

# WPŁYW OCZEKIWANYCH EFEKTÓW RÓŻNYCH MODYFIKACJI POWIERZCHNI NA WŁASNOŚCI MECHANICZNE, CHEMICZNE I BIOLOGICZNE ENDOPROTEZ

ANDRZEJ ZIELIŃSKI, BEATA ŚWIECZKO-ŻUREK,  
SYLWIA SOBIESZCZYK

WYDZIAŁ MECHANICZNY, POLITECHNIKA GDAŃSKA, 80-952  
GDAŃSK, NARUTOWICZA 11/12,  
AZIELINS@PG.GDA.PL

## Streszczenie

*Przedstawiono koncepcję nowej endoprotezy o szczególnie wysokiej odporności na zużycie i pęknięcie. Koncepcja zakłada wytwarzanie wieloetapową obróbkę powierzchniową kompozytu metalowo-ceramicznego.*

*[Inżynieria Biomateriałów, 58-60,(2006),217-219]*

## Wprowadzenie

Dłuższe użytkowanie endoprotezy nawet z odpornych stopów tytanu prowadzi po pewnym czasie do utraty przez nią właściwości użytkowych, głównie wskutek reakcji immunologicznych, obłuzowania lub pęknięcia. Podawaną przyczyną jest długotrwała reakcja alergiczna wywołana stopniowym narastaniem w organizmie stężenia jonów takich, jak np. Al i V w przypadku stopów Ti6Al4V. Istotną rolę mogą odgrywać czynniki związane ze stopniowym starzeniem się pacjenta i zmianą struktury kości oraz tkanek w pobliżu endoprotezy, jak też obniżenie bariery odpornościowej, w tym także poprzez zażywane leki. Rzadziej występują przypadki pęknięcia endoprotez, w ponad 80% wywołane pękaniem zmęczeniowym w płynach ustrojowych. Wreszcie endoprotezy pracujące jako para tribologiczna mogą ulegać zużyciu tribologicznemu i tribokorozijnemu; takie przypadki są istotnym zagrożeniem dla szczególnie obciążonych stawów.

Celem rozpoczynanej i prezentowanej tu pracy badawczej jest próba opracowania nowego rozwiązania materiałowego endoprotezy o własnościach bardziej korzystnych od dotychczasowych.

## Materiał i metody

Projektując nowe podejście do wytwarzania endoprotez szczególnie narażonych na zużycie i pęknięcie przyjęto po analizie literatury celowość rozważenia następujących materiałów:

- stop tytanu bezwanadowy (Ti-6Al-7Nb, Ti-Mo) jako osnowa kompozytu,
- hydroksyapatyt jako wzmocnienie kompozytu (faza rozproszona),
- zmodyfikowana warstwa wierzchnia w wyniku złożonej obróbki powierzchniowej,
- warstwa wierzchnia hydroksyapatytu.

Jako techniki wytwarzania przyjęto następujące:

- metalurgia proszków dla wytworzenia kompozytu,
- cykliczna obróbka powierzchniowa w wodorze gazowym lub w elektrolicie,
- implantacja jonowa,

# ESTIMATION OF THE EXPECTED EFFECTS OF DIFFERENT SURFACE MODIFICATIONS ON MECHANICAL, CHEMICAL AND BIOLOGICAL BEHAVIOUR OF ENDOPROSTHESES

217

.....

ANDRZEJ ZIELIŃSKI, BEATA ŚWIECZKO-ŻUREK,  
SYLWIA SOBIESZCZYK

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING, GDAŃSK UNIVERSITY OF  
TECHNOLOGY, 80-952 GDAŃSK, NARUTOWICZA 11/12,  
AZIELINS@PG.GDA.PL

## Abstract

*The conception of new endoprosthesis demonstrating especially high degradation and cracking resistance has been presented. The idea of multi-stage surface treatment of metallic-ceramic composite has been described.*

*[Engineering of Biomaterials, 58-60,(2006),217-219]*

## Introduction

The longer utilization of endoprostheses, even made of resistant Ti alloys, results after some time in loss of their usability, mainly as a consequence of immunological reactions and then their loosening. The important cause is a long term allergic reaction caused by gradual increase in a human body of ions such as Al and V for the Ti6Al4V alloy. The crucial role seems to be played by factors associated with gradual ageing of a patient, and change in a bone structure and tissues in neighborhood of the endoprosthesis, and decrease in immunological barrier. More seldom, the cracking of endoprostheses was observed, in over than 80% recognized as a fatigue damage in body fluids. Finally, the endoprostheses used as a tribological pair may suffer from tribological and tribocorrosion wear, as observed for heavily loaded joints.

The present work is aimed at attempting to elaborate the new material design of endoprostheses that will secure their mechanical, chemical and biological properties better than current ones.

## Materials and methods

At the beginning of new approach, to choose upon the base of so far made research the materials and their for endoprostheses, particularly subjected to wear, corrosion and cracking, the following materials have been taken into consideration:

- No-vanadium Ti alloy (Ti-6Al-7Nb, Ti-Mo) as a composite matrix,
- Hydroxyapatite as a composite reinforcement (dispersed phase),
- Surface layer modified by complex surface treatment,
- External hydroxyapatite coating.

The following fabrication techniques have been assumed as the most convenient:

- Powder metallurgy for fabrication of a composite,
- Cyclic surface treatment in gaseous hydrogen or in an electrolyte,
- Ion implantation,

- przetapianie laserem warstwy wierzchniej,
- utlenianie dwuetapowe w elektrolicie alkalicznym i powietrzu,
- reakcje chemiczne metalu w roztworze symulującym płyny ustrojowe (Simulated Body Fluid – SBF).

## Wyniki i dyskusja

Obecny projekt jest w początkowej fazie, trwają badania nad przetapianiem laserowym warstwy wierzchniej stopu Ti-6Al-4V [1]. Nadtapianie to doprowadziło do uzyskania grubej i twardej warstwy, o zróżnicowanej budowie, zawierającej tlenki tytanu (rutyl i anataz) oraz w przypadku przetapiania w ciekłym azocie – także azotki, o wysokiej odporności na korozję. Przykład budowy takiej warstwy ilustruje RYS.1. Technika ta może być z powodzeniem zastosowana do modyfikacji struktury warstwy wierzchniej w kierunku wytworzenia grubych warstw tlenkowych, uzyskania struktury nanokrystalicznej, wzrostu odporności na zużycie różnego rodzaju.

Względna nowością jest wytworzenie materiału kompozytowego. W projekcie przewiduje się otrzymanie kompozytu metodą metalurgii proszków, w której jako surowce wyjściowe stosuje się proszki metali oraz hydroksyapatytu [2]. Tak wytworzony kompozyt powinien posiadać moduł Younga bliski modułowi kości i wysoką odporność na pękanie.

Poddanie stopu tytanu cyklicznemu nawodowaniu gazowemu lub elektrolitycznemu prowadzi do tworzenia i dekompozycji wodorku tytanu, a efektem towarzyszącym może być nie tylko znaczne uplastycznienie fazy  $\beta$  [3], ale – co jest przedmiotem innego projektu – przypuszczalnie utworzenie struktury nanokrystalicznej i amorficznej.

Implantacja jonowa powinna doprowadzić do wzrostu biogodności metalowej osnowy, a także jej odporności na zużycie. Rozważa się zastosowanie azotowania, wytwarzania warstw multiplexowych oraz implantacji jonów tlenu.

Przetapianie laserem warstwy wierzchniej doprowadzi do znacznego zmniejszenia wielkości ziarna oraz wytworzenia grubych warstw tlenkowych, a w ślad za tym do wzrostu odporności na zużycie. Autorzy zakładają zastosowanie do tego celu dwóch różnych technik: nadtapiania laserem ekscymerowym warstwy wierzchniej [4] lub laserem molekularnym  $\text{CO}_2$  [1]. Alternatywnie przewiduje się utlenianie stopu, elektrolityczne w roztworze NaOH lub w gorącym powietrzu.

Ostatnią operacją będzie otrzymanie hydroksyapatytu na powierzchni za pomocą reakcji biomimetycznych, tj. przez wytrącenie go na powierzchni stopu w kontakcie z SBF [5].

Nowością będzie także ocena wpływu modyfikacji warstwy wierzchniej, prowadzącej do uzyskania struktury i właściwości ceramiki, na odporność na kruche pękanie i odporność zmęczeniową, także w płynach ustrojowych. Wymagać będzie to określenia własności mechanicznych warstw, opracowania odpowiedniego modelu dla warstw gradientowych, a następnie analizy metodami numerycznymi.

- Laser melting of the surface layer,
- Two-stage oxidation in an alkaline electrolyte and in air (an alternative),
- Chemical reactions in Simulated Body Fluid.

## Results and discussion

The current research project is an initial stage and research of effects of laser melting of the Ti-6Al-4V has been already performed [1]. The laser melting has resulted in creation of thick and hard, corrosion resistant layer of complex structure, possessing titanium oxides (rutile and anatase), and after melting in liquid nitrogen – also nitrides in outer zone. The example of melted layer is shown in FIG.1. The laser technology can be then successfully applied to modification of surface layer aimed at obtaining the thick oxide layer, nanocrystalline structure, and increase in degradation resistance of different kind.

The relative novelty is a proposal of composite material. In this project the composite material is assumed to be obtained by simple powder metallurgy technique, in which as raw materials the metallic powders and hydroxyapatite will be applied, as already proposed [2]. Such composite material should possess the Young modulus closer to that of a bone, and high brittle cracking resistance.

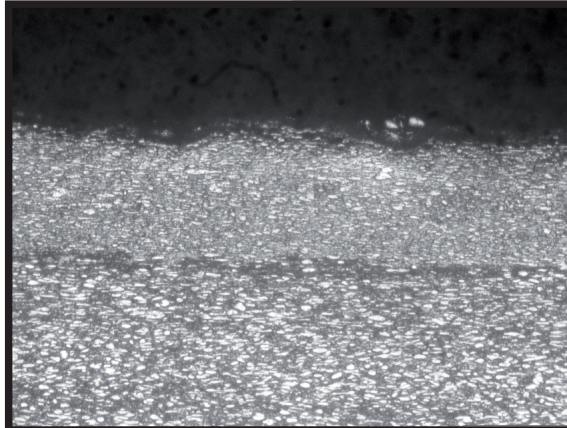
The cyclic gaseous or electrolytic charging of the Ti alloy

may likely cause not only formation and decomposition of titanium hydrides, accompanied by substantial softening of the  $\beta$  phase [3], but as well – that is an objective of another project – the creation of nanocrystalline and amorphous structure. First of all, the ion implantation should result in increase in biocompatibility, and to a lesser extent wear and corrosion resistance. The ion nitriding, creation of multiplex layers and oxygen implantation are considered as possible procedures.

The laser melting of surface layer should substantially decrease the grain size and create the oxide layer, and in such a manner increase the wear and corrosion resistance. The authors assume to apply for this task two different techniques. The first technique involves a use of excimer (short pulse) laser [4], second – the molecular  $\text{CO}_2$  laser [1]. As an alternative, two-stage oxidation of the alloy will be performed, in NaOH electrolyte and in hot air.

The last stage will be the obtaining the hydroxyapatite by biomimetic reactions, i.e. by its chemical precipitation on the alloy surface remaining in contact with the SBF [5].

The novelty will be also an assessment of effects of surface modifications, resulting in surface and properties characteristic of ceramic materials, on resistance to brittle cracking and fatigue resistance, in inert environment and SBF. It will need to determine the mechanical properties of new layers, elaboration of an appropriate model for gradient layers, and further numerical analysis.



RYS.1. Warstwa powstała w wyniku przetopienia laserem stopu Ti6Al4V (moc 3000 W).

FIG.1. The surface layer caused by laser melting of the Ti6Al4V alloy (power 3000 W).

W wyniku cyklu proponowanych operacji technologicznych możliwe jest otrzymanie materiału o własnościach optymalnych w stosunku do stopu tytanu i hydroksyapatytu, wysokiej odporności na zużycie i pęknięcie, niskim module Younga.

## Piśmiennictwo

- [1] Zieliński A., Jażdżewska M., Narożniak-Łuksza A., Serbiński W.: Surface structure and properties of Ti6Al4V alloy melted at cryogenic conditions. *Journal of Materials and Manufacturing Achievements* 18 (2006) 423-426.
- [2] Dong Z.L., Khor K.A., Quek C.H., White T.J., Cheang P.: TEM and STEM analysis on heat-treated and in vitro plasma-sprayed hydroxyapatite/Ti-6Al-4V composite coatings. *Biomaterials* 24 (2003) 97-105.
- [3] Eliezer D., Eliaz N., Senkov O.N., Froez N.H.: Positive effects of hydrogen in metals. *Materials Science and Engineering A280* (2000) 220-224.

## SYSTEM EKSPERCKI JAKO METODA KLASYFIKACJI DLA OPTIMALNEGO WYBORU LECZENIA W CHOROBY LEGG-CALVE-PERTHES

SYLWIA SOBIESZCZYK\*, BEATA ŚWIECZKO-ŻUREK\*,  
MAREK KRZEMIŃSKI\*\*

\*WYDZIAŁ MECHANICZNY, POLITECHNIKA GDAŃSKA,  
80-952 GDAŃSK, NARUTOWICZA 11/12,

\*\*ODDZIAŁ ORTOPEDII I TRAUMATOLOGII NARZĄDU RUCHU SZPITAL  
SPECJALISTYCZNY W KOŚCIERZYNIE,  
83-400 KOŚCIERZYNA, PIECHOWSKIEGO 36,  
SSOBIESZ@PG.GDA.PL

### Streszczenie

Zaproponowano utworzenie systemu eksperckiego jako metody klasyfikacji w prognozowaniu dowolnej formy leczenia dzieci z chorobą Legg-Calvé-Perthesa. Obecnie nie ma jednego optymalnego sposobu leczenia choroby Perthes'a i proponowana metoda jest próbą utworzenia wymiernego i uniwersalnego narzędzia, które będzie stanowiło podstawę przy podejmowaniu decyzji o najlepszym sposobie leczenia chorego stawu biodrowego. System ekspercki, oparty o podejście logiki rozmytej i przybliżone wnioskowanie, będzie zdolny do określenia wyników wybranego sposobu leczenia, zachowawczego lub operacyjnego, i jego wpływu na rezultat długoterminowy.

[*Inżynieria Biomateriałów*, 58-60, (2006), 219-221]

### Wprowadzenie

Choroba Legg-Calvé-Perthesa (LCPD) jest chorobą stawu biodrowego wieku dziecięcego, w wyniku której dochodzi do załamania nasady głowy kości udowej. LCPD reprezentuje idiopatyczną martwicę jałową głowy kości udowej; główną patologiczną nieprawidłowością u pacjentów z tym schorzeniem jest martwica kości, w wyniku której

As a result of here proposed technologies it is likely to obtain the composite biomaterial, possessing properties intermediate between those of Ti alloy and hydroxyapatite, and high wear, corrosion, tribocorrosion, fatigue and corrosion fatigue resistance, at low Young modulus.

## References

- [4] Yue M., Yu J.K., Mei Z., Man H.C.: Excimer laser surface treatment of Ti-6Al-4V alloy for corrosion resistance enhancement. *Materials Letters* 52 (2002) 206-212.
- [5] Jonasova L., Müller F.A., Helebrant A., Strnad J., Greil P.: Biometric apatite formation on chemically treated titanium. *Biomaterials* 25 (2004) 1187-1194.

## EXPERT SYSTEM AS A CLASSIFICATION METHOD FOR OPTIMAL LEGG-CALVE-PERTHES DISEASE TREATMENT

SYLWIA SOBIESZCZYK\*, BEATA ŚWIECZKO-ŻUREK\*,  
MAREK KRZEMIŃSKI\*\*

\*FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING,  
GDAŃSK UNIVERSITY OF TECHNOLOGY,  
80-952 GDAŃSK, NARUTOWICZA 11/12,

\*\*TRAUMA AND ORTHOPAEDIC DEPARTMENT OF SPECIALIST HOSPITAL IN KOŚCIERZYNIA,  
83-400 KOŚCIERZYNA, PIECHOWSKIEGO 36,  
SSOBIESZ@PG.GDA.PL

### Abstract

An attempt to create the expert system as a classification method for evaluating the prognostic value of any particular form of treatment in childhood hip disorders, the Legg-Calvé-Perthes disease, is proposed. The optimal treatment of Perthes' hip disorders has not been established yet and the proposed method is an attempt to creation of a rational, unique and generalized tool which will give a base for taking decisions regarding to the best recommended treatment of a diseased hip. The expert system, based on fuzzy logic approach and approximate reasoning, will be able to determine the prognosis of a chosen treatment, conservative or operative, and its influence on the long-term outcome.

[*Engineering of Biomaterials*, 58-60, (2006), 219-221]

### Introduction

Legg-Calvé-Perthes disease (LCPD) is a childhood hip disorder that results in infraction of bony epiphysis of the femoral head. LCPD represents idiopathic avascular necrosis of the femoral head and the primary pathologic abnormality in patients with this disease is osteonecrosis that results in flattening and collapse of the femoral head