

Z przeprowadzonych badań wynika, że wytworzona warstwa tlenoazotowania typu  $TiO_2+TiN+Ti_2N+\alpha Ti(N)$  charakteryzuje się aktywnością biologiczną, umożliwiając powstawanie powierzchniowej warstewki fosforanów wapnia, co z uwagi na eliminację zjawiska metalozy i wzrost odporności na zużycie przez tarcie (warstwa  $TiN+Ti_2N+\alpha Ti(N)$ ) [5] może mieć duże znaczenie aplikacyjne w przypadku zastosowania procesu tlenoazotowania jarzeniowego w obróbce implantów kostnych.

## Podziękowania

Badania zrealizowano w ramach projektu badawczego MNiSzW. Nr 0584/T02/2007/32.

The results obtained in the present experiments show that the oxynitrided layer of the  $TiO_2+TiN+Ti_2N+\alpha Ti(N)$  type is biologically active since it contributes to the formation of a calcium phosphate surface film, an effect which added to the advantages of the  $TiN+Ti_2N+\alpha Ti(N)$  layer [5] such as the elimination of metalosis and the increased frictional resistance, may be significant from the point of view of the use of glow discharge assisted oxynitriding for modifying the surface of bone implants.

## Acknowledgements

The experiments were realized within the framework of the research project No 0584/T02/2007/32 granted by the Ministry of Higher Schools and Education.

## Piśmiennictwo

- [1] T.Wierzchoń, E.Czarnowska, D.Krupa, Inżynieria powierzchni w wytwarzaniu biomateriałów tytanowych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej 2004 r.
- [2] T.Hanawa, M.Ote, Characterization of surface film formed on titanium alloy in electrolyte using XPS, Appl. Surf. Sci. 55, (1992), 269.
- [3] T.Hanawa, In vivo metallic biomaterials and surface modification, Mater. Sci. Eng. A267, (1999), 260.
- [4] D.Krupa, J.Baszkiewicz, J.Kozubowski et al. Effect of phosphorus – ion implantation on corrosion resistance and biocompatibility of titanium, Biomateriale 23, (2002), 3329.

## References

- [5] E.Czarnowska, A.Sowińska, et.al. Response of human osteoblasts-like cell and fibroblasts to titanium alloy nitrided under glow discharge conditions, Material Science Forum 475-479, (2005), 2414.
- [6] J.R.Sobiecki, T.Wierzchoń "Glow discharge assisted oxynitriding of the binary  $Ti_6Al_2Cr_2Mo$  titanium alloy" Vacuum, 79 (2005), 203.
- [7] T.Kokubo, H.Takadami, How useful SBF in predicting in vivo bone bioactivity, Biomaterials 27, (2006), 2907.2008.
- [6] J.Pielichowski, J.Polaczek, J.Pagacz, Engineering of Biomaterials, vol.10, 52-54, 2007.

## WNOSKOWANIE ROZMYTE DO OKREŚLENIA WŁASNOŚCI MECHANICZNYCH KOMPOZYTÓW Z HYDROKSYAPATYTU POCHODZENIA NATURALNEGO ORAZ TLENKU CYNKU

SYLWIA SOBIESZCZYK\*

POLITECHNIKA GDAŃSKA,  
WYDZIAŁ MECHANICZNY  
80-952 GDAŃSK, UL. NARUTOWICZA 11/12

\* E-MAIL: SSOBIESZ@PG.GDA.PL

### Streszczenie

Opracowano metodę wnioskowania rozmytego do określenia własności mechanicznych kompozytów utworzonych z hydroksyapatytu pochodzenia naturalnego oraz ZnO. Zaproponowana w pracy metoda wykazała możliwość skutecznego określenia wartości naprężeń ściskających, mikrotwardości Vickers'a oraz zagęszczenie kompozytu po obróbce cieplnej w różnych temperaturach. Zaprojektowano i przeprowadzono symulację działania sterownika rozmytego (FLC) za pomocą oprogramowania Matlab.

[Inżynieria Biomateriałów, 77-80, (2008), 89-91]

## USING FUZZY REASONING APPROACH TO MECHANICAL PROPERTIES DETERMINATION OF BOVINE HYDROXYAPATITE AND ZnO COMPOSITES

SYLWIA SOBIESZCZYK\*

GDAŃSK UNIVERSITY OF TECHNOLOGY,  
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING,  
11/12, NARUTOWICZA STR., 80-952 GDAŃSK,

\* E-MAIL: SSOBIESZ@PG.GDA.PL

### Abstract

Mechanical properties of bovine hydroxyapatite (BHA) and ZnO composites have been determined by using fuzzy reasoning approach. A proposed method showed the possibility of estimation the value of compression strength, Vickers microhardness, and densification after sintering the composites at different temperatures. A fuzzy logic controller (FLC) was utilized using Matlab Software.

[Engineering of Biomaterials, 77-80, (2008), 89-91]

Hydroksyapatyt pochodzenia naturalnego (BHA), otrzymany z kości wołowych oraz ludzkich zębów, stał się bardzo interesującym biomateriałem, który jest klinicznie używany dla leczenia i rekonstrukcji przede wszystkim ubytków stomatologicznych. Koszt otrzymywania hydroksyapatytu pochodzenia naturalnego jest niższy w porównaniu z bardziej skomplikowaną syntezą hydroksyapatytu syntetycznego. Ponadto, BHA zawiera wiele elementów śladowych, które odgrywają ważną rolę w biologicznych reakcjach po implantacji [1,2]. Badania wykazały, że zastosowanie tlenku cynku (ZnO) w macierzy BHA może poprawić własności mechaniczne (np. wytrzymałość na ściskanie, mikrotwardość) oraz własności biologiczne, ponieważ ZnO ma pozytywny wpływ na podział osteoblastów oraz hamuje osteoklastyczną resorpcję kości [3].

## Metodyka badań

Rozmyty system wnioskowania jest skuteczną metodą służącą do ustalenia związków pomiędzy wielkościami wejściowymi i wyjściowymi bez użycia modeli matematycznych [4]. Przestrzeń zbiorów wejściowych została ustalona na podstawie danych z literatury, które zostały przedstawione w TABELI 1. Jako zmienne wejściowe przyjęto temperaturę spiekania ( $1000^{\circ}\text{C} \div 1300^{\circ}\text{C}$ ), oraz procentową zawartość ZnO w kompozycie BHA-ZnO ( $2.5 \div 10\text{wt.}\%$ ). Rozmyte zbiory wyjściowe to: gęstość kompozytu BHA-ZnO ( $1.9 \div 3 \text{ g/cm}^3$ ), wytrzymałość na ściskanie ( $19 \div 75 \text{ MPa}$ ) oraz mikrotwardość mierzona metodą Vickers'a ( $49 \div 600 \text{ HV}$ ), otrzymane na podstawie badań eksperymentalnych przeprowadzonych przez Gunduz [1]. Przestrzeń wyjściowa i wejściowa zostały podzielone na zbiory rozmyte, którym nadano nazwy lingwistyczne: "bardzo mały, mały, średni, duży, bardzo duży i bardzo bardzo duży". Dla każdego zbioru rozmytego ustalono funkcję przynależności, która posiada formę trójkątną lub trapezoidalną. Do przeprowadzenia symulacji wnioskowania rozmytego wykorzystano system według Mamdaniego [4]. Rozmyty system wnioskowania składał się z 12 reguł rozmytych w formie zdań warunkowych „jeżeli – to”. W celu określenia wynikowej wartości systemu rozmytego wykorzystano metodę wyostrzania środka ciężkości [4]. Symulacje komputerowe zostały wykonane przy użyciu oprogramowania Matlab, Fuzzy Logic Toolbox [5].

## Wyniki badań i dyskusja

Na RYS. 1 pokazano wyniki wnioskowania rozmytego dla przewidywanych własności mechanicznych kompozytu: gęstości, wytrzymałości na ściskanie oraz mikrotwardości. Dla wybranych wartości zmiennych wejściowych: temperatury spiekania  $1300^{\circ}\text{C}$  oraz zawartości ZnO w macierzy BHA 2.5wt.% otrzymano w wyniku przeprowadzonych symulacji wartości zmiennych wyjściowych: wytrzymałość na ściskanie 30 MPa, gęstość  $2.7 \text{ g/cm}^3$  oraz mikrotwardość Vickersa 283 HV. Wyniki przeprowadzonych symulacji komputerowych wykazały średni błąd w wysokości 4% w porównaniu do wyników otrzymanych za pomocą badań eksperymentalnych [1].

## Introduction

Biological derived Hydroxyapatite (BHA), from bovine bones or human teeth are very interesting biomaterial clinically used for skeletal and dental restoration and treatments. The production cost is lower than synthetic HA where synthesis is often complicated and expensive. Moreover, BHA accommodates several trace elements, which play an important role in biological performance of biomaterial after implantation [1,2]. It has been suggested that incorporation of ZnO in BHA matrix can improve mechanical (e.g. compressive strength, microhardness) and biological properties, since ZnO has positive effect on proliferation of osteoblastic cells and inhibitory effect on osteoclastic bone resorption [3].

## Material and methods

Fuzzy reasoning approach is an efficient method to establish the relationships between an input and an output without mathematical models [4]. Domains of input sets have been established on literature data shown in TABLE 1. As input variables sintering temperature ( $1000^{\circ}\text{C} \div 1300^{\circ}\text{C}$ ), and the amount of ZnO ( $2.5 \div 10\text{wt.}\%$ ) have been chosen. Fuzzy output sets are: the density of BHA-ZnO composite ( $1.9 \div 3 \text{ g/cm}^3$ ), compressive strength ( $19 \div 75 \text{ MPa}$ ), and Vickers microhardness ( $49 \div 600 \text{ HV}$ ), based on experimental results presented by Gunduz et al. [1]. Input and output space have been divided into fuzzy

**TABELA 1. Wyniki eksperymentalne wpływu temperatury spiekania oraz zawartości ZnO (wt.%) na gęstość, wytrzymałość na ściskanie oraz mikrotwardość Vickersa kompozytu BHA-ZnO [1].**

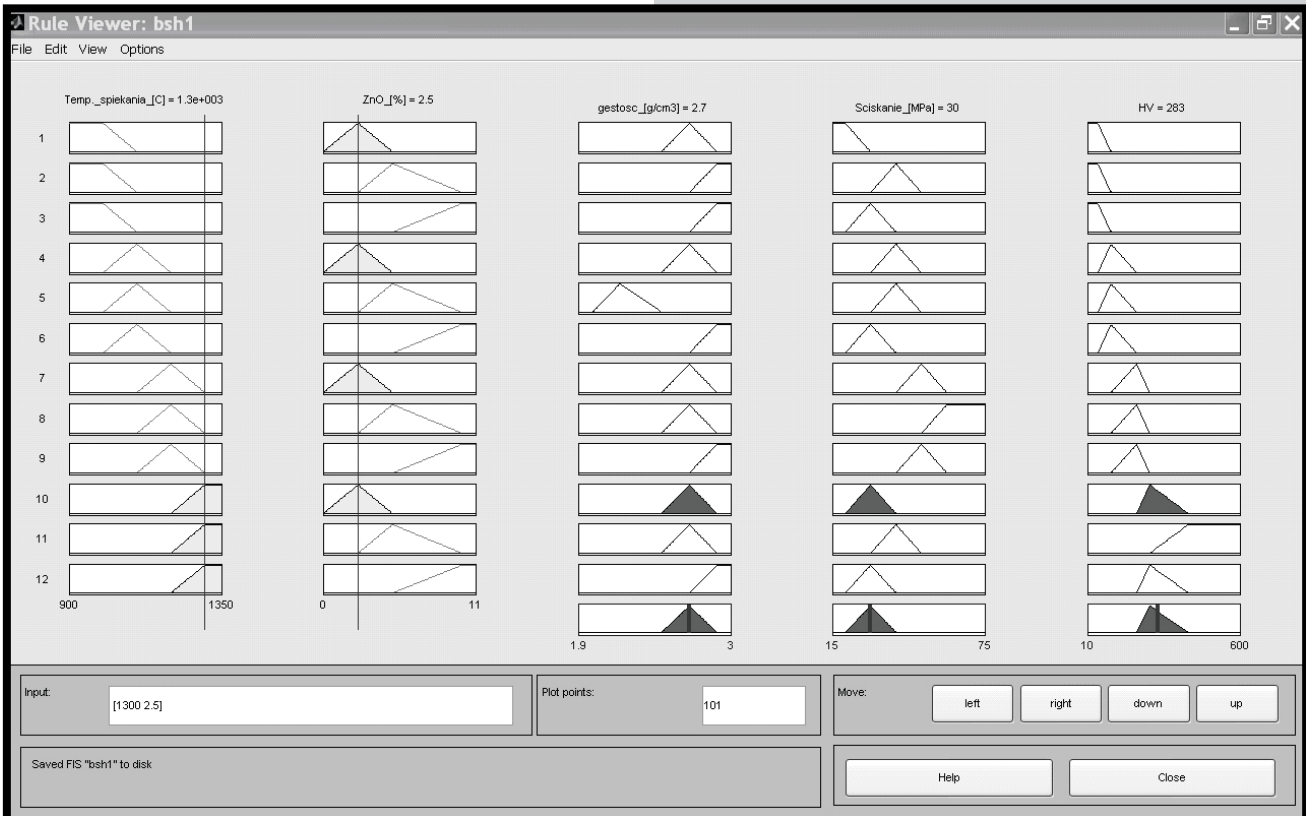
**TABLE 1. Experimental results of influence of sintering temperature and the amount (wt.%) of ZnO on density, compressive strength, and Vickers microhardness of BHA-ZnO composites [1].**

Temperatura Temperature T [ $^{\circ}\text{C}$ ]	2.5 ZnO [wt.%]	5 ZnO [wt.%]	10 ZnO [wt.%]
D [ $\text{g/cm}^3$ ]			
1000	2.77±0.060	2.86±0.004	2.94±0.002
1100	2.82±0.002	2.17±0.030	2.94±0.002
1200	2.66±0.036	2.76±0.060	2.99±0.058
1300	2.74±0.004	2.82±0.060	2.93±0.069
$\sigma$ [Mpa]			
1000	21.00±2.24	37.67±10.41	28.36±1.97
1100	39.45±2.38	37.31±2.380	27.99±5.03
1200	52.24±7.12	71.96±10.90	53.22±3.36
1300	35.41±7.88	37.45±12.60	32.99±8.68
HV			
1000	49.02±6.990	58.84±5.570	67.87±10.87
1100	94.39±13.89	71.12±28.43	95.13±10.79
1200	208.20±40.870	226.88±11.300	203.10±22.000
1300	302.82±29.800	545.67±45.700	338.10±32.490

sets, with linguistic names given: "very small (VS), small (S), medium (M), large (L), very large (VL), and very very large (VVL)". For each fuzzy set a membership function has been generated in triangular and trapezoidal form, and Mamdani fuzzy reasoning system has been used. The system has been based on 12 fuzzy rules in form "if – then" statements. The center gravity defuzzification method has been used to estimate the exact output values from fuzzy reasoning system. The simulations has been conducted using Fuzzy Logic Toolbox in Matlab environment [5].

## Results and discussion

The results of fuzzy reasoning method used for predicting the mechanical properties: densification, compression strength and microhardness has been shown on FIG. 1. For the chosen input variables: sintering temperature  $1300^{\circ}\text{C}$  and 2.5 wt.% ZnO in BHA matrix simulation resulted with following values of output variables: compression strength 30 MPa, density  $2.7 \text{ g/cm}^3$ , and Vickers microhardness 283 HV. Simulation results showed an average error of 4% comparing to the results achieved by experimental tests [1].



**RYS. 1. Wyniki wnioskowania rozmytego dla kompozytu BHA-ZnO dla wejść: temperatura spiekania 1300°C oraz zawartość ZnO 2.5 wt.%, oraz wyjścia: wytrzymałość na ściskanie 30 MPa, gęstość 2.7 g/cm<sup>3</sup> i mikrotwardość Vickersa 283 HV.**

**FIG. 1. Results of fuzzy reasoning system for BHA-ZnO composite, where inputs are: sintering temperature 1300°C and 2.5 wt.% ZnO, and outputs: compression strength 30 MPa, density 2.7 g/cm<sup>3</sup>, and Vickers microhardness 283 HV.**

## Wnioski

Za pomocą metody wnioskowania rozmytego można określić zależności pomiędzy temperaturą spiekania i zawartością ZnO w kompozycie BHA-ZnO a wynikowymi własnościami mechanicznymi. Przedstawiona metoda umożliwia skuteczne oszacowanie własności mechanicznych, jeżeli do dyspozycji jest jedynie ograniczona liczba danych eksperymentalnych. Średni błąd (4%) pomiędzy wynikami symulacji komputerowych a wynikami eksperymentalnymi może zostać zmniejszony poprzez poprawę zaproponowanego modelu rozmytego za pomocą regulacji przebiegu rozmytych funkcji przynależności dla zmiennych wejściowych oraz wyjściowych.

## Conclusions

Using fuzzy reasoning approach, the relationship between control factors (sintering temperature and content of ZnO) and response variables of mechanical properties produced BHA-ZnO composite can be obtained. This method provides a good predictor within the range of area responses established, based on selective and limited representative experimental data.

An average error of 4% comparing the simulation with the experimental results can be decrease by improvement of the proposed fuzzy model by adjusting fuzzy membership functions of input and output variables.

## Piśmiennictwo

- [1] Gunduz O., Erkan E.M., Daglilar S., Salman S., Agathopoulos S., Oktar F.N.: Composites of bovine Hydroxyapatite (BHA) and ZnO. *Journal of Materials Science* 43 (2008) 2536-2540.
- [2] Ruksudjarit A., Pengpat K., Rujijanagul G., Tunkasiri T.: Synthesis and characterization of nanocrystalline hydroxyapatite from natural bovine bone. *Current Applied Physics* 8 (2008) 270-272.
- [3] Goller G., Oktar F.N., Agathopoulos S., Tulyaganov D.U., Ferreira J.M.F., Kayali E.S., Peker I.: Effect of sintering temperature on mechanical and microstructural properties of bovine Hydroxyapatite (BHA). *J Sol-Gel Sci Techn* 37 (2006) 111-115.

## References

- [4] Łachwa A.: *Rozmyty świat zbiorów, liczb, relacji, faktów, reguł i decyzji. Problemy współczesnej nauki, teoria i zastosowania.* Akademicka Oficyna Wyd. EXIT, Warszawa, 2001.
- [5] Jang R., Gulley N.: *Fuzzy Logic Toolbox User's Guide.* The MathWorks, Inc. 1995.