

Wykorzystanie technologii hybrydowych opartych o ablację laserową ( osadzanie laserem impulsowym - metoda PLD) oraz osadzanie magnetronowe do modyfikacji warstwy wierzchniej materiałów biomedycznych. Wytwarzanie wielowarstwowych funkcjonalnych biomedycznych powłok polimerowych - metodą warstwa-po-warstwie do zastosowań w systemach krążenia. Kompleksowa diagnostyka strukturalna powłok o zastosowaniach: biomedycznym, tribologicznym i kwantowo- elektronowym z wykorzystaniem metod dyfrakcji rentgenowskiej oraz konfokalnej mikroskopii skaningowej, skaningowej i transmisyjnej mikroskopii elektronowej. Analiza profilu powierzchni i pomiary naprężeń własnych. Badania wybranych właściwości fizykochemicznych warstwy wierzchniej.

### Tematyka badawcza

#### **• Nanoskalowa funkcjonalizacja powierzchni biomateriałów dla biomedycznych systemów krążenia**

-

#### **Funkcjonalne biomateriały z powłokami o właściwościach specjalnych dla systemów krążenia**

-

#### **Wpływ modyfikacji powierzchni metodami fizycznymi na badania narastania komórkowego in situ**

-

#### **Wpływ modyfikacji powierzchni metodami fizycznymi na kontrolowane narastanie komórkowe**

#### **• Charakterystyka mikrostruktury i właściwości nanostrukturalnych powłok kompozytowych**

Dalszy rozwój implantów medycznych łączy się z postępowaniem w inżynierii materiałowej, która znajduje coraz szersze zastosowanie w inżynierii biomedycznej. Działalność związana jest wytwarzaniem materiałów o podwyższonej biogodności z wykorzystaniem nowoczesnych technologii zwłaszcza inżynierii powierzchni. W IMIM PAN prace realizowane są w aspekcie wykorzystania technologii materiałowych do projektowania i wytwarzania funkcjonalnych biomateriałów do kontaktu z krwią. Adhezja i aktywacja komórek do powierzchni materiałów o przeznaczeniu na implanty medyczne jest bardzo istotnym zagadnieniem. Parametry strukturalne wytworzonej powłoki kontaktowej istotnie wpływają na interakcję biomateriału z tkanką łączną.

Powłoki biomateriałów mają zasadniczy wpływ na proliferację komórkową. Celem realizowanych badań jest modyfikacja powierzchni prowadząca do obniżenia trombogenności materiałów przewidzianych do kontaktu z krwią. Planowane jest zaprojektowanie i wykonanie rusztowań komórkowych o zachowaniu bio-neutralnym w kontakcie z tkanką. Realizowane są badania materiałów porowatych o odpowiednio dobranym zespole właściwości mikrostrukturalnych i mechanicznych determinujących optymalizację właściwości bio-medycznych. Prace dotyczą opracowania technologii wytworzenia nowej generacji materiałów na przewody w kształcie rurowym, o zmodyfikowanej antyskrzeplinowej powierzchni wewnętrznej przeznaczonych, do wymuszonego przepływu krwi. Głównym celem jest zmodyfikowanie wewnętrznej powierzchni przewodów polimerowych przeznaczonych do terapii układu krążenia (kaniule, konektory, dreny sterujące). Wewnętrzna powierzchnia elementów rurowych pokrywana jest powłokami, które będą zapobiegały wykrzepianiu lub stymulowały zachodzenie procesów naturalnych w naczyniach, czyli powstanie naturalnej powłoki z komórek endotelialnych zwiększającej biogodność implantu. Do modyfikacji powierzchni stosuje się materiały warstwowe na bazie węgla, tytanu oraz biopolimerów. Komórkowo-polimerowa struktura imitować będzie struktury natywne, a przez to może być wykorzystywana jako proteza naczynia krwionośnego. Architektura układu powłok określana jako „warstwa po warstwie” prowadzi do układu wielowarstwowego, który znajduje szerokie zastosowanie. Osadzanie tego typu powłok polega na sekwencyjnej adsorpcji dwóch materiałów, które oddziałują ze sobą poprzez różne typy wewnątrz-molekularnych reakcji takich jak oddziaływanie elektrostatyczne i wiązania wodorowe. Podłoże jest poddawane naprzemiennej obróbce przeciwnie naładowanych polielektrolitów. Każdy etap osadzania prowadzi do spontanicznej adsorpcji materiału i przyczepiania za pośrednictwem oddziaływań elektrostatycznych. Tego typu obróbka prowadzi do powstania powłok umożliwiających dokowanie białek. Stanowi to znaczne ułatwienie dla konstruktorów implantów, gdyż pozwala na zastosowanie w pełni porowatej struktury w miejscach, gdzie jest to trudne lub niemożliwe. Założeniem prowadzonych prac jest uzyskanie informacji wpływu powierzchni modyfikowanego materiału na przeżywalność, które w późniejszych etapach zostaną wykorzystane do wykonania analogów tkankowych.

### Cel realizacji tematyki:

- a. Modyfikacja powierzchni prowadząca do obniżenia trombogenności materiałów przewidzianych do kontaktu z krwią. Wykorzystanie kanałków migracyjnych wytworzonych metodą ablacji laserowej do analizy odtworzenia włókien mięśniowych gładkich komórkami macierzystymi.
- b. Określenie wpływu zróżnicowanej morfologii powierzchni wytworzonej po modyfikacji

laserowej na narastanie komórkowe, roli sterylizacji plazmowej i gazowej oraz wielkości ziarna po modyfikacji,

c. Analiza możliwości sterowania procesem narastania komórkowego za pomocą generowanego ładunku i potencjału elektrycznego na modyfikowanej powierzchni.

### **Planowane efekty naukowe i praktyczne**

Poznanie wpływu podłoża na migrację komórek w kanalikach w celu analizy odtworzenia włókien mięśniowych gładkich komórkami macierzystymi. Poznanie możliwości sterowania procesem narastania komórkowego za pomocą generowanego ładunku i potencjału elektrycznego na modyfikowanej powierzchni.

Wykorzystanie wyników badań podstawowych w projektowaniu implantów układu krążenia.

### **Inne tematy realizowane w Pracowni:**

- Powłoki antykorozyjne uzyskiwane metodą elektrochemiczną ( **prof.dr hab. Ewa Bełtowska-Lehman, Prof.PAN** )
- Topografia naprężeń własnych w stali (**dr inż. Anna Góral**)
- Właściwości termodynamiczne faz międzymetalicznych (**prof.dr hab.inż.Władysław Gasior; dr inż.Adam Dębski** )
- Przemiana martenzytyczna i magnetyczna w stopach na podstawie struktury Heuslera z efektami pamięci kształtu i magnetokalorycznym (**dr inż. Maciej Szczerba**).

### **Projekty badawcze realizowane w Pracowni:**

- Zaawansowane badania reorientacji wariantów martenzytu w odkształconych plastycznie monokryształach Ni-Mn-Ga. Projekt NCN nr 2011/03/D/ST/04017 2012-2015 (**dr inż. Maciej Szczerba** )
- Projekt NCN 2011/03/D/ST8/04103 2011-2014; Samodostosowujące się, biomimetyczne podłoża porowate w aspekcie hamowania aktywacji układu krzepnięcia (**dr hab.inż.Roman Major** )

- Projekt NCN; 2014/13/B/ST8/04287; Inspirowane biologicznie materiały cienkowarstwowe o kontrolowanym udziale naprężeń własnych w aspekcie odtworzenia mikrośrodowiska dla komórek macierzystych (**dr hab.inż.Roman Major**)
  
- Program Badań Stosowanych, 3. Nauki medyczne i farmaceutyczne; Data rozpoczęcia i zakończenia naboru wniosków: od 18 grudnia 2013 r. do 31 stycznia 2014 r. Skład konsorcjum: Fundacja Rozwoju Kardiochirurgii im. prof. Z Religi; Śląskie Centrum Chorób Serca; Instytut Metalurgii i Inżynierii Materiałowej PAN; F.R.K. "INTRA-CORDIS" Sp. z o.o. Opracowanie innowacyjnej bioaktywnej protezy zastawki serca (konsorcjum) IMIM PAN (**dr hab.inż.Roman Major**)

### **Wykonane w ostatnich latach projekty badawcze**

-

Projekt nr 7 0254 91 01 „Laserowa modyfikacja struktury tworzyw metalowych oraz zastosowanie lasera do uszlachetniania powierzchni i łączenia wybranych stopów”- główny wykonawca (1.10.1991- 31.12.1993)

-

7 TO8C O45 20 (główny wykonawca) „Kształtowanie właściwości dwufazowych stopów tytanu poprzez technologie multipleksowe (2001-2003)

-

7 TO8A O37 21 (kier.projektu - promotorskiego) „Modyfikacja struktury i właściwości stali szybko tnących poprzez konwencjonalną i laserową obróbkę cieplną” (2001-2003)

-

7 TO8C 034 22 (kier.projektu - promotorskiego) „Wpływ warunków wytwarzania azotku tytanu na mikrostrukturę i właściwości warstwy wierzchniej w stopach Ti-Al.” (2002-2003) (bez

wynagrodzenia - nie)

-

4 TO8C 02823 (kier.projektu) "Nanokrystaliczne powłoki tribologiczne nowej generacji wytwarzane na drodze ablacji i osadzania laserem impulsowym (2002-2005)

-

PBZ -KBN-082/TO8/2002 (kier.zadania) „Nowe materiały i technologie dla inżynierii biomedycznej”, oferta 11 „Opracowanie technologii wytwarzania implantów na bazie tytanu na drodze tłoczenia z końcówką modyfikującą nowoczesną obróbką powierzchniową” (2003-2005)

-

PBZ-KBN-100/TO8/2003 (kierownik i koordynator projektu, kier.zadania) „Projektowanie i wytwarzanie funkcjonalnych materiałów gradientowych” część projektu: Opracowanie podstaw teoretycznych i technologii wytwarzania powłok gradientowych na stopach metali z wykorzystaniem wysokoenergetycznych technologii laserowych, jarzeniowych i prądowych' (2004-2007) (prof. B.Major)

-

KMM-NoE Project FP6 (koordynator i realizator sub-task DNRT 3-5 Knowledge-based Multicomponent materials for Durable and Safe Performance; "Stress related effects" (2004-2008) (prof. B.Major)

-

KMM-VIN Project FP 7 MATRANS (sub-task leader), Materials for Transportation (2009-2011)

-

STRATEGICZNY PROJEKT BADAWCZY (kierownik zadania PO1-pakiet) zgodny z programem wieloletnim na lata 2007-2011 pt.: „Polskie Sztuczne Serce”ustanowionym Uchwałą Nr 29/2007 RADY MINISTRÓW z dnia 6 marca 2007 r. (prof. B.Major)

-

PBZ-MNiSW -03/I/2007 (kierownik zadania 4.6) Opracowanie technologii wytwarzania elementów konstrukcyjnych części gorącej silników lotniczych metodą krystalizacji kierunkowej (2007-2011) (prof. B.Major)

-

Międzynarodowy Projekt Badawczy ERA-NET MNT /FP6, partner Austria/ „Nanostrukturalne materiały dla biomedycznych systemów układu krążenia (CardioBioMat) na lata 2009-2012; Koordynator projektu i realizator zadania (prof.B.Major)

-

Charakterystyka struktury i właściwości powłok kompozytowych Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Projekt NCN 2011/01/D/ST8/05318, 2011-2014 (dr inż. Anna Góral)

-

Termodynamika stopów do bezpiecznego magazynowania wodoru i energii. 2012-2014 (dr inż. Adam Dębski)

---

### **Publikacje w ostatnich latach:**

In Materials Surface Processing by Directed Energy Techniques, Chapter 7, Laser Processing for Surface Modification by Remelting and Alloying of Metallic Systems, Edited by Yves Pauleau, Elsevier, B.Major (2006)241-27, monograph

Surface and Coating Technology, Elsevier, Ł. Major, J. Morgiel, J. M. Lackner, W. Waldhauser, R. Ebner, L. C. Nistor, G. van Tandeloo, B. Major, Crystallographic aspects related to advanced tribological multilayers of Cr/CrN, Ti/TiN produced by pulsed laser deposition (PLD),

200(2006) 6190-6195

Surface and Coating Technology, Elsevier, W.Mróz, R.Kosydar, M.Jelinek, T.Kocourek, B.Major Phase formation and microstructure of boron nitride thin layers deposited using Nd:YAG and KrF lasers, 200(2006) 6438-6443

Surf.Coating Technol., Elsevier, R.Major, J.Bonarski, J.Morgiel, B.Major, E.Czarnowska, R.Kustos, J.M.Lackner, W.Waldhauser

Elastic TiN coatings deposited on polyurethane by pulsed laser, 200(2006) 6340-6345

Surf.Coating Technol. Elsevier, J.M.Lackner, W.Waldhauser, B.Major, J.Morgiel, L.Major, H.Takahashi, T.Shibayama, Growth structure and growth defects in pulsed laser deposited Cr-Cr<sub>Nx</sub>-CrC<sub>x</sub>N<sub>1-x</sub> multilayer coatings, 200(2006) 3644-3649

Bull.Pol.Ac.Tech., R.Ebner, J.M.Lackner, W.Waldhauser, R.Major, E.Czarnowska, R.Kustos, P.Lacki, and B.Major, Biocompatible TiN-based novel nanocrystalline films, 54(2)(2006)167-173

Bull.Pol.Ac.Tech., J.M.Lackner, W.Waldhauser, Ł.Major, J.Morgiel, M.Kot and B.Major, Nanocrystalline Cr/CrN and Ti/TiN multilayer coatings produced by pulsed laser deposition at room temperature, 54(2)(2006)175-180

Bull.Pol.Ac.Tech., B.Major, W.Mróz, M.Jelinek, R.Kosydar, M.Kot, Ł.Major, S.Burdyńska, R.Kustos, BN-based nano-composites obtained by pulsed laser deposition, 54(2)(2006)181-189

Bull.Pol.Ac.Tech., R.Major, P.Lacki, J.M.Lackner, B.Major, Modelling of nanoindentation to simulate thin layer behavior, 54(2)(2006)189-198

Research Signpost (monograph), J.M.Lackner, W.Waldhauser, Ł.Major, J.Morgiel, M.Kot S.Zimowski and B.Major, Nanocrystalline tribological functionally gradient multilayers in Cr/CrN and Ti/TiN systems, (2006)403-414

Research Signpost (monograph), B.Major, W.Mróż, M.Jelinek, R.Kosydar, T.Kocourek, Ł.Major, R.Kustosz, BN-based nano-composites produced by laser ablation, (2006)309-319

Research Signpost (monograph), Nanocrystalline biocompatible TiN-based thin layers produced by pulsed laser deposition on polymer substrate, B.Major, R.Ebner, J.M.Lackner, W.Waldhauser, E.Czarnowska, R.Kustosz, R.Majo, (2006)387-401

Inżynieria Materiałowa, W.Mróż, J.Kasperczyk, M.Jelinek, T.Kocourek, S.Burdyńska, A.Janus, B.Major, Powłoki polimerowe uzyskiwane z wykorzystaniem ablacji laserowej w warunkach kriogenicznych metodą MAPLE, 5(153)(2006)1151-1158

Inżynieria Materiałowa, R.Kosydar, M.Kot, S.Zimowski, W.Mróż, B.Major, Struktura i właściwości tribologiczne warstw na bazie azotku boru osadzonych laserem impulsowym na podłożu polimerowym i metalicznym, 5(153)(2006)1083-1088

Inżynieria Materiałowa, R.Major, P.Lacki, J.M.Lackner, B.Major, Modelowanie i weryfikacja strukturalna cienkich warstw na bazie azotku tytanu uzyskanych na podłożu polimerowym laserem impulsowym, 5(153)(2006)1118-1120

Rudy i Metale Nieżelazne, W.Muzykiewicz, A.Rękas, R.Major, B.Major, R.Kustosz, Tłoczenie elementów komory sztucznego serca z blachy tytanowej, R-51,4(2006)212-218

Inżynieria Materiałowa, B.Major, Wielowarstwowe nanokrystaliczne materiały tribologiczne nowej generacji uzyskiwane laserem impulsowym, 3(151)(2006)486-489

Materiały Konferencji Sympozjum Techniki Laserowej STL 8, REFERATY, B.Major, R.Major,



J.M.Lackner, Wykorzystanie ablacji laserowej do wytwarzania nanokrystalicznych wielowarstwowych powłok do zastosowań biomedycznych i tribologicznych, Szczecin-Świnoujście (2006)323-337

Research in Polish Metallurgy at the beginning of XXI Century Committee of Metallurgy of the Polish Academy of Sciences,

Publishing Home „Akapit”, B.Major, J.M.Lackner, W.Waldhauser, J.Morgiel, J.Bonarski, R.Major, Ł.Major, R.Kosydar, R.Kustosz, W.Mróż, P.Lacki, Nanocrystalline Advanced Coatings Produced on Metallic and Non-metallic Substrates by Pulsed Laser for Medical and Tribological Applications, Kraków (2006)432-452

Proc.SPIE - The International Society for Optical Engineering, B.Major, R.Major, J.M.Lackner, W.Waldhauser, Using of laser ablation to fabrication nanocrystalline multilayer coatings for biomedical and tribological applications, SPIE 6598 art No 659807 (2007)

Plasma Processes and Polymers, J.M.Lackner, W.Waldhauser, M.Berghauser, D.Hufnagel, R.Major, Ł.Major, B.Major, Growth Morphology, Adhesion and Mechanical Properties of Room-Temperature Pulsed Laser Deposition Cr-CrN Multilayer Coating

Wiley- VCH Verlag GmbH, Wiley InterScience 4(2007)51-54

Advances in Materials Science, 7 (2007) 37-49, J.M.Lackner, W.Waldhauser, R.Berghauser, B.Major, R.Major, Ł.Major, Emerging Technologies for Deposition of High Adhesive Ti-based Coatings at Room Temperature

Polska Akademia Umiejętności -Wydawnictwo; Prace Komisji Nauk Technicznych PAU tom II (2007) 135-155, B.Major, Laserowa ablacja i osadzanie mono- i wielowarstw laserem impulsowym,

Bull.Pol.Ac.Ser.Techn. 56(2008)223-228, R.Major, F.Bruckert, J.M.Lackner, W.Waldhauser, M.Pietrzyk, B.Major, Kinetics of eucariote cells adhesion under shear flow detachment on the PLD deposited surfaces

Bull.Pol.Ac.Ser.Techn. 56(2008)217-221, R.Kosydar, J.T.Bonarski, M.Kot, S.Zimowski, M.Ferraris, M.Salvo, B.Major, Boron nitride/titanium nitride laminar lubricating coating deposited by pulsed laser ablation on polymer membranes, Arch.Metal.and Mater. 53(2008)39-48

(SOTAMA 2007), B.Major, F.Bruckert, J.M.Lackner, R.Ebner, R.Kustosz, P.Lacki, Coating on TiN and Ti(C,N) basis for biomedical application to blood contact and TiN/CrN multilayered tribological systems produced by pulsed laser deposition, Advances Engineering Materials

(EUROMAT 2007) C51-261 oral, R.Major, F.Bruckert, J.M.Lackner, J.Morgiel, P.Lacki, B.Major, Hybrid Pulsed Laser Deposition and Diagnostics of Gradient TiN and TiCN Coatings for Biomedical Applications, Advances Engineering Materials 7(2008)617-621 Viley-VCH

(EUROMAT 2007)C51-260, L.Major, J.Morgiel, J.M.Lackner, M.Kot, M.Szczerba and B.Major, Microstructure design and tribological properties of Ti/TiN, Cr/CrN and TiN/CrN multilayer films

Advances in Materials Science,7(2007)63-70, B.Major, R.Major, F.Bruckert, J.M.Lackner, R.Ebner, R.Kustosz, P.Lacki, New Gradient Coatings on TiN and Ti(C,N) Basis for Biomedical Application to Blood Contact

Inż.Materiałowa 157-158 (2007)672-676

Ł.Major, J.Morgiel, J.M.Lackner, M.Kot, M.Szczerba, B.Major, Optimization of Ti-Cr-N multilayer wear resistance coatings through microstructure control

Society of Vacuum Coaters,505/857-7188(2007) 74-77, J.M.Lackner, W.Waldhauser, R.Berghauser, M.Kahn, F.Bruckert, R.Major, B.Major, Detachment Kinetics of Eukaryote Cells from Biocompatible PVD Coatings; 50th Annual Technical Conference Proceedings (2007) ISSN 07375921

Arch.Metallurgy and Materials 53(2008)253-257 ( SOTAMA 2007), M.J.Szczerba, J.Żukrowski, M.S.Szczerba, B.Major, An investigation of Ni-Mn-Ga Single Crystals Compressed at Room Temperature

Prace Szkoły Inżynierii Materiałowej pod red. Prof.J.Pacyny Krynica(2008)333-337, M.J.Szczerba, J.Przewoźnik, J.Żukrowski, Cz.Kapusta, M.S.Szczerba, B.Major, Wpływ wysokotemperaturowego odkształcenia plastycznego na własności magnetyczne monokryształów Ni<sub>2</sub>MnGa

XXXVI Szkoła Inż.Materiałowej Kraków-Krynica 23-26.09.2008, B.Major /wykład na zaproszenia/ Nauki materiałowe łączące inżynierię i medycynę

Inżynieria Materiałowa, 1(2008)47-49, B.Major, E.Beltowska-Lehman, Projektowanie i wytwarzanie funkcjonalnych materiałów gradientowych; PBZ-KBN-100/TO8/2003

Inżynieria Materiałowa, 6(2008)552-555, Konf.Inżynieria Powierzchni INPO2008 Wisła-Jawornik-Referat plenarny, Ł.Major,

J.M.Lackner, J.Morgiel, M.Kot, B.Major, Microstructure and its defect analysis of titanium nitride and chromium nitride multilayer tribological systems;

Annual Report 2008; Polish Academy of Sciences, Warsaw, 46-47, B.Major, Nanostructural materials for cardiovascular biomedical devices

Euromat 2009 /E21, Glasgow FEMS, R.Major, F.Bruckert, J.M.Lackner, P.Wilczek, P.Lacki, W.Waldhauser, B.Major, Relationship between surface morphology and biological cells adhesion in hydrodynamic conditions

Euromat 2009 /B16, Glasgow FEMS, L.Major, J.Morgiel, J.M.Lackner, W.Waldhauser, M.Kot and B.Major, Wear mechanism during ball-on-disc test of Ti/TiN composite multi-layer systems

produced by hybrid PLD

Inż.Mater.5(171)(2009)356-358, R.Major, F.Bruckert, J.M.Lackner, R.Ebner, R.Kustosz, P.Lacki, B.Major, Nanostrukturalne powłoki na bazie tytanu do kontaktu z krwią; diagnostyka strukturalna, adhezja komórek w warunkach hydrodynamicznych

Szczecin(2009)26-27Abstrakty STL9, Łukasz Major, Jürgen M.Lackner, Jerzy Morgiel, Marcin Kot, Wolfgang Waldhauser, Bogusław Major, Wielowarstwowe powłoki tribologiczne wytwarzane z wykorzystaniem ablacji laserowej;mikrostruktura i jej defekty

Nowe Materiały 2009, Streszczenie (2009) 86-87, Szczecin/ Politechnika Szczecińska, L.Major,J.Morgiel, J.M.Lackner, W.Waldhauser,M.Kot , B.Major, Nowe tribologiczne powłoki wielowarstwowe typu Ti/TiN; Cr/CrN - mechanizm zużycia w próbie „ball-on-disc”

Arch.of Metal.and Materials 53(2008)979-984, A.Góral, J.Deda, E.Bełtowska-Lehman, B.Major, Analysis of Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats (SWOT) and Prerequisite Tree (PT) for Selected Technologies of Coating and Layer Production

PATENT PL 200599, Sposób wytwarzania ochronnych kompozytowych warstw powierzchniowych na stopach tytanu na implanty kostne, Twórcy: Tadeusz WIERZCHOŃ; Bogusław MAJOR; Waldemat MRÓZ; Elżbieta CZARNOWSKA; Jerzy Robert STOBIECKI

Arch.Metal.,and Materials 34(2009)439-447, M.J.Szczerba, J.Przewoźnik, J.Żukrowski, Cz.Kapusta, M.S.Szczerba, B.Major, The influence of high temperature plastic deformation on magnetic properties of Ni<sub>2</sub>MnGa type single crystals

Vacuum 83(2009)302-307, J.M.Lackner, W.Waldhauser, M.Schwarz, L.Mahoney, L.Major, B.Major, Polymer pre-treatment by linear anode layer source plasma for adhesion improvement of sputtered TiN coatings

Bull.Pol.Ac.Ser.Techn.(2010) in press AMT2010 - invited lecture, J.M.Lackner, W.Waldhauser, A.Alamanou, Chr.Teichert, F.Schmied, L.Major, B.Major, Mechanisms for self-assembling topography formation in low-temperature vacuum deposition of inorganic coatings on polymer surfaces

Bull.Pol.Ac.Ser.Techn.(2010) in press AMT201, J.Sarna, R.Kustosz, R.Major, J.M.Lackner, B.Major, Polish Artificial Heart - material, technology, diagnostics

Inż.Materiałowa 175(2010)614-617, AMT2010, Boguslaw Major, Krzysztof Kubiak, Jan Bonarski, Maciej Szczerba, Łukasz Major, Anna Góral, A.Rakowska, Directionally solidified CMSX-4 Nickel Based Superalloys; Microstructure, Orientation, Residual Stress, Microanalysis

Inż.Materiałowa 175(2010)280-283, AMT2010, M.J.Szczerba, B.Major, M.S.Szczerba, A note on the kink bands in compressed Ni<sub>2</sub>MnGa single crystals

Polish Metallurgy 2006-2010 in Time of the Worldwide Economic Crisis (2010) 455-472;

Committee of Metallurgy of the Polish Academy of Sciences; Editor K.Świątkowski; Łukasz Major, Marcin Kot, Juergen M.Lackner, Bogusław Major, Tribological Coatings on the Basis of Multilayer Systems

A. Góral, J. Jura, A. Piątkowski: Tensile strength and microstructure in directionally crystallized Al-CuAl<sub>2</sub> eutectic alloy, Archives of Metallurgy and Materials 55, (2010) 281-285.

A. Dębski, W. Gąsior, Z. Moser, R. Major, Enthalpy of formation of intermetallic phases from the Au-Sn system, Journal of Alloys and Compounds, 491 (2010) 173-177.

A. Goral, E. Beltowska-Lehman, P. Indyka: Structure characterization of Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composite coatings prepared by electrodeposition, Solid State Phenomena 163 (2010) 163, 64-67.

E. Bełtowska-Lehman, A. Góral, P. Indyka: Electrodeposition and characterization of Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanocomposite coatings, Archives of Metallurgy and Materials 56 (2011) 919-931.

A. Dębski, W. Gašior, Z. Moser, R. Major, Enthalpy of formation of intermetallic phases from the Au-Sn system II, Journal of Alloys and Compounds, 509 (2011) 6131-6134.

monogr. ImplantExpert edited by Zbigniew Nawrat Roman Major, Marek Sanak, Piotr Wilczek, Juergen M.Lackner, Marcin Kot, Bogusław Major, Nanostructural materials for implant and cardiovascular biomedical devices, M Studio Zabrze (2011)67-90

Advances in Materials Science , 11(2011)5-25 R.Major, J.M.Lackner, P.Wilczek, M.Sanak, B.Jakiela, B.Stolarzewicz, M.Kowalczyk, M.Sobota, K.Maksymow, M.Spisak, B.Major  
Functional Cardio-Biomaterials

e-Book "Surface Tailoring of inorganic materials for Biomedical Applications" ed.Lia Rimondini, Bentham Science Publisher (2012) 297-327 (monografia), R.Major, B.Major; Tailoring of Tissue-Surface Interaction in Conducting Materials

Nanostructural materials for implants and cardiovascular biomedical devices CARDIOBIOMAT, ed.Piotr Wilczek and Roman Major ISBN 978-83-63310-004 (2012)6 (monografia), B.Major; Materials science in heart disease treatment

Bull.Pol.Ac.:Tech. 60(2)(2012) 337-342, R.Major, K.Maksymow, J.Marczak, J.M.Lackner, M.Kot, B.Major; Migration channels produced by ablation for substrate endothelialization

Bull.Pol.Ac.:Tech. 60(4)(2012), J.Kusinski, S.Kac, A.Kopia, A.Radziszewska, M.Rozmus-Górnikowska, B.Major, L.Major, J.Marczak, A.Lisiecki; Laser modification of the materials surface laser - a review paper

W. Gašior, A. Dębski, R. Major, Ł. Major, A. Góral, Enthalpy of formation of B<sub>13</sub>Li, B<sub>14</sub>Li<sub>3</sub> and B<sub>3</sub>Li (B<sub>6</sub>Li<sub>2</sub>) compounds measured with reaction calorimetric method, , Intermetallics, 24 (2012) 120-127.

W. Zakulski, A. Dębski, W. Gašior, Enthalpy of formation of the CaLi<sub>2</sub> phase, Intermetallics, 23 (2012) 76-79.

M.J. Szczerba, M.S. Szczerba: Transformation of dislocations during twin variant reorientation in Ni-Mn-Ga martensite structures. Scripta Materialia 66 (2012) 29-32.

M.S. Szczerba, S. Kopacz, M.J. Szczerba: On the reverse mode of fcc deformation twinning. Acta Materialia 60 (2012) 6413-6420.

Łukasz Major, Juergen M.Lackner, Bogusław Major; Tailoring of multilayer structure to tribological conditions, Inż.Materiałowa 6(2013)741744

B.Major; Nanoskalowa funkcjonalizacja powierzchni biomateriałów do kontaktu z krwią, Laboratoria, Aparatura, Badania, 4(2013)14-24

R.Major, J.M.Lackner, K.Gorka, P.Wilczek, B.Major; Inner surface modification of the tube-like elements for medical applications, RSC Adv.,3(2013)11283-11291

A. Goral, M. Nowak, J. Wojewoda-Budka: Microstructure of Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> electrodeposited coatings studied with XRD and SEM techniques, Solid State Phenomena 203-204 (2013) 133-136  
doi:10.4028/www.scientific.net/SSP.203-204.133

A. Góral, L. Lityńska-Dobrzyńska, W. Żórawski, K. Berent, J. Wojewoda-Budka: Microstructure of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-13TiO<sub>2</sub> coatings deposited from nanoparticles by plasma spraying, Archives of Metallurgy and Materials 58 (2013) 335-339, DOI: 10.2478/v10172-012-0194-

A. Góral, M. Nowak, K. Berent, B. Kania: Influence of current density on microstructure and properties of electrodeposited nickel-alumina composite coatings, *Journal of Alloys and Compounds* 615 (2014) S406-S410, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jallcom.2014.01.025>

A. Góral, L. Lityńska, W. Żórawski: Study of the microstructure of plasma sprayed coatings obtained from Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-13TiO<sub>2</sub> nanostructured and conventional powders, *Materials Characterization* 96 (2014), 234-240 DOI information:10.1016/j.matchar.2014.08.016

W. Żórawski, A. Góral, O. Bokuvka, L. Lityńska-Dobrzyńska, K. Berent: Microstructure and tribological properties of nanostructured and conventional plasma sprayed alumina-titania coatings *Surface and Coatings Technology* DOI:10.1016/j.surfcoat.2014.09.014

A.Mzyk, R.Major, M.Kot, J.Gostek, P.Wilczek, B.Major, Chemical control of polyelectrolyte film properties for an effective cardiovascular implants endothelialization, *Archives of Civil Engineering*, 14 (2014) 262-268

R.Major, M.Sanak, A.Mzyk, L.Lipińska, M.Kot, P.Lacki, F.Bruckert, B.Major, Graphene based porous coatings with antibacterial and antithrombogenic functional - *Materials and design, Archives of Civil Engineering* , 14(2014)540-549

R.Major, F.Bruckert, J.M.Lackner, J.Marczak, B.Major, Surface treatment of thin-film materials to provide self-rising dialogue of endothelial and smooth muscle cells in terms of effective inhibition of platelet activation, *RSC Adv.*, 4(2014) 9491-9502

A.Mzyk, R.Major, J.M.Lackner, F.Bruckert, B.Major, Cytotoxicity control of SiC nanoparticles introduced into polyelectrolyte multilayer films, *RSC Advances*, 4(2014)31948-31954

L.Major, J.M.Lackner, M.Kot, M.Janusz, B.Major, Contribution of TiN/Ti/a-C:H multilayers architecture to biological and mechanical properties, *Bull.Pol.Ac.:Tech.* 62(3)(2014) 565-570



L.Major, J.M.Lackner, B.Major, Bio-tribological TiN/Ti/a-C:H multilayer coatings development with a built-in mechanism of controlled wear, RSC Advances, 4(2014)21108-21114

K.Trembecka-Wójciga, R.Major, J.M.Lackner, B.Major Biomedical inspired surface modification Inż.Mater. 6(2014)560-563

B.Major Preface in "Self-healing materials as biomimetic smart structures" L.Drenchev and J.J.Sobczak, ISBN 978-83-88770-98-2, Foundry Research Institute, Kraków (2014)13-16

Ł.Major, J.M.Lackner, B.Major Wieloskalowa analiza mechanizmu zużycia wielowarstwowych powłok na bazie tytanu i węgla, Obróbka Plastyczna/ Metal Forming, 25(1)(2014)27-38

B.Major, „Człowiek o wielkiej inwencji naukowej”, Rok Jana Czochrańskiego T.1. Zarys biografii i dokumentacja historyczna, Zeszyty Historyczne Politechniki Warszawskiej 15(2014)19-22

L.Major, M.Janusz, M.Kot, J.M.Lackner, B.Major, Development and complex characterization of bio-tribological Cr/CrN + a-C:H (doped Cr) nano- multilayer protective coatings for carbon-fiber- composite materials, RSC Advances, 5(2015)9405-9415

### Patenty:

P 371147 „Pompa krwi, zwłaszcza pneumatyczna komora wspomaganie serca" Zgłoszenie: Fundacja Rozwoju Kardiochirurgii, Zabrze; Institut Metallurgii i Inżynierii Materiałowej PAN, Kraków, JOANNEUM RESEARCH  
Forschungsgesellschaft mbH, Graz AT

EP 1 912 687 B1 „Blond Pump in particular heart assist device" Foundation for Cardiac Surgery Development Zabrze, Institute of Metallurgy and Materiale Scence PAS Cracow, JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH, Graz/Leoben

P 366528 „Sposób wytwarzania ochronnych kompozytowych warstw powierzchniowych na stopach tytanu na implanty kostne”; Zgłoszone na rzecz Politechniki Warszawskiej; Twórcy: T.Wierzchoń, B.Major, W.Mróż, E.Czarnowska, J.R.Sobiecki

---

## **PRACE DOKTORSKIE w realizacji:**

**Doktorant: mgr Aldona Mzyk**

Promotor: prof.dr hab.inż. Bogusław Major

Temat: **Nanoskalowa funkcjonalizacja powierzchni materiałów porowatych pod zasiedlanie komórkowe**

**Cel:** *Funkcjonalizacja powierzchni materiałów prowadząca do konstrukcji analogu tkankowego; opracowanie technologii otrzymywania polimerowych materiałów kompozytowych o powierzchni nano- i mikro porowatej oraz modyfikacja chemiczna za pomocą białek i aminokwasów.*

Problematyka pracy zlokalizowana jest w obszarze pomostu pomiędzy inżynierią materiałową a medycyną. Głównym celem realizowanych prac będzie wykonanie analogów tkankowych do zastosowań w protezach układu sercowo-naczyniowego. Powierzchnia o zmodyfikowanej strukturze i wytworzonej porowatej architekturze stanowić będzie doskonałe podłoże do adhezji komórek ludzkich. Komórkowo-polimerowa struktura imitować będzie struktury natywne, a przez to może być wykorzystywana jako proteza naczynia krwionośnego. Architektura układu powłok określana jako „warstwa po warstwie” prowadzi do układu wielowarstwowego, który znajduje szerokie zastosowanie (Rysunek). Osadzanie tego typu powłok polega na sekwencyjnej adsorpcji dwóch materiałów, które oddziałują ze sobą poprzez różne typy wewnątrz-molekularnych reakcji takich jak oddziaływania elektrostatyczne i wiązania wodorowe. Podłoże jest poddawane naprzemiennej obróbce przeciwnie naładowanych

polielektrolitów. Każdy etap osadzania prowadzi do spontanicznej adsorpcji materiału i przyczepiania za pośrednictwem oddziaływań elektrostatycznych. Tego typu obróbka prowadzi do powstania powłok umożliwiających dokowanie białek. Stanowi to znaczne ułatwienie dla konstruktorów implantów, gdyż pozwala na zastosowanie w pełni porowatej struktury w miejscach, gdzie jest to trudne lub niemożliwe. Powłoki porowate zostały zaproponowane przez partnera z Francji (Politechnika w Grenoble). Ich osadzanie prowadzone będzie w Polsce w Instytucie Metalurgii i Inżynierii Materiałowej i we Francji. Rozwiązanie to daje możliwość łatwego dokowania odpowiednich białek pod zasiedlanie komórkowe. W pierwszym etapie prac analizowany będzie stopień adsorpcji białka- albuminy do materiałów cienkowarstwowych i porowatych. Badania przeżywalności i proliferacji komórek śródbłonna realizowane będzie głównie w IMIM PAN z wykorzystaniem mikroskopii konfokalnej (CLSM) i prowadzona będzie w oparciu o linie ludzkich komórek endotelialnych HUVEC. Założeniem prowadzonych prac będzie uzyskanie informacji wpływu powierzchni modyfikowanego materiału na przeżywalność, które w późniejszych etapach zostaną wykorzystane do wykonania analogów tkankowych.

**Doktorant: mgr inż. Klaudia Trembecka**

Promotor: dr hab.inż. Roman Major

Temat: **Biomimetyczne powłoki aktywujące komórki w warunkach dynamicznych**

**Cel badań:** *opracowanie biomimetycznych powierzchni aktywujących i wychwytyjących komórki, zwłaszcza komórki macierzyste z przepływającej krwi w warunkach dynamicznych.*

Problematyka pracy zlokalizowana jest w obszarze pomiędzy inżynierią materiałową a medycyną. Praca dotyczyć będzie opracowania technologii wytworzenia nowej generacji materiałów na przewody w kształcie rurowym, o zmodyfikowanej antykrzeplinowej powierzchni wewnętrznej przeznaczonych, do wymuszonego przepływu krwi. Wewnętrzna powierzchnia elementów rurowych zostanie pokryta powłokami, które będą zapobiegały wykrzepianiu lub stymulowały zachodzenie procesów naturalnych w naczyniach, czyli powstanie naturalnej powłoki z komórek endotelialnych zwiększającej biogodność implantu.

Przeprowadzona zostanie modyfikacja powierzchni materiałów biogodnych za pomocą metod jonowych i laserowych. Modyfikacje powierzchniowe będą miały na celu zaktywowanie komórek o charakterze macierzystym i ich izolację. Zostanie pojęta wieloskalowa analiza mikrostruktury oraz oddziaływania modyfikacji powierzchniowej na adherujące komórki. Ilość zaktywowanych komórek macierzystych lub progenitorowych analizowana będzie po kontakcie z powierzchnią próbki.

Badania przeprowadzone zostaną w warunkach statycznych i dynamicznych na modelach dwu- (próbki płaskie) i trój-wymiarowych (próbki w kształcie rurowym). W ramach planowanych prac zostanie również wykonane odpowiednie stanowisko do dynamicznego wychwytu komórek macierzystych z przepływającej krwi przez nowo opracowywane powierzchnie materiałowe.

System będzie wyposażony w monitoring przepływu i wymianę gazową. Diagnostyka mikrostrukturalna prowadzona będzie z wykorzystaniem metod mikroskopii elektronowej; skaningowej i transmisyjnej, a procesy życiowe komórek analizowane będą przy wykorzystaniu mikroskopu konfokalnego wyposażonego w komorę inkubacyjną do prowadzenia badań in situ. Planowane jest opracowanie szeregu testów dynamicznych oraz wykonanie systemu do diagnostyki biomechanicznej symulującego przepływu rzeczywiste.