

**Autoreferat w języku polskim**

Dr inż. Cezary Rapiejko  
Politechnika Łódzka  
Wydział Mechaniczny  
Katedra Technologii Materiałowych  
i Systemów Produkcji  
ul. Stefanowskiego 1/15  
90-924 Łódź

## **AUTOREFERAT**

**Przedstawiający dorobek i osiągnięcia naukowe,  
określone w art. 16 ust.2 Ustawy o stopniach naukowych  
i tytule naukowym**

Łódź, 2018 r.

**SPIS TREŚCI**

|                                                                                                                                                                                                                                                        |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. Imię i nazwisko .....</b>                                                                                                                                                                                                                        | <b>4</b>  |
| <b>2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/artystyczne – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.....</b>                                                                                                        | <b>4</b>  |
| <b>3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/artystycznych .....</b>                                                                                                                                                         | <b>4</b>  |
| <b>4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art.16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.):.....</b> | <b>5</b>  |
| a) Tytuł osiągnięcia naukowego/artystycznego .....                                                                                                                                                                                                     | 5         |
| b) Opis wyników stanowiących osiągnięcie naukowe.....                                                                                                                                                                                                  | 6         |
| c) Opis wykorzystania osiągniętych wyników.....                                                                                                                                                                                                        | 15        |
| <b>5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych .....</b>                                                                                                                                                                                     | <b>16</b> |
| Działalność dydaktyczna .....                                                                                                                                                                                                                          | 20        |
| Dane bibliometryczne .....                                                                                                                                                                                                                             | 23        |
| <b>Literatura .....</b>                                                                                                                                                                                                                                | <b>24</b> |

**1. Imię i nazwisko**

Cezary Lucjan Rapiejko

**2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/artystyczne – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej**

- 26.IX.2003     **doktora nauk technicznych w dyscyplinie Budowa i Eksploatacja Maszyn**,  
praca doktorska (z wyróżnieniem) pt. „*Konstrukcja i optymalizacja  
urządzenia do syntezy cienkich warstw germanowo–krzemowo–węglowych*”,  
Politechnika Łódzka, Wydział Mechaniczny,  
promotor: prof. dr hab. inż. Maciej Gazicki – Lipman, Politechnika Łódzka.  
recenzent: prof. dr hab. inż. Aleksandra Sokołowska, Politechnika  
Warszawska.  
recenzent: prof. dr hab. inż. Piotr Kula, Politechnika Łódzka.
- 26.06.1998     **magistra inżyniera mechanika**  
Praca dyplomowa pt. „*Właściwości mechaniczne drutów Kirchner’a  
pokrytych warstwami NCD*”  
Politechnika Łódzka, Wydział Mechaniczny,  
kierunek: Mechanika i Budowa Maszyn  
promotorzy: prof. dr hab. Stanisław Mitura oraz prof. dr hab. Bogdan Wendler

**3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/artystycznych**

- 2006 – do dziś     **Politechnika Łódzka**, Wydział Mechaniczny,  
Katedra Technologii Materiałowych i Systemów Produkcji – Adiunkt.
- 2005–2006     **Ecole Centrale de Lyon**, Laboratoire de Tribologie et Dynamique des  
Systèmes, Lyon Francja – post – doc
- 2003–2006     **Politechnika Łódzka** Wydział Mechaniczny, Instytut Inżynierii  
Materiałowej, Zakład Materiałów Cienkowieistych – Adiunkt.
- 1999–2003     **Politechnika Łódzka** Wydział Mechaniczny, Instytut Inżynierii  
Materiałowej, Zakład Materiałów Cienkowieistych – Asystent.

**4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art.16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.):**

**a) Tytuł osiągnięcia naukowego/artystycznego**

Jako „osiągnięcie naukowe uzyskane po otrzymaniu stopnia doktora stanowiące znaczący wkład autora w rozwój określonej dyscypliny naukowej” wskazuję **monografię zatytułowaną:**

***Odlewanie precyzyjne stopów magnezu o podwyższonych właściwościach***

- B1. **Monografia Rapiejko C.:** *Odlewanie precyzyjne stopów magnezu o podwyższonych właściwościach*, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 2018.

**oraz cykl pięciu publikacji:**

- B2. S. Pietrowski, **C. Rapiejko.**, Temperature and microstructure characteristics of silumin casting AlSi9 made with investment casting method, *Archives of Foundry Engineering*, Volume 11, Issue 3, 177-186 (2011) (MNiSW lista B<sub>2011</sub> = 6 pkt.).
- B3. B.P. Pisarek, **C. Rapiejko**, R. Święcik, T. Pacyniak: "Effect Inhibitor Coating of a Ceramic Mould on the Surface Quality of an AM60 Alloy Cast with Cr and V", *Archives of Foundry Engineering*. (2015) Vol 15, Issue 3: 51-56 (MNiSW lista B<sub>2015</sub>= 15 pkt.).
- B4. **C. Rapiejko**, B. Pisarek, E. Czekaj T. Pacyniak: „Analysis of AM60 and AZ91 alloy crystallization in ceramic moulds by thermal derivative analysis (TDA)”, *Archives of Metallurgy and Materials*. (2014) Vol. 59, Issue 4: 1449-1455 (Impact Factor<sub>2014</sub>= 1.09, MNiSW lista A<sub>2014</sub> = 25 pkt.).
- B5. **C. Rapiejko**, B. Pisarek, T. Pacyniak: „Effect of Cr and V alloy additions on the microstructure and mechanical properties of AM60 magnesium alloy”, *Archives of Metallurgy and Materials*. (2014) Vol. 59, Issue 2: 762-765 (Impact Factor<sub>2014</sub>= 1.09, MNiSW lista A<sub>2014</sub> = 25 pkt.).
- B6. **C. Rapiejko**, B. Pisarek, E. Czekaj T. Pacyniak: „Analysis of the Crystallization of AZ91 Alloy by Thermal and Derivative Analysis Method Intensively Cooled in Ceramic Shell” *Archives of Foundry Engineering*. (2014), Vol 14, Issue 1: 97-102 (MNiSW lista B<sub>2014</sub> = 9 pkt.)

Oświadczenia wszystkich współautorów publikacji, potwierdzające ich indywidualny wkład w powstanie dorobku zostały umieszczone w Załączniku nr 6.

**b) Opis wyników stanowiących osiągnięcie naukowe**

W ostatnich latach w Unii Europejskiej (UE) coraz większy nacisk kładziony jest na ochronę środowiska między innymi przez eliminację emisji CO<sub>2</sub> do atmosfery. Dotyczy to przede wszystkim obszarów energetyki oraz transportu. W zakresie transportu obniżanie masy pojazdów jest najbardziej opłacalnym sposobem na zmniejszenie zużycia paliwa oraz emisji gazów cieplarnianych. Ocenia się, że wyeliminowanie 10% masy całkowitej pojazdu, poprawia zużycie paliwa w zakresie 7–10%. Na podstawie tych danych można stwierdzić, że każdy kilogram zmniejszonej masy w pojeździe spowoduje redukcję dwutlenku węgla o około 20 kg [1].

Podobne trendy polegające na odciążaniu masy widoczne są w przemyśle lotniczym oraz kosmonautyce poprzez poszukiwanie nowych rozwiązań mających na celu znalezienie możliwości zmiany elementów konstrukcyjnych ze stopów aluminium na materiały o znacznie mniejszej masie. Zmniejszenie masy konstrukcji kadłuba, układu i elementów wnętrza o 30% pozwoli na wzrost zdolności operacyjnej o 10%, jak również spowoduje zmniejszenie bezpośrednich kosztów o 10% i wreszcie zmniejszenie zużycia paliwa o 10%, co pozwoli na zmniejszenie oddziaływania na środowisko w odniesieniu do emisji zanieczyszczeń jak również hałasu [2]. Najczęściej stosowane materiały konstrukcyjne w pojazdach samochodowych oraz statkach powietrznych to m.in.: stal, żeliwo oraz stopy lekkie przede wszystkim stopy aluminium. Gęstość stali wynosi około  $\rho = 7,8 \text{ g/cm}^3$ , gęstość żeliwa w zależności od gatunku wynosi  $\rho = 6,8\text{--}7,7 \text{ g/cm}^3$ , natomiast gęstość stopów aluminium wynosi około  $\rho = 2,7 \text{ g/cm}^3$ . W ostatnich latach coraz częściej w przemyśle motoryzacyjnym stosuje się stopy magnezu, których gęstość jest 4,3 razy mniejsza od gęstości stali oraz 1,5 razy mniejsza od stopów aluminium i wynosi około  $\rho = 1,8 \text{ g/cm}^3$ . Stopy magnezu charakteryzują się gorszymi właściwościami mechanicznymi oraz ograniczonym zakresem temperatury pracy w porównaniu do powszechnie stosowanych materiałów w przemyśle motoryzacyjnym, lotniczym oraz kosmonautyce [3,4] co powoduje, że ich zastosowanie jest ograniczone. Najczęściej stopy magnezu są stosowane na m.in.: obudowy skrzyń biegów, elementy konstrukcyjne siedzeń, kokpitów, stelaże kierownic, elementy karoserii, obręcze kół (felgi) oraz realizowane są prace nad lekkimi blokami silników stosowanymi w przemyśle motoryzacyjnym [5–7]. Pomimo stosunkowo niskich właściwości, którymi charakteryzuje się magnez i jego stopy, ich produkcja oraz sprzedaż na rynkach światowych cały czas wzrasta. Tendencje te wskazują, że stopy magnezu są

materiałami przyszłościowymi. Biorąc to pod uwagę koniecznym jest opracowanie nowych stopów magnezu charakteryzujących się podwyższonymi właściwościami mechanicznymi i tribologicznymi w stanie lanym oraz opracowanie technologii pozwalającej na otrzymywanie odlewów w produkcji mało i średnioseryjnej. Przedstawione potrzeby opracowania nowej technologii wytwarzania odlewów wraz z opracowaniem nowych lekkich funkcjonalnych stopów spowodowało moje zainteresowania naukowe, których opublikowane wyniki badań stanowią osiągnięcie naukowe.

Przedstawione w ramach osiągnięcia naukowego monografia oraz publikacje stanowią zgodność przyjętych założeń badawczych oraz skuteczność opracowanych zagadnień, które mają na celu otrzymanie precyzyjnych odlewów na części maszyn o podwyższonych właściwościach mechanicznych i tribologicznych z lekkich stopów magnezu, przy zastosowaniu technologii wytapianych modeli.

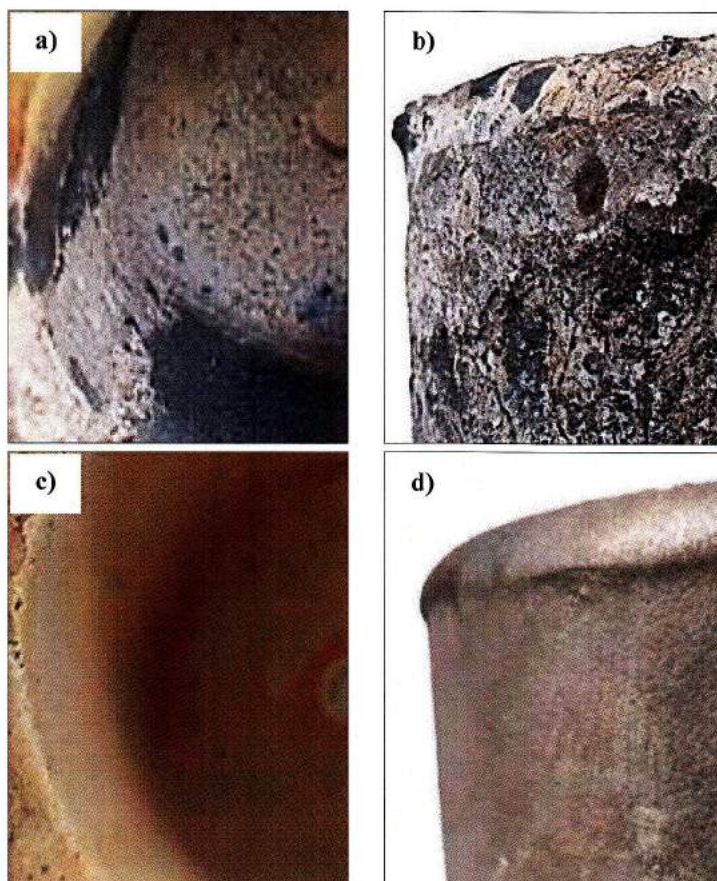
W monografii [B1] przedstawiłem kompleksowe wyniki badań potwierdzające założoną tezę, że istnieje możliwość otrzymania odlewów na części maszyn w formach ceramicznych w technologii wytapianych modeli ze stopów magnezu o podwyższonych właściwościach mechanicznych i tribologicznych w wyniku doboru odpowiedniego składu chemicznego oraz parametrów ich krystalizacji.

Podwyższenie właściwości mechanicznych i tribologicznych znormalizowanych stopów magnezu AM60 oraz AZ91 osiągnięto w wyniku wprowadzania do mikrostruktury nowych pierwiastków, którymi były chrom i wanad oraz na skutek intensywnego studzenia form ceramicznych w wodnym roztworze Polihartenolu E8.

W celu uzyskania odlewów ze stopów magnezu w technologii wytapianych modeli opracowałem technologię wykonywania form ceramicznych z przeznaczeniem dla stopów lekkich. W ramach prowadzonych badań opracowałem technologię wytwarzania samonośnych form ceramicznych (bez konieczności obsypywania ich kwarcytem), które będą posiadały niską temperaturę (60–180 °C) w chwili zalewania ich stopem. W pracy [B2] przedstawiłem wyniki badań rozkładu temperatury i mikrostruktury w poszczególnych częściach odlewu korpusu lunety wykonanego z siluminu AlSi9 metodą wytapianych modeli w formie ceramicznej. W pracy tej wykazałem, że najwyższa temperatura stopu występuje we wlewie głównym, w którym silumin znajduje się w stanie ciekło-stałym, natomiast w odlewie proces krystalizacji stopu został zakończony. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdziłem, że w poszczególnych elementach odlewu najszybciej krystalizuje i stygnie

strona przeciwna do wlewu doprowadzającego. Różnice w szybkości krystalizacji i stygnięcia poszczególnych elementów odlewu powodują zróżnicowaną w nich mikrostrukturę, co może wpływać również na własności mechaniczne. Badania wykazały, że temperatura wstępnego podgrzania formy ceramicznej 60 °C zapewnia uzyskanie odlewów bez wad, o znikomej porowatości. Opracowana przeze mnie technologia wytwarzania form ceramicznych, których temperatura w chwili zalewania wynosi 60 – 180 °C została wdrożona w Spółdzielni Pracy Armatura w Łodzi. Opracowana i przetestowana na siluminach technologia wytwarzania form ceramicznych pozwoliła na ich zastosowanie do otrzymywania odlewów ze stopów magnezu. Magnez jest pierwiastkiem bardzo silnie reagującym z tlenem oraz ze składnikami form ceramicznych. Wyniku powstałych reakcji na granicy metal/forma wytworzone odlewy posiadają wady powierzchni [8-14]. W celu uzyskania w formach ceramicznych dobrych jakościowo odlewów ze stopów magnezu o wysokiej jakości powierzchni w wyniku przeprowadzonej analizy literatury oraz badań własnych dobrałem materiały na inhibitory oraz opracowałem technologię ich nanoszenia na wewnętrzne ściany form ceramicznych. W pracy [B3] przedstawiłem własne innowacyjne rozwiązanie nanoszenia inhibitorów, które polega na nanoszeniu inhibitorów stałych w postaci wodnego nasyconego roztworu  $\text{KBF}_4$  i  $\text{H}_3\text{BO}_3$  na wewnętrzne ściany wystudzonej formy, po wcześniej przeprowadzonej obróbce wygrzewania. Wprowadzenie inhibitorów w taki sposób powoduje, że w trakcie zalewania formy ciekłym stopem magnezu ulegają one dehydratacji. Pod wpływem wysokiej temperatury następuje ich rozpad, w konsekwencji którego powstaje cienka gazowa warstwa ochronna na granicy ciekły stop–forma, nie dopuszczająca do reakcji ciekłego stopu z materiałem formy. Odlewy ze stopów magnezu otrzymane w formach ceramicznych bez zastosowanych inhibitorów charakteryzują się wieloma wadami wpływającymi na brak jednorodności powierzchni zewnętrznej. Na ich powierzchni występują: wżarcie, strupy, zanieczyszczenia i naloty. Spowodowane jest to intensywnymi reakcjami stopu, bogatego przede wszystkim w magnez, ze składnikami formy ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$ , ...) i atmosfery otoczenia ( $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ , ...). Forma ceramiczna jest jednorazowego użytku, jednakże jakość jej powierzchni po wybiciu odlewu niesie szereg informacji o procesach cieplno-chemicznych zachodzących w niej podczas zalewania ciekłym stopem, jak i procesów jego krzepnięcia. Reakcje Mg ze składnikami formy i atmosfery otoczenia zachodzą na powierzchni, a następnie przechodzą w głąb odlewu (rys.1a), co wpływa na obniżenie jakości powierzchni odlewu (rys.1b). Zastosowanie inhibitorów stałych chroni przed powstawaniem reakcji na

granicy forma/ciekły stop (rys.1c), co w konsekwencji wpływa na uzyskanie odlewu pozbawionego wad powierzchniowych (rys. 1d).



Rys. 1. Reprezentatywna powierzchnia formy i odlewu ze stopu MgAl6MnCrV [B3]:  
a) forma ceramiczna bez naniesionych inhibitorów, b) odlew uzyskany w formie bez inhibitorów  
c) forma ceramiczna z inhibitorami stałymi, d) odlew uzyskany w formie z inhibitorami

W ramach przeprowadzonych badań udokumentowałem, że dobrane inhibitory, ich przygotowanie oraz sposób nanoszenia na wewnętrzne ściany formy ceramicznej potwierdzają możliwość uzyskania odlewów o pozbawionych wad powierzchniowych.

Mając opracowaną technologię wykonywania form ceramicznych wraz z inhibitorami stałymi przeprowadziłem badania mające na celu zbadanie procesu krystalizacji i krzepnięcia odlewów ze stopów magnezu AM60 oraz AZ91 w formach ceramicznych metodą analizy termicznej i derywacyjnej (ATD). W tym celu opracowałem konstrukcję ceramicznych próbników ATD10C-PŁ. W pracy [B4] przedstawiłem wyniki badań krystalizacji i stygnięcia stopów AM60 i AZ91 przy użyciu metody ATD. Badane stopy zalewano do form ceramicznych podgrzanych do temperatury 180 °C, wykonanych zgodnie z technologią opisaną w pracy [B2] wraz naniesionymi inhibitorami stałymi opisanymi w pracy [B3]. Przy

pomocy metody ATD rejestrowałem oraz wyznaczyłem charakterystyczne efekty cieplne wynikające z przemian fazowych zachodzących podczas krystalizacji stopów magnezu. Określiłem kinetykę i dynamikę procesów cieplnych krystalizacji badanych stopów w formach ceramicznych. Przeprowadziłem badania metalograficzne przy pomocy mikroskopu optycznego oraz mikroskopii skaningowej wraz z analizą składu chemicznego EDS występujących faz w badanych odlewach. Wyniki tych badań porównałem z efektami cieplnymi zarejestrowanymi metodą ATD. Wyniki otrzymanych badań wykorzystałem w dalszej pracy naukowej nad opracowaniem nowych stopów magnezu o podwyższonych właściwościach mechanicznych i tribologicznych.

Podwyższenie właściwości mechanicznych i tribologicznych znormalizowanych stopów magnezu AM60 oraz AZ91 osiągnąłem w wyniku wprowadzania do mikrostruktury chromu i wanadu. Dodatki stopowe wprowadzałem do mikrostruktury w ilości uwzględnionej w przyjętym planie eksperymentów, umożliwiającym określenie wpływu zmian ilości wprowadzanych dodatków Cr i V na właściwości mechaniczne badanych gatunków stopów magnezu. Badania przeprowadziłem z przyjętym planem eksperymentów z wykorzystaniem metody Box'a–Wilsona. Schemat nastaw eksperymentu przedstawiono w tabeli 1.

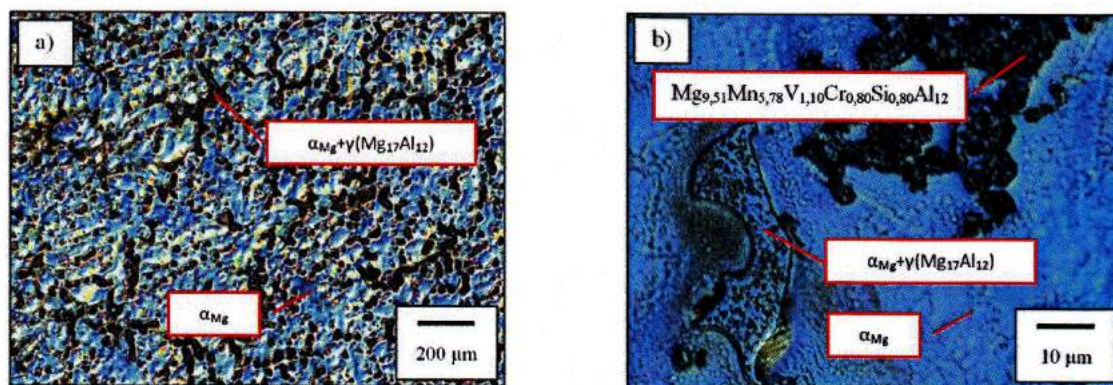
Tabela 1. Plan eksperymentu dla stopów magnezu AM60 i AZ91

| Czynnik $x_s$ ( $S=\{1,2\}$ )    | Stężenie masowe $x_s$ , % |         |
|----------------------------------|---------------------------|---------|
|                                  | $x_1=Cr$                  | $x_2=V$ |
| Punkt centralny $E_c(Cr_0, V_0)$ | 0,05                      | 0,05    |
| Krok próbny $\Delta x_s$         | 0,05                      | 0,05    |
| Poziom górny $x_s + \Delta x_s$  | 0,1                       | 0,1     |
| Poziom dolny $x_s - \Delta x_s$  | 0                         | 0       |
| Numer eksperymentu, n            |                           |         |
| 1                                | 0,1                       | 0,1     |
| 2                                | 0,1                       | 0       |
| 3                                | 0                         | 0       |
| 4                                | 0                         | 0,1     |

Proces tworzenia się mikrostruktury dla nowo opracowanych stopów magnezu zawierających pierwiastki wysokotopliwe (chrom i wanad) ze stanu ciekłego opisałem z wykorzystaniem analizy termiczno–derywacyjnej (ATD). Z przeprowadzonych badań wynika, że chrom wprowadzony pojedynczo do stopu AM60 oraz AZ91 tworzy nierównowagowe fazy międzymetaliczne z aluminium typu  $Al_xCr_y$  ( $AlCr_2$ ,  $\alpha Al_8Cr_5$ ). Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdziłem również, że chrom wprowadzony pojedynczo do stopów magnezu nie tworzy z magnezem roztworów ciągłych, jak również faz

międzymetalicznych. Natomiast wanad wprowadzony pojedynczo do stopów AM60 wpływa na powstawanie nowych nierównowagowych faz typu  $(M)_{17}Al_{12}$ , gdzie  $M=\{V, Mn, Mg, Si\}$ , wyniki tych badań opisałem w pracy [B5]. Wykryłem, że wanad wprowadzony pojedynczo do stopu AZ91 tworzy nowe nieznane nierównowagowe fazy międzymetaliczne typu MM\_V, gdzie  $MM\_V=\{Mg, Al, V, Mn\}$  oraz fazy alumińowo–wanadowe  $Al_xV_y$  ( $Al_3V$ ,  $Al_8V_5$ ). Wprowadzenie równoczesne chromu i wanadu do stopu AM60 wpływa na powstawanie nowych nieznanych faz międzymetalicznych z magnezem typu  $(M)_{17}Al_{12}$ , gdzie  $M=\{Mg, Mn, V, Cr, Si\}$  oraz faz alumińowo–chromowych  $AlCr_2$  i alumińowo – wanadowych  $AlV_3$ . Wprowadzenie równoczesne chromu i wanadu do stopu AZ91 wpływa na tworzenie się nowych nieznanych faz międzymetalicznych typu MM\_CrV, gdzie  $MM\_CrV=\{Mg, Al, V, Cr, Mn \dots\}$  oraz faz  $AlCr_2$  i  $AlV_3$ . W wyniku zrealizowanych badań stwierdziłem, że wanad wprowadzony do stopu magnezu z chromem powoduje możliwość tworzenia się faz magnezowych, w których występuje chrom.

Na rysunku 2 (a,b) przedstawiono mikrostrukturę stopu AM60 z dodatkiem stopowym 0,1% Cr oraz 0,1% V krzepnącego w formie ceramicznej, w którym występują nowo wytworzone fazy zawierające wprowadzone dodatki stopowe.



Rys. 2. Mikrostruktura stopu AM60 +0,1% Cr + 0,1% V krzepnącego w ceramicznym próbniku ATD10C-PL [B1,B5]

Uzyskanie nowych faz w mikrostrukturze badanych stopów stanowi o znaczącej oryginalności przeprowadzonych przeze mnie badań.

Na podstawie otrzymanych wyników, krzywych charakterystycznych ATD, przeprowadzonych badań mikrostruktury opracowałem modele krystalizacji i przemian fazowych w stanie stałym nowo opracowanych stopów. Opracowany model obejmuje rodzaj krystalizujących faz oraz kolejność ich krystalizacji.

Przeprowadziłem optymalizację składu chemicznego nowo opracowanych stopów magnezu w funkcji właściwości mechanicznych, która pozwoliła wytypować składy chemiczne nowych stopów magnezu zapewniające ich najwyższe właściwości mechaniczne (wytrzymałości na rozciąganie, wydłużenie i twardości) oraz właściwości tribologiczne (podwyższonej odporności na zużycie ścierne i adhezyjne). Analiza otrzymanych wyników dowodzi, że wprowadzenie do stopu AM60 dodatków stopowych w ilości 0,1% chromu oraz 0,1% wanadu przyczynia się rozdrobnienia mikrostruktury oraz do tworzenia się złożonej fazy typu  $Mg_{17}Al_{12}$  wzbogaconej o wprowadzone dodatki stopowe, którą zidentyfikowałem jako typu  $(M)_{17}Al_{12}$  ( $(MgMnVCrSi)_{17}Al_{12}$ ) oraz faz aluminowo-chromowych i aluminowo-wanadowych ( $AlCr_2$ ,  $AlV_3$ ). W odniesieniu do stopu znormalizowanego AM60 obecność tych faz spowodowała bardzo wyraźny wzrost wytrzymałości na rozciąganie  $R_m$  o około 41%, wzrost wydłużenia  $A_5$  o około 77%, wzrost twardości HB o około 4%, co również przedstawiłem w pracy [B5]. Ponadto występowanie tych faz wpłynęło na podwyższenie właściwości tribologicznych odpowiednio: wzrost odporności na zużycie ścierne o około 19% i adhezyjne o około 17%. W przypadku stopu AZ91 wprowadzenie dodatku stopowego chromu w ilości 0,1% przyczynia się do rozdrobnienia mikrostruktury oraz do tworzenia się faz typu  $AlCr_2$  oraz  $\alpha-Al_8Cr_5$ , których obecność w odniesieniu do znormalizowanego stopu AZ91 wpływa na wzrost wytrzymałości na rozciąganie o około 4,5%, wzrost wydłużenia  $A_5$  o około 44,5% i wzrost twardości HB o 3,5%. Obecność tych faz wpływa na podwyższanie właściwości tribologicznych odpowiednio: wzrost odporności na zużycie ścierne o około 50% i adhezyjne o około 20%.

W pracy [B6] przedstawiłem wyniki badań wpływu szybkości studzenia stopu AZ91 na mikrostrukturę, mikrotwardość HV oraz twardość HB. Badania stygnięcia i krystalizacji stopu AZ91 przeprowadzone były w formie ceramicznej wstępnie podgrzanej temperatury 180 °C, do której odlewany był stop, a następnie chłodzony w powietrzu w temperaturze otoczenia oraz intensywnie chłodzony w cieczy polimerowej. Przy pomocy metody ATD zarejestrowałem i wyznaczyłem charakterystyczne efekty cieplne wynikające z przemian fazowych zachodzących podczas krystalizacji. Na podstawie przeprowadzonych badań wyznaczyłem kinetykę i dynamikę procesów cieplnych krystalizacji badanego stopu w formach ceramicznych. Przeprowadziłem analizę mikrostruktury wykonując badania metalograficzne przy pomocy mikroskopu optycznego, które porównując ją z efektami cieplnymi zarejestrowanymi metodą ATD. Dodatkowo zbadałem wpływ szybkości studzenia

na mikrotwardość  $HV_{0,01}$  oraz twardość HB stopu AZ91. Badania te pozwoliły mi na dalszą analizę dotyczącą intensywnego studzenia nowo opracowanych stopów zawierających wprowadzone dodatki stopowe.

W monografii przedstawiłem wyniki badań zastosowania intensywnego studzenia nowo opracowanych stopów na mikrostrukturę i właściwości mechaniczne. Zbadałem proces tworzenia się mikrostruktury stopów magnezu w trakcie intensywnego studzenia przy pomocy specjalnie dostosowanego stanowiska do rejestracji ATD stopów intensywnie studzonych. Intensywne studzenie stopów magnezu powoduje, że mikrostruktura jest bardziej rozdrobniona, zmianom ulega temperatura punktów charakterystycznych ATD oraz znacznie skraca się czas krystalizacji pierwotnej. Jednak w wyniku zastosowania intensywnego chłodzenia nie zmienia się rodzaj oraz kolejność krystalizujących faz, co powoduje, że opracowany przez mnie model krystalizacji i przemian fazowych nowo opracowanych stopów magnezu zasadniczo jest zgodny zarówno dla stopów stygnących w temperaturze otoczenia, jak również intensywnie studzonych.

Z przeprowadzonych badań wynika, że zastosowanie intensywnego studzenia nowo opracowanych stopów wpłynęło na skrócenie czasu krystalizacji pierwotnej stopów o osnowie magnezowej o około 50%, rozdrobnienie pierwotnej fazy  $\alpha_{Mg}$ , rozdrobnienie masywnych wydzielen  $\gamma(Mg_{17}Al_{12})$  oraz rozdrobnienie eutektyki  $\alpha+\gamma(Mg_{17}Al_{12})$ . Udokumentowałem, że intensywne studzenie nowo opracowanych stopów wpływa na wzrost: właściwości wytrzymałościowych  $R_m$ , twardości HB oraz w przypadku stopu AM60+0,1% Cr +0,1%V na wzrost wydłużenia  $A_5$ .

Na podstawie uzyskanych wyników badań przeprowadziłem próby przemysłowe w warunkach odlewni S.P. „Armatura” w Łodzi. Badania doświadczalne w warunkach przemysłowych dotyczyły wykonania odlewów produkcyjnych w technologii wytapianych modeli z nowo opracowanych stopów magnezu potwierdziły, że zastosowanie nowych stopów oraz opracowanej technologii ich wytwarzania pozwala uzyskać wysokojakościowe odlewy.

**Do najistotniejszych osiągnięć pracy zaliczam:**

1. Opracowanie technologii wykonywania samonośnych form ceramicznych, których temperatura w chwili zalania ciekłym stopem wynosi 60 – 180 °C.
2. Dobór inhibitorów oraz innowacyjną technologię ich nanoszenia na wewnętrzne ściany form ceramicznych pozwalające uzyskać odlewy ze stopów magnezu charakteryzujące się wysoką jednorodnością powierzchni zewnętrznej o niskiej chropowatości.
3. Opracowanie nowych stopów magnezu zawierających w swoim składzie pierwiastki wysokotopliwe, które w odniesieniu do znormalizowanych AM60 i AZ91 charakteryzują się podwyższonymi właściwościami mechanicznymi oraz tribologicznymi w stanie lanym.
4. Opracowanie modelu krystalizacji i przemian fazowych nowo opracowanych stopów magnezu zarówno dla stopów stygnących w temperaturze otoczenia, jak również intensywnie studzonych.
5. Opracowanie wytycznych technologicznych procesu intensywnego studzenia form ceramicznych w cieczach polimerowych zapewniające uzyskanie odlewów charakteryzujących się znacznie wyższymi właściwościami mechanicznymi.
6. Weryfikację otrzymanych wyników badań w produkcji odlewów w warunkach przemysłowych z nowo opracowanych stopów magnezu w formach ceramicznych w technologii wytapianych modeli, potwierdzającą ich wysoką jakość.

**Moim osiągnięciem naukowym stanowiącym istotny wkład w dziedzinę Nauki Technicznej w dyscyplinę Budowa i Eksploatacja Maszyn jest opracowanie nowej innowacyjnej metody wykonywania form ceramicznych z naniesionymi inhibitorami w technologii wytapianych modeli oraz opracowanie nowych stopów magnezu na części maszyn o podwyższonych właściwościach mechanicznych i tribologicznych w stanie lanym.**

**c) Opis wykorzystania osiągniętych wyników**

Prace badawcze, które wykonałem były realizowane w ramach projektu pt. "Opracowanie innowacyjnych technologii wytwarzania złożonych konstrukcyjnie, wysokojakościowych odlewów precyzyjnych ze stopów metali lekkich" nr umowy PBS1/A5/9/2012. Wyniki uzyskane w ramach dotychczas prowadzonych przeze mnie badań stały się podstawą do kontynuacji prac prowadzących do wdrożenia w celu otrzymywania odlewów ze stopów magnezowych o podwyższonych właściwościach mechanicznych w Spółdzielni Pracy „Armatura” w Łodzi, która dotychczas w swojej działalności oferowała odlewy z siluminów, staliwa oraz miedzi. Spółdzielnia Pracy „Armatura” była konsorcjantem projektu, którego wyniki badań zostały przeze mnie opublikowane oraz stały się wytycznymi technologicznymi do zastosowania w warunkach przemysłowych.

## 5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Szczegółowy wykaz opisanych poniżej osiągnięć naukowo-badawczych zawarto w Załączniku 3 zatytułowanym „*Wykaz opublikowanych prac naukowych lub twórczych prac zawodowych oraz informacja o osiągnięciach dydaktycznych, współpracy naukowej i popularyzacji nauki*”.

W roku 1998 ukończyłem pięcioletnie studia dzienne w Politechnice Łódzkiej na Wydziale Mechanicznym na specjalizacji „Aparatura i sprzęt medyczny z oceną bardzo dobrą” uzyskując tytuł magistra inżyniera. Po zakończonych studiach rozpocząłem studia doktoranckie na tym samym wydziale oraz specjalizacji. Od roku 1999 dodatkowo zostałem zatrudniony na stanowisku asystenta w Instytucie Inżynierii Materiałowej Politechniki Łódzkiej. W tym okresie brałem udział w pracach badawczych realizowanych w Instytucie Inżynierii Materiałowej PŁ związanych z depozycją powłok nanokrystalicznego diamentu NCD (NanoCrystalline Diamond) oraz powłok węglowych diamentopodobnych DLC (Diamond Like Carbon), stosując metodę nanoszenia cienkich powłok z wykorzystaniem plazmy PECVD (Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition). W ramach realizacji badań odbyłem staż naukowy w Joint Research Centre w Isprze we Włoszech [III.L.1.], gdzie zajmowałem się modyfikacją elektrody w reaktorze PECVD w celu poprawy adhezji nakładanych powłok na podłoża ze stali kwasoodpornych stosowanych w medycynie (AISI316L). Wyniki badań dotyczące otrzymywania powłok NCD oraz DLC na elementach ortopedycznych opisano w pracach [II.E.5.,II.E.6.]. Kolejnym obszarem badań naukowych było opracowanie technologii trawienia jonowego płytek szafirowych na potrzeby biologii molekularnej. W ramach realizowanych badań brałem udział w projekcie badawczym realizowanym wspólnie z Imperial Collage w Londynie, w którym moim zadaniem było opracowanie technologii wytworzenia płytki szafirowej o odpowiednich nano - strukturach metodą fotolitografii oraz trawienia jonowego, będącej elementem innowacyjnego automatycznego sekwencjonera DNA. W tym czasie otrzymałem projekt badawczy, którego byłem kierownikiem zatytułowany: „*Wykorzystanie trawienia jonowego do wytworzenia mikroelementu do sekwencjonowania DNA*” finansowanego przez Komitet Badań Naukowych (KBN) [II.J.1.]. W ramach realizacji badań odbyłem tygodniowy staż naukowy w Imperial Collage w Londynie [III.L.2.] a uzyskane wyniki badań z realizacji projektu publikowałem w pracach [II.E.1.–II.E.4.]. W roku 2001 podjąłem pracę nad dysertacją doktorską, którą realizowałem pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Macieja Gazickiego–

Lipmana. Praca doktorska zatytułowana była „*Konstrukcja i optymalizacja urządzenia do syntezy cienkich warstw germanowo–krzemowo–węglowych*”. Celem pracy doktorskiej było opracowanie konstrukcji aparatury przy pomocy której możliwe będzie wytworzenie warstwy Ge:Si:C:H metodą plazmy wysokiej częstotliwości PECVD, stosując jako substancję wyjściową rozcieńczoną argonem kombinację par ciekłych substancji krzemoorganicznych i germanoorganicznych, przetestowanie tej aparatury i optymalizacja warunków nanoszenia uwodornionych warstw trójskładnikowych. Wyniki badań związanych z dysertacją referowałem na konferencjach międzynarodowych [III.B.1.,III.B.2.], które również publikowałem w pracach [II.A.1.,II.E.7.-II.E.11] a moją rozprawę doktorską obroniłem w 2003 roku. Dysertacja została zgłoszona przez recenzentów do wyróżnienia. Po zakończeniu pracy doktorskiej wziąłem udział w badaniach we współpracy z Albert Ludwig University we Freiburgu w Niemczech. W ramach badań zajmowałem się nanoszeniem powłok o gradientowym stężeniu węgla i aluminium metodą PECVD. W ramach tej współpracy odbyłem dwa staże naukowe w latach 2003 oraz 2004 [III.L.3, III.L.4]. Wyniki realizowanych prac opublikowano w pracy [II.E.12].

W roku 2005 dostałem stypendium EIF Marie Curie - Intra European Fellowships i rozpocząłem badania we Francji w Ecole Centrale de Lyon. W ramach tego stypendium realizowałem badania nad kierowanym przeze mnie projektem zatytułowanym „*Tribology (i.e. Friction and Wear) of Orthodontic Materials (TOM)*” [II.J.2.]. W trakcie realizacji projektu zaprojektowałem i zbudowałem stanowisko do badań trybologicznych drutów i klamer stosowanych przez ortodontów do korekcji uzębienia. W ramach realizacji tego projektu zajmowałem się badaniem zużycia frettingowego (fretting – wear) kontaktów-par ciernych drut-klamra. Wyniki zrealizowanych badań wygłosiłem na międzynarodowej konferencji [III.B.3.] oraz opublikowałem w pracy [II.A.2.]. Opracowując swój projekt w czasie stypendium równolegle przez jeden rok byłem opiekunem pomocniczym pracy doktorskiej mgr inż. Pawła Jędrzejczyka, dla którego opracowałem i zaprojektowałem stanowisko do badań trybologicznych kontaktów elektrycznych stosowanych w przemyśle motoryzacyjnym. Na tym stanowisku doktorant prowadził badania w ramach swojej rozprawy doktorskiej zatytułowanej „*Analyse et quantification de l'endurance de contact électrique sous sollicitations de fretting*” [III.K.1]. Praca ta była finansowana przez koncern PSA Peugeot-Citroën, a otrzymane wyniki badań były tajne w związku z powyższym nie mogłem ich publikować, natomiast wyniki prezentowałem na konferencji w formie posteru [III.B.4.].

W roku 2006 po powrocie ze stypendium we Francji podjąłem pracę w Katedrze Technologii Materiałowych i Systemów Produkcji Politechniki Łódzkiej (KTMiSP). W ramach pracy naukowej brałem udział w wielu projektach badawczych realizowanych przez KTMiSP. W roku 2007 podjąłem w ramach realizacji projektu [II.J.3.] badania nad stopami lekkimi – siluminami odlewanyymi do form ceramicznych, gdzie zająłem się opracowaniem technologii wykonania formy dla stopów lekkich oraz badaniami wymiany ciepła pomiędzy stopem a formą. Wyniki badań referowałem na konferencji [III.B.8.] oraz opublikowałem w pracy [I.B.2.]. Wyniki badań zostały wdrożone w Spółdzielni Pracy „Armatura” w Łodzi oraz prezentowałem na konferencji [III.B.5.]. Badania te zapoczątkowały moje zainteresowania naukowe oraz późniejszą realizację prac badawczych dotyczących form ceramicznych do zastosowań w odlewnictwie stopów magnezu.

Innym obszarem badań, którym się zajmowałem była możliwość zastosowania monitoringu – kontroli jakości żeliwa sferoidalnego przy pomocy ultradźwięków. Prace badawcze realizowałem w ramach projektu wspólnego z Odlewnią Żeliwa w Bolimowie, wyniki badań referowałem na konferencji [III.B.5.] oraz opublikowałem w pracy [II.E.13.]. Żeliwo sferoidalne, nad którym pracowałem, również było poddane badaniom obróbki powierzchniowej we współpracy z prof. dr hab inż. Thomasem Mathią z Ecole Centrale de Lyon we Francji. Wyniki tych badań ogłoszono na międzynarodowych konferencjach [III.B.6.-III.B.7.] oraz opublikowano w pracach [II.E.14., II.E.15.]. W roku 2009 zostałem zaproszony do Francji do Ecole Centrale de Lyon na stanowisko *Visiting Professor* w celu przeprowadzenia badań trybologicznych kontaktów elektrycznych dla koncernu Renault, które były wykorzystane w pracy doktorskiej Mélanie BORDIGNON zatytułowanej „*LIMITES D'UTILISATION DES REVETEMENTS D'ETAIN EN CONNECTIQUE AUTOMOBILE*”. Przeprowadzone przeze mnie badania były poufne bez możliwości publikacji.

Od roku 2013 kierownikiem Katedry Technologii Materiałowych i Systemów Produkcji jest prof. dr hab. inż. Tadeusz Pacyniak, który umożliwił mi realizację badań naukowych w ramach projektu badawczego zatytułowanego „*Opracowanie innowacyjnych technologii wytwarzania złożonych konstrukcyjnie, wysokojakościowych odlewów precyzyjnych ze stopów metali lekkich*” [II.J.10.], w którym pełniłem funkcję głównego wykonawcy. Wyniki badań dotyczące stopów magnezu opublikowałem w monografii oraz pracach naukowych [I.B.1, I.B.3.-I.B.6], które stanowią osiągnięcie naukowe opisane w autoreferacie. Otrzymane wyniki

badan były wielokrotnie prezentowane na międzynarodowych konferencjach [III.B.9.-III.B.15], jak również publikowane w recenzowanych czasopismach nie wchodzących w skład osiągnięcia naukowego [II.A.3.,II.A.4.]. W trakcie realizacji projektu opracowałem technologię wprowadzania pierwiastków wysokotopliwych do stopów magnezu, która została zgłoszona do objęcia ochroną patentową na terenie Polski w Urzędzie Patentowym RP [II.C.1].

Ponadto w ramach tego projektu prowadziłem badania nad stopami aluminium z krzemem o podwyższonych właściwościach mechanicznych otrzymywane w technologii wytapianych modeli. Wyniki badań opublikowałem w pracy [II.A.5.]. Równolegle brałem udział w prowadzonych badaniach w projekcie zatytułowanym „*Stworzenie innowacyjnego procesu produkcyjnego i technologii wytwarzania nowych gatunków wysokojakościowych siluminów do odlewania ciśnieniowego*” realizowanego we współpracy z odlewnią Wifama Prexer. W ramach realizacji tego projektu brałem udział przy opracowaniu nowych stopów aluminium – krzem (siluminów), które poddano ochronie patentowej o zasięgu międzynarodowym [II.C.2].

Od roku 2015 pełniłem funkcję promotora pomocniczego dysertacji doktorskiej mgr inż. Artura Kozunia zatytułowanej „*Wpływ chłodzenia kokili mgłą wodną na kinetykę procesów cieplnych, morfologię krystalizujących faz i właściwości mechaniczne odlewów kokilowych z siluminów nadeutektycznych*”, której promotorem głównym jest dr hab. inż. Ryszard Władysławski, którego publiczna obrona odbyła się 26 września 2017 roku [III.K.2].

W latach 2006 – 2017 brałem udział w sumie w 10 w projektach krajowych oraz w projektach finansowanych przez Unię Europejską. W trakcie mojej pracy naukowej otrzymane wyniki badań, nad którymi pracowałem były przedstawione na krajowych i zagranicznych konferencjach w postaci wygłoszonych referatów lub w postaci posterów [III.B.1-III.B.16]. W przypadku wygłoszonych referatów ustnie w 10 byłem prezentującym autorem. Od roku 2007 jestem aktywnym członkiem komitetu organizacyjnego Międzynarodowych Konferencji: „Optymalizacja Systemów Produkcyjnych w Odlewniach” oraz w roku 2017 zostałem włączony do rady programowej konferencji EcoMade Festival 2017, „*Odnawialna przestrzeń projektowania*” [III.C.1.-III.C.12.]. W ramach EcoMade Festival 2017 byłem organizatorem oraz realizatorem warsztatów odlewniczych, które prowadziłem dla uczestników konferencji [III.I.1.].

Do zrealizowanych przeze mnie prac organizacyjnych, oprócz wspomnianego powyżej zaangażowania w organizację konferencji oraz warsztatów, zaliczyć mogę znaczne zaangażowanie w organizację sezonów żeglarskich dla pracowników Politechniki Łódzkiej z ramienia Klubu Żeglarskiego Politechniki Łódzkiej, w którym od ponad 6 lat pełnię funkcję wicekomandora. Od 2013 roku jestem opiekunem laboratorium odlewnictwa precyzyjnego, w którym prowadzone są badania oraz zajęcia dydaktyczne wykorzystujące technologie wytapianych modeli, a odlewy wykonywane są w formach gipsowych. Od roku 2014 jestem opiekunem laboratorium komputerowego, w którym są realizowane prace z zakresu projektowania inżynierskiego w oparciu o oprogramowanie CAD, jak również badania symulacyjne w procesach odlewniczych przy pomocy oprogramowania MAGMA 5.

W mojej karierze naukowej odbyłem 6 staży zagranicznych w jednostkach naukowych. Byłem kierownikiem jednego projektu badawczego finansowanego przez Komitet Badań Naukowych oraz 7 projektów finansowanych przez Politechnikę Łódzką. Byłem promotorem pomocniczym dwóch doktoratów [III.K.1.,III.K.2]. W ramach pracy zawodowej na zamówienie różnych podmiotów gospodarczych byłem współwykonawcą 6 ekspertyz [III.M.1.-III.M.6.]. Od 2012 roku pełniąc funkcję eksperta w Narodowym Centrum Badań i Rozwoju opracowałem 17 recenzji [III.O.1.] oraz pełniłem funkcję członka w zespole do spraw rozpatrywania protestów od wyników oceny merytorycznej [III.N.1.]. Ponadto pełnię funkcję recenzenta w Journal of Thermal Spray Technology, czasopismo z listy filadelfijskiej, które jest wysoko punktowane na liście A w MNiSW [III.P.1.].

### **Działalność dydaktyczna**

Od chwili podjęcia studiów doktoranckich oraz pracy na stanowisku asystenta w Politechnice Łódzkiej w 1999 roku, później adiunkta obowiązki dydaktyczne realizowałem lub realizuję na kilku kierunkach studiów I i II stopnia (stacjonarnych i niestacjonarnych): Mechanika i Budowa Maszyn, Inżynieria Materiałowa, Zarządzanie i Inżynieria Produkcji, Inżynieria Produkcji, Mechatronika, Transport, Organizacja i Zarządzanie oraz Techniki Dentystyczne na Uniwersytecie Medycznym w ramach nawiązanej współpracy pomiędzy Politechniką Łódzką a Uniwersytetem Medycznym w Łodzi.

Dla wymienionych kierunków studiów prowadziłem lub prowadzę zajęcia:

- Aplikacje robotów przemysłowych w zastosowaniu przemysłowym (wykład)
- Automatyzacja produkcji (wykład, laboratorium i projektowanie),
- Badania operacyjne (ćwiczenia),
- Fizyka ciała stałego (laboratorium),
- Grafika komputerowa (laboratorium),
- Informatyzacja procesów decyzyjnych (wykład i laboratorium),
- Mechanizacja, automatyzacja i komputeryzacja technik produkcyjnych (wykład, laboratorium i projektowanie),
- Nauka o materiałach (laboratorium),
- Odlewnictwo (wykład i laboratorium),
- Odlewnictwo i przetwórstwo tworzyw sztucznych (laboratorium),
- Podstawy ekonomiczno – prawne funkcjonowania firmy II (wykład, laboratorium i projektowanie),
- Podstawy informatyki (laboratorium),
- Specjalne techniki odlewania (laboratorium),
- Specjalne techniki wytwarzania (laboratorium),
- Systemy transportowe (laboratorium),
- Techniki bezwiórowe (laboratorium),
- Techniki wytwarzania I i II (laboratorium),
- Technologia I i II (laboratorium),
- Technologie informacyjne (laboratorium),
- Teoretyczne podstawy technik materiałowych (laboratorium i projekt)
- Teoria procesów bezwiórowych (wykład i laboratorium),
- Warsztaty specjalistyczne (laboratorium),

- Wytwarzanie odlewów artystycznych (wykład i laboratorium),
- Zaawansowane techniki wytwarzania (laboratorium),

Obecnie jestem kierownikiem dwóch przedmiotów:

- 1) Automatyzacji produkcji (wydział Mechaniczny, kierunek Inżynieria produkcji),
- 2) Mechanizacja, automatyzacja i komputeryzacja technik produkcyjnych (wydział Mechaniczny, kierunek Inżynieria produkcji).

W ramach działalności dydaktycznej byłem opiekunem naukowym 14 prac dyplomowych w tym inżynierskich i magisterskich [III.J.1.,III.J.2.]. Od 2012 roku jestem członkiem Komisji Dydaktycznej ds. kierunku Inżynieria Produkcji na Wydziale Mechanicznym PŁ [III.Q.1.].

Oprócz prowadzonych zajęć staram się podnosić swoje kwalifikacje dydaktyczne poprzez udział w różnego rodzaju kursach i szkoleniach. W 2010 roku ukończyłem Kurs Trenerów organizowany i prowadzony przez Stowarzyszenie Konsultantów i Trenerów Zarządzania MATRIK. Program kursu został opracowany w oparciu o Brytyjskie Standardy Kompetencji w Zakresie Treningu, Uczenia się i Rozwoju. Uczestniczyłem w szkoleniach oraz spotkaniach użytkowników odlewniczego programu symulacyjnego MAGMA wersji 5.2 oraz 5.3 w Polsce (w latach 2014, 2015, 2017) oraz Niemczech (w roku 2016) [III.Q.2.-III.Q.15.].

Efektom prowadzonej przeze mnie działalności naukowo-dydaktycznej było wielokrotne honorowanie mnie nagrodą J.M. Rektora Politechniki Łódzkiej [III.D.1.-III.D.11.].

**Dane bibliometryczne**

Artykuły naukowe, których byłem autorem lub współautorem były **22** razy cytowane według Web of Science (WoS), według bazy Scopus **47** razy i według Google Scholar **78** razy. Obliczony dla mnie indeks Hirsha według bazy WoS h-index wynosi **3**, według Scopus'a h-index wynosi **4**, natomiast wyliczony według Google Scholar h-index wynosi **5**.

|                           | Wg bazy Web of Science | Wg bazy Scopus | Wg bazy Google Scholar |
|---------------------------|------------------------|----------------|------------------------|
| Liczba publikacji w bazie | 8                      | 12             | 21                     |
| Indeks Hirscha wg bazy    | 3                      | 4              | 5                      |
| Liczba cytowań            | 22                     | 47             | 78                     |

Sumaryczny Impact Factor ze wszystkich moich prac wynosi **IF= 6.994**, sumaryczna liczba punktów MNiSW wynosi **179**.



## Literatura

1. Ghassemieh E. (2011). *Materials in Automotive Application*, wydane w *State of the Art and Prospects New Trends and Developments in Automotive Industry*, ed. Chiaberge M., IN-TECH, Chorwacja, s. 365–394.
2. Fleming S. (2012). *An Overview of Magnesium based Alloys for Aerospace and Automotive Applications*, A Project report submitted for Master of Engineering In Mechanical Engineering, Rensselaer Polytechnic Institute, Hartford, CT,  
Dostępny w Internecie: <http://www.ewp.rpi.edu/hartford/~ernesto/SPR/Fleming-FinalReport.pdf>.
3. Ostrovsky I., Henn Y. (2007). *Present State and Future of Magnesium Application in Aerospace Industry*, wydane w *New Challenges in Aeronautics*, ASTEC'07, Moscow.
4. Czerwinski F. (2014). Controlling the ignition and flammability of magnesium for aerospace applications. *Corrosion Science.*, 86 s. 1–16.
5. Musfirah A.H, Jaharah A.G. (2012). Magnesium and Aluminum Alloys in Automotive Industry. *Journal of Applied Sciences Research*, 8 (9), s. 4865–4875.
6. Joost W.J., Krajewski P.E. (2017). Towards magnesium alloys for high-volume automotive applications. *Scripta Materialia*, 128, s. 107–112.
7. Fink R., Frech O. (2003). *Die-Casting Magnesium*, wydane w *Magnesium – Alloys and Technology*, ed. Kainer K.U., Wiley-VH, Weinheim, Germany, s. 1–23.
8. Cingi, C. (2006). *Mold-Metal Reactions in Magnesium Investment Castings*. PhD Thesis, Helsinki University of Technology, Finland.
9. Herrero-Dorca, N., Sarriegi Etxeberria H., Hurtado I., Andres U., Rodriguez, P., Arruebarrena G. (2011). Analysis of Different Inhibitors for Magnesium Investment Casting. *Materials Science and Engineering*. 27, 1-7.
10. Jafari, H., Idris, M.H., Ourdjini, A. (2013). A Review of Ceramic Shell Investment Casting of Magnesium Alloys and Mold-Metal Reaction Suppression. *Materials and Manufacturing Processes*. 28, 843-856.
11. Jafari, H., Idris, M.H., Ourdjini, A. (2014). An alternative approach in ceramic shell investment casting of AZ91D magnesium alloy: In situ melting technique. *Journal of Materials Processing Technology*. 214, 988-997.
12. Rapiejko, C., Pisarek, B., Pacyniak, T. (2014). Effect of Cr and V Alloy Additions on the Microstructure and Mechanical Properties of AM60 Magnesium Alloy. *Archives of Metallurgy and Materials*. 59(2), 771-775.
13. Rapiejko, C., Pisarek, B., Pacyniak, T. (2014). Analysis of AM60 and AZ91 Alloy Crystallisation in Ceramic Moulds by Thermal Derivative Analysis (TDA), *Archives of Metallurgy and Materials*. 59(4), 1449-1455.
14. Rapiejko, C., Pisarek, B., Czekaj, E., Pacyniak, T. (2014). Analysis of the Crystallization of AZ91 Alloy by Thermal and Derivative Analysis Method Intensively Cooled in Ceramic Shell. *Archives of Foundry Engineering*. 14(1), 97-102.