowej

5.1. Autorstwo i współautorstwo w publikacjach naukowych

Jestem autorem lub współautorem 55 publikacji, w tym 44 po doktoracie. Spośród wszystkich prac:

- 25 opublikowałem w czasopismach z listy JCR (po doktoracie),
- 17 publikacji ukazało się w wysoko punktowanych krajowych i zagranicznych czasopismach spoza listy JCR (po doktoracie),
- 2 prace to rozdziały w książkach (po doktoracie); opracowania monograficzne

Informacje o liczbie cytowań oraz indeksie H dla paneli ST (nauki ścisłe i techniczne) i NZ (nauki o życiu):

źródło: Web of Science

łączna liczba cytowań wszystkich dotychczasowych publikacji bez autocytowań: 74

indeks H: 7

Byłem recenzentem prac do czasopism: Materials Science & Engineering B, oraz Surface & Coating Technology

5.2. Udział w konferencjach

- 10- 13 wrzesień 2007: **Euromat**; Norymbergia, Niemcy (prezentacja)
- 2- 5 grudzień 2008: **Inżynieria powierzchni INPO**; Wisła Jawornik, Polska (prezentacja)
- 8- 11 czerwiec 2008: **XIII Międzynarodowa Konferencja Mikroskopii Elektronowej EM'2008**; Zakopane, Polska (prezentacja)
- 7- 10 wrzesień 2008: **Fractography of Advanced Ceramics III**; Stara Lesna, Słowacja (prezentacja)
- 7- 10 wrzesień 2009: **Euromat**; Glasgow, Szkocja (prezentacja)
- 21- 24 wrzesień 2009: **XXX Ogólnopolska Konferencja Tribologiczna**; Nałęczów, Polska (prezentacja)
- 26- 30 lipiec 2010: **Junior Euromat**; Lozanna, Szwajcaria (poster)
- 20- 23 czerwiec 2010: **XIX-th Physical Metallurgy and Materials Science Conference Advanced Materials & Technologies- AMT**; Zakopane, Polska (poster)
- 26- 30 czerwiec 2011: **XIV Międzynarodowa Konferencja Mikroskopii Elektronowej EM'2011**; Wisła, Polska (poster)
- 28 listopad- 1 grudzień: **XI Kongres Budowy I Eksploatacji Urządzeń Technicznych**; Radom, Polska (prezentacja)
- 14- 18 maj 2012: **E-MRS spring meeting**-Strasbourg, Francja (poster)
- 22- 25 kwiecień 2013: **SVC- Society of Vacuum Coaters**- Providence (Rhode Irland), USA (prezentacja)
- 9- 12 czerwiec 2013: **Advanced Materials and Technologies AMT 2013**- Kudowa Zdrój (prezentacja)

5.3. Udział w realizacji grantów i umów z ośrodkami naukowymi i przemysłowymi

- 5.1 . Polskie Sztuczne Serce- nr 2/0-PW/PO1-PBZ-MNiSW/2007; czas trwania: 2008- 2011 (wykonawca)
- 5.2 . KomCerMet: Kompozyty i nanokompozyty ceramiczno- metalowe dla przemysłu lotniczego i samochodowego; POIG.01.03.01.-14-013/08; czas trwania: 2009- 2012; (wykonawca)
- 5.3 . ZAMAT: Zaawansowane materiały i technologie ich wytwarzania; POIG.01.01.02.-00-015/09; czas trwania 2010- 2014; (wykonawca)
- 5.4 . MATRANS: Micro and Nanocrystalline Functionally Graded Materials; CP-FP 228869-2 7PR; czas trwania 2010- 2013; (wykonawca)
- 5.5 . Projekt wymiany Polska- Austria: Rozwój biomimetycznych cienkich warstw dla urządzeń wspomaganie serca: nowe strategie bazujące na próżniowym nanoszeniu samoorganizujących się biomateriałów; 023/2012/2013/2014; 8548/R 12/R 14; czas trwania 2012-2014 (wykonawca)
- 5.6 . Grant (NCN): Opracowanie i diagnostyka wielofunkcyjnych powłok typu ceramika/ uwodorniony amorficzny węgiel na elementy pomp wspomaganie sztucznych komór serca; nr 3066/B/T02/2011/40; czas trwania 2011- 2013 **(kierownik)**
- 5.7 . Grant (NCN): Samodostosowujące się, biomimetyczne podłoża porowate w aspekcie hamowania aktywacji układu krzepnięcia; nr 2011/03/D/ST8/04103; czas trwania 2012- 2015 (wykonawca)
- 5.8 . Grant (NCN): Opracowanie anty- zużyciowych, samouszczelniających, wielowarstwowych powłok ochronnych na kompozyty węglowo- węglowe; nr 2012/06/M/ST8/00408; czas trwania 2013- 2016 **(kierownik)**
- 5.9 . CERGRAF: projekt realizowany w ramach programu „GRAF-TECH” pt.: Ceramiczne kompozyty z udziałem grafenu jako narzędzia skrawające i części maszyn o unikatowych właściwościach; nr GRAF-TECH/NCBR/03/05/2012; czas trwania 2012- 2015 (wykonawca)
- 5.10 Grant (NCN): Analiza bio-mechaniczna i mikrostrukturalna wielowarstwowo- nano- kompozytowych powłok ochronnych na podłoża metaliczne do interakcji z tkanką; nr 2012/07/B/ST8/03396; czas trwania 2013-2016 **(kierownik)**

5.4. Otrzymane nagrody

- 2005 Stypendium E-MRS Symposium K on „Protective Coatings and Thin Films”
- 2007 Wyróżnienie pracy doktorskiej IMIM PAN (pt. Struktura i własności wielowarstwowych materiałów kompozytowych uzyskiwanych metodą osadzania laserowego)
- 2007 Stypendium Wspólnoty Flamanckiej (2 miesiące- Belgia- Uniwersytet w Antwerpii); prof. Gustaf Van Tendeloo
- 2011 XIVth International Conference on Electron Microscopy- 1 miejsce za najlepszy poster konferencji; Wisła

5.5. Staże zagraniczne

- 2004, 2005 (miesiąc), 2007 (dwa miesiące- stypendium wspólnoty Flamanckiej): University of Antwerp "EMAT: Electron Microscopy for Materials Science". Belgia
- 2005, 2006, 2007, 2008 (tydzień): Research Institute for Technical Physics and Materials Science; Hungarian Academy of Sciences, H-1121 Budapest, Konkoly Thege ut 29-33. Węgry
- 2008 (miesiąc) Technical University in Eindhoven. Holandia
- 2009- 2013 (każdego roku po 1 tydzień)- Centrum Laserowe w Austrii w Leoben

6. Działalność dydaktyczna

- Jestem promotorem pomocniczym doktorantki pani mgr. Marty Gajewskiej (studia doktoranckie z wykładowym j.angielskim- IMIM PAN).
- Prowadzę zajęcia pokazowe z technik mikroskopii transmisyjnej dla grup studentów z Uniwersytetu Jagiellońskiego, Akademii Górniczo- Hutniczej oraz Politechniki Krakowskiej

7. Działalność organizacyjna

- Uruchomienie stanowiska przygotowywania cienkich folii techniką FIB
- Udział w Komitecie organizacyjnym konferencji CALPHAD 2004
- Udział w Komitecie organizacyjnym konferencji AMT 2010
- Udział w Komitecie organizacyjnym jubileuszu 60- cioletnia IMIM PAN (2012 rok)

Członkostwo w organizacjach naukowych:

- Członek sekcji Nanomateriałów Komitetu Nauki o Materiałach
- Członek sekcji Materiałów Metalicznych Komitetu Nauki o Materiałach
- Członek Stowarzyszenia Project Management Polska

