

BADANIA MIKROSTRUKTURY POROWATYCH POKRYĆ MODELOWYCH IMPLANTÓW DOKOSTNYCH

RYSZARD UKLEJEWSKI¹, MARIUSZ WINIECKI^{1*}, PIOTR ROGALA²

¹ZAKŁAD PODSTAW BIOINŻYNIERII MEDYCZNEJ, INSTYTUT TECHNIKI, UNIWERSYTET KAZIMIERZA WIELKIEGO, BYDGOSZCZ, POLSKA

²KLINIKA CHIRURGII KRĘGOSŁUPA, ORTOPEDII ONKOLOGICZNEJ I TRAUMATOLOGII, UNIWERSYTET MEDYCZNY IM. KAROLA MARCINKOWSKIEGO, POZNAŃ, POLSKA

*MAILTO: WINIECKI@UKW.EDU.PL

[Inżynieria Biomateriałów, 89-91, (2009), 113-115]

W pracy przedstawiono wyniki badań struktury geometrycznej porowatych pokryć modelowych (cylindrycznych) implantów dokostnych. Celem badań była próba określenia zależności cech mikrogeometrii porowatych pokryć opisanej przez wybrane parametry mikrostruktury powierzchni od parametrów technologicznych procesu wytwarzania porowatych pokryć na powierzchni implantów ortopedycznych.

Porowate pokrycia wytworzone zostały z proszku tytanu metodą natryskiwania plazmowego na powierzchni modelowych implantów w postaci wałeczków ze stali St3s o średnicy 16mm (wymiar zbliżony do średniego wymiaru przekroju trzpienia endoprotezy stawu biodrowego). Wytworzonych zostało 5 wariantów (oznaczonych odpowiednio W1-W5) porowatych pokryć (po 10 próbek) o grubości 120–255µm (średnio 165µm) i przyczepności powłoki tytanowej do podłoża min. 20MPa. Dla uzyskania zróżnicowanej chropowatości i mikrostruktury poszczególnych wariantów pokryć w procesie natrysku plazmowego zmieniano parametry procesu wg danych przedstawionych w TABELI. 1. Wytworzenie porowatych pokryć zlecono firmie Plasma SYSTEM S.A. (Siemianowice Śląskie, Polska).

Do charakterystyki mikrogeometrii porowatych pokryć zastosowano zestaw parametrów porodostępnosci zaproponowany w pracach [1,2,4,8] do biostrukturalnej oceny porowatych implantów dokostnych charakteryzujących daną powierzchnię pod względem zdolności utworzenia właściwego połączenia kość-porowaty implant, tj.: efektywna porowatość objętościowa

– ϕ_{Vef} , wskaźnik pojemności przestrzeni porów porowatego pokrycia – V_{PM} , efektywna głębokość porów – p_{def} , reprezentatywny rozmiar porów – p_{Srep} , reprezentatywny kąt porodostępnosci – Ω_{rep} , współczynnik zwiększenia powierzchni adhezyjnej – ψ . Dodatkowo zmierzone zostały wartości standardowych parametrów chropowatości 2D (R_q – średnia kwadratowa rzędnych profilu, R_k – wysokość chropowatości rdzenia profilu) i 3D (S_q – średnie kwadratowe odchylenie rzędnych powierzchni). Badania są kontynuacją prac referowanych w [3,6,7].

Pomiary struktury geometrycznej porowatych pokryć na modelowych implantach wykonano metodą profilo-

EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF POROUS COATINGS MICROSTRUCTURE OF MODEL ENDOOSSEOUS IMPLANTS

RYSZARD UKLEJEWSKI¹, MARIUSZ WINIECKI^{1*}, PIOTR ROGALA²

¹DEPARTMENT OF FUNDAMENTALS OF MEDICAL BIOENGINEERING, INSTITUTE OF TECHNOLOGY, KAZIMIERZ WIELKI UNIVERSITY, BYDGOSZCZ, POLAND

²DEPARTMENT OF SPINE SURGERY, ONCOLOGIC ORTHOPAEDICS AND TRAUMATOLOGY, POZNAŃ UNIVERSITY OF MEDICAL SCIENCES, POLAND

*MAILTO: WINIECKI@UKW.EDU.PL

[Engineering of Biomaterials, 89-91, (2009), 113-115]

This paper presents results of experimental investigations of porous coatings microstructure of model (cylindrical) endosseous implants. The purpose of the research was the attempt to determine the dependence of the implant porous coatings microstructure properties on variables of a plasma spraying process.

The titanium porous coatings were deposited by plasma spraying on stainless steel cylindrical shafts (16mm in diameter). There were prepared five variants (W1-W5) of porous coating (10 samples of each kind) 120–255µm thick (average thickness – 165µm) with titanium coating adherence – min. 20MPa. To diversify roughness and the porous coating microstructure during plasma spraying the typical process variables were changed as it is shown in TABLE 1. The manufacturing of plasma sprayed porous coatings

was subcontracted to Plasma SYSTEM S.A. (Siemianowice Śląskie, Poland).

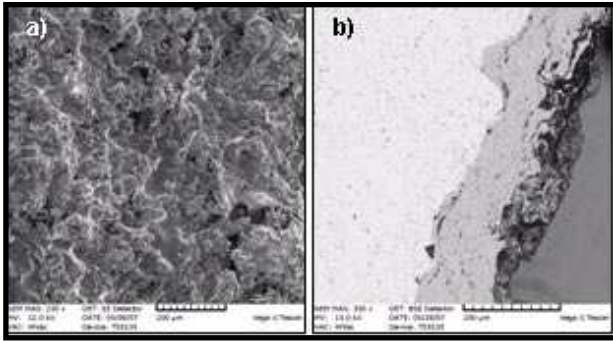
The evaluation of the porous coatings microgeometry were performed with use of parameters of poroaccessibility of implant porous coatings for bone tissue ingrowth: the effective volumetric porosity ϕ_{Vef} , the index of the porous coating space capacity V_{PM} , the effective pores depth p_{def} , the representative pore size p_{Srep} , the representative angle of poroaccessibility Ω_{rep} and the bone-implant interface adhesive surface enlargement index ψ . The parameters set was proposed in [1,2,4,8] for biostructural evaluation of the porous coated orthopaedic implants in the aspect of its poroaccessibility – the potential of porous coating

to accommodate the penetrating bone tissue during the porous implant bone-ingrown fixation. Additionally there were measured the standard linear roughness parameters (R_q – root mean square roughness, R_k – core roughness) and the surface root mean squared roughness – S_q . This investigation is the continuation of our previous research presented in [3,6,7].

The measurement of model implants porous coatings were carried out with contact profile measurement gauge (Perthometer S8P, Perth, Germany) equipped with standard contact stylus (diamond cone tip with 90 degrees vertical angle and 5±2µm nose radius). The SEM observa-

Wariant pokrycia Porous coating variant	Parametr natryskiwania Variables				
	Nat enie pr du Current intensity [A]	Napi cie pr du Voltage [V]	H ₂ [l/h]	Ar [l/h]	Odległo głowicy od powierzchni Plasma gun distance from implant surface [mm]
W1	480	45	70	2500	90
W2	490	48	75	2650	95
W3	500	50	81	2800	100
W4	505	52	90	2900	105
W5	510	55	98	3000	110

TABELA 1. Parametry procesu natryskiwania plazmowego pięciu wariantów próbek tytanem.
TABLE 1. The variables of plasma spraying process for five variants of titanium porous coating.



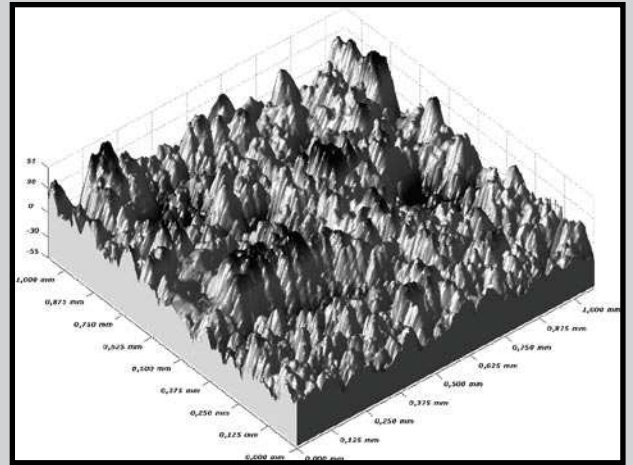
RYS.1. a) Przykładowy obraz SEM przedstawiający tytanowe porowate pokrycie wykonane metodą natryskiwania plazmowego na modelowym implancie W4, (powiększenie: 250x); b) przekrój poprzeczny przez fragment porowatego pokrycia na modelowym implancie W4.

FIG.1. The exemplary SEM micrograph of W4 variant of plasma sprayed porous coating: (left) morphology and (right) cross-section microstructure.

metrii stykowej z użyciem profilometru Perthometer S8P firmy Perthen wyposażonego w głowicę pomiarową ze znormalizowaną końcówką pomiarową (diamentowe ostrze w kształcie stożka z wierzchołkiem kulistym o kącie wierzchołkowym 90° i promieniu zaokrąglenia 5 ± 2 μm). W badaniach mikroskopowych zastosowano elektronowy mikroskop skaningowy Vega 5135 firmy Tescan. Wartości parametrów porodostępności wyznaczono wg metodyki opisanej w pracach [3,4,5].

Na RYS.1 przedstawiono przykładowy obraz SEM tytanowej porowatej warstwy wytworzonej na wałeczkach oraz przekrój poprzeczny wykonany przez fragment porowatego pokrycia tego samego wałeczka. Na RYS.2 przedstawiono przykładowy obraz izometryczny (wykonany w programie Matlab 6,5 na podstawie pomiarów chropowatości 3D) tytanowej porowatej warstwy wierzchniej na modelowym implancie w kształcie walca.

Na RYS.3 przedstawiono wykresy współzależności poszczególnych parametrów porodostępności warstwy



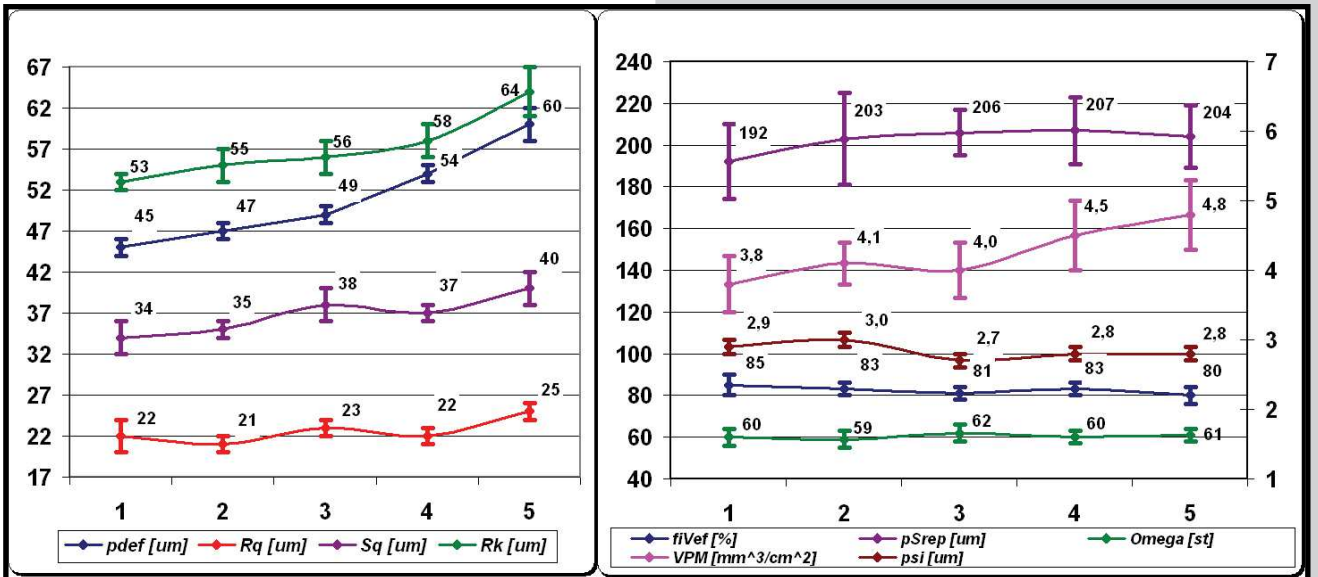
RYS.2. Przykładowy obraz izometryczny (wykonany w programie Matlab 6,5 na podstawie pomiarów mikrogeometrii) tytanowej porowatej warstwy wierzchniej na modelowym trzpieniu w kształcie walca W4.

FIG.2. The exemplary isometric plot (made in Matlab 6,5 on the base of the 3D roughness measurement) of W4 variant of titanium plasma sprayed porous coating.

tions of porous coatings fragments have been performed on Vega 5135, Tescan, Czech Republic. The values of the poroaccessibility parameters were determined according to the methodology presented in [3,4,5].

In FIG.1 there is presented the exemplary SEM micrograph of the W4 variant of titanium plasma sprayed porous coating morphology and cross-sectional microstructure. In FIG.2 there is presented the exemplary isometric plot (made in Matlab 6,5 on the base of the 3D roughness measurement) of W4 variant of titanium plasma sprayed porous coating.

In FIG.3 there are presented interrelation diagrams with mean values of the poroaccessibility parameters put together with the roughness parameters. FIG.3a shows the



RYS.3. Wykresy współzależności parametrów porodostępności porowatego pokrycia modelowego implantu (R_q , R_k , S_q i p_{def}) i b) pozostałe (objętościowe, przestrzenne, hybrydowe, funkcjonalne) parametry: ϕ_{Vef} , V_{PM} , p_{Srep} , Ω_{rep} , ψ .

FIG.3. The diagram of interrelation of the particular poroaccessibility parameters of model implant porous coating with the roughness parameters: (left) amplitude parameters (R_q , R_k , S_q and p_{def}), (right) the remaining (volumetric, spatial, hybrid, functional) parameters: ϕ_{Vef} , V_{PM} , Ω_{rep} and ψ .

wierzchniej implantu i podstawowych parametrów chropowatości powierzchniowej. RYSUNEK 3a dotyczy parametrów amplitudowych: R_q , R_k , S_q i p_{def} , a RYS.3b – pozostałych parametrów: φ_{Vef} , V_{PM} , p_{Srep} , Ω_{rep} , ψ (o charakterze zróżnicowanym – objętościowe, przestrzenne, hybrydowe, funkcjonalne).

Na podstawie analizy wyników tych współzależności stwierdzono, że różnicowanie parametrów procesu natrysku plazmowego (natężenie prądu, napięcie prądu, przepływ gazów H_2 i Ar oraz odległość głowicy od natryskiwanej powierzchni) w zakresie wartości przedstawionych w TABELI 1 pozwoliło uzyskać wzrost wartości efektywnej głębokości porów p_{def} (o 33%), wskaźnika pojemności przestrzeni porów porowatego pokrycia V_{PM} (o 26%) oraz R_k (o 21%). Stwierdzono także nieznaczny wzrost wartości S_q . Nie stwierdzono natomiast zależności pozostałych parametrów porodostępności (φ_{Vef} , p_{Srep} , Ω_{rep} , ψ) od parametrów procesu natrysku plazmowego w zakresie wartości przedstawionych w TABELI 1.

Powyższe wyniki pilotażowych badań wskazują na konieczność poszukiwania możliwości sterowania w procesie wytwarzania wartościami pozostałymi parametrami porodostępności: φ_{Vef} , p_{Srep} , Ω_{rep} oraz ψ , które wg [3] mogą mieć istotne znaczenie dla promowania wrastania tkanki kostnej w przestrzeń porów pokrycia. Współcześnie najlepsze możliwości wytwarzania porowatych pokryć implantów o pożądanej porodostępności (tzw. designed poroaccessibility) mają tzw. technologie przyrostowe, np. SLS/SLM (Selective Laser Sintering/ Selective Laser Melting) – selektywne spiekanie/stapianie proszków metali wiązką lasera. Kolejnym etapem badań autorów jest zbadanie możliwości wytworzenia w technologii SLM porowatych pokryć o pożądanej porodostępności.

amplitude parameters: R_q , R_k , S_q and p_{def} , while FIG.3b – the remaining parameters: φ_{Vef} , V_{PM} , p_{Srep} , Ω_{rep} and ψ (volumetric, spatial, hybrid, functional).

On the basis of the interrelation diagrams analyses there can be ascertained that the differentiation of the plasma sprayed process variables (current intensity, voltage, H_2 and Ar gases flows, as well as the gun distance from substrate) in the range of values presented in TABLE 1 causes the 33% raise of the effective pores depth p_{def} , the 26% raise of the index of the porous coating space capacity V_{PM} and the 21% raise of the core roughness R_k . There was also ascertained a slight increase of the mean S_q parameter value. There was ascertained no influence of the plasma spraying process variables in the range of values presented in TABLE 1 on the remaining poroaccessibility parameters (φ_{Vef} , p_{Srep} , Ω_{rep} and ψ).

The results of this pilot study suggest to search the possibility of the remaining poroaccessibility parameters controlling: φ_{Vef} , p_{Srep} , Ω_{rep} and ψ , during the porous coating manufacturing process, because these parameters might be important for promotion of bone tissue ingrowth, which is essential for the proper fixation of the implant in bone [3]. Nowadays, the best potential to manufacture implant porous coatings with designed poroaccessibility have the additive technologies e.g.: Selective Laser Sintering/ Selective Laser Melting (SLS/SLM). The next stage of our research is the investigation on the possibilities to manufacture the porous coating with designed poroaccessibility in SLM.

Piśmiennictwo

- [1] Mielniczuk J, Uklejewski R, Winiński M, Rogala P. The poroaccessibility parameters for evaluation of structural-osteoinductive and mechanical properties of bone-implant porous coating interface. Part 1. Theoretical background on the basis of the poroelastic model of bone. *J Biomech*, 2006; Vol. 39, Suppl 1, p. S14.
- [2] Uklejewski R, Rogala P, Winiński M. On the characterization of orthopaedic implants porous coatings with three-dimensional roughness measurement, *Proceedings of the 11th International Conference on Metrology & Properties of Engineering Surfaces 2007*, Huddersfield, UK, 16-20.07.2007, 241–245.
- [3] Uklejewski R, Winiński M, Czapski T, Rogala P, Kochański J. Parametric evaluation of implant porous coatings – the results from representative examples of femoral stems measurements. *Engineering of Biomaterials*, 2008, Vol. 11 (77-80), 101–103.
- [4] Uklejewski R, Winiński M, Mielniczuk J, Rogala P, Auguściński A. The poroaccessibility parameters for three-dimensional characterization of orthopaedic implants porous coatings. *Metrology and Measurement Systems*. 2008, Vol. 15 (2), 215–226.

References

- [5] Uklejewski R, Winiński M, Mielniczuk J, Rogala P, The stereometric evaluation of the structural-osteoinductive properties of intraosseous implants porous coatings by means of the poroaccessibility parameters, (in Polish), *Praca zaakceptowana do druku w czasopiśmie MECHANIK – dane zostaną uzupełnione*.
- [6] Uklejewski R, Winiński M, Rogala P, Mielniczuk J, Auguściński A, Stryła W. Structural and biomechanical biocompatibility in bone-porous implant fixation region – on the basis of two-phase poroelastic biomechanical model of bone tissue. *Engineering of Biomaterials*, 2007; Vol. 10 (69-72), 93–95.
- [7] Uklejewski R, Winiński M, Rogala P. On the structural-adaptive compatibility of bone with porous coated implants on the base of the traditional one-phase and the modern two-phase poroelastic biomechanical model of bone tissue. *Engineering of Biomaterials*, 2006, Vol. 9 (54-55), 1–13.
- [8] Winiński M. The investigation on the microgeometrical constructional properties of porous endosseous implants and the influence of these properties on the strength of the bone-implant model fixation, (in Polish), PhD Thesis, Poznan University of Technology, Faculty of Working Machines and Transportations, Poznan, 2006.