

lewniczego zapewnia powtarzalność i wysoką jakość uzyskanych gąbek magnezowych. Celem charakteryzacji otrzymanych gąbek magnezowych materiał poddano badaniom mechanicznym w próbie wytrzymałości na ściskanie. Próba częściowo symuluje warunki późniejszej pracy gąbek magnezowych jako implanty na wypełnienia ubytków kostnych w organizmie. Kontrola jakości wykonania implantów dzięki technice μ CT pozwalają na optymalizację procesu wykonania gąbek magnezowych.

Badania sztywności kości metodą czteropunktowego ugięcia wskazują na wzrost wartości sztywności u wszystkich przebadanych zwierząt. Rozrzut wyników może być efektem różnic anatomicznych u poszczególnych osobników. Ponadto zaobserwowano, że przy blisko połowie przebadanych zwierząt z wszczepionymi prętami wykonanymi z PLA wzrost wartości sztywności ugięcia następował szybciej niż u zwierząt kontrolnych bez prętów z PLA. Powyższe wyniki wskazują na korzystny wpływ biodegradowalnych implantów na proces zrostania się kości. Pozwala to sądzić, że zastosowanie porowatych struktur metalicznych na bazie stopów magnezu jako implantów czasowych będzie wpływać na znaczny wzrost wartości sztywności kości a tym samym na przyspieszenie przebiegu leczenia.

Podziękowania

Autorzy dziękują za pomoc i wsparcie Niemieckiej Wspólnoty Naukowej.

Piśmiennictwo

- [1] Hayes, W.C.; Bouxsein, M.L.: Biomechanics of Cortical and Trabecular Bone: Implications for Assessment of Fracture Risk. In: Basic Orthopaedic Biomechanics, Editors: Mow, V.C.; Hayes, W.C. Lippincott-Raven Publishers, Philadelphia, 1997
 [2] Nie2004 Unterlagen zur Vorlesung "Biokompatible Werkstoffe", PD Dr.-Ing. M. Niemeyer, 2004
 [3] Kam+2000 Magnesium Taschenbuch, Aluminium-Verlag Düsseldorf, 2000

sures repeatability and high quality of the obtained magnesium sponges. To characterize the obtained sponges, the material has been subjected to mechanical compression strength tests. The test in some way simulates conditions of future sponge performance in the organism. Quality control of the implant allows, thanks to Cant, optimizing the manufacturing process for the magnesium sponges.

The examination of rigidity with the use of four-point deflection marks the increase of rigidity in all cases of the examined animals. The scatter of the results may be the effect of anatomic differences of every individual. Moreover, it has been observed, that for almost half of the animals with the PLA bars implanted the rigidity increase was faster than for the control animals without the PLA bars. The results presented above show positive influence of biodegrading implants on the process of bone healing. This allows assuming, that applying porous metallic structures based on magnesium alloys as temporary implants will influence the significant increase of bone rigidity and thus hastening the healing process.

Acknowledgements

The authors wish to thank for help and support to the German Scientific Collectivity.

References

- [4] Gro2003 Offenerporige Metallstrukturen nach dem Platzhalterverfahren.
 [5] Bach Fr.-W., Bormann D., Kucharski R., Wilk P.: Production and Properties of Foamed Magnesium; Cellular Metals and Polymers, Eds.: R. F. Singer, C. Körner, V. Altstädt, H. Münstedt, Trans Tech Publications, Zuerich 2005, S. 77-80.
 [7] Bach Fr.-W., Bormann D., Kucharski R. November Colloquium 2005.
 [8] Bach F, Bormann D., Kucharski R., Jendras M., Windhagen M., Hackenbroich Ch., Krause A., Meyer-Lindenberg A. "Resorbierbare, metallische Implantate kostne".

MAGNEZOWE STRUKTURY HYBRYDOWE W ZASTOSOWANIU NA LECZENIE UBYTKÓW KOSTNYCH

FRIEDRICH-WILHELM BACH, RAFAEL KUCHARSKI, DIRK BORMANN

INSTITUTE OF MATERIALS SCIENCE,
 SCHÖNEBECKER ALLEE 2, 30823 GARBSEN, GERMANY
 E-MAIL: BACH@IW.UNI-HANNOVER.DE

Streszczenie

W pracy wykazano możliwość wytwarzania hybrydowych struktur składających się z litego materiału oraz otaczających jego powierzchnie ugrupowań z materiału porowatego z porami otwartymi wytworzonych na bazie stopów magnezu. Otrzymane w ten sposób struktury wytworzono metodą odlewniczą infiltrując wypełnienie ceramiczne. Przedstawiono ko-

MAGNESIUM COMPOUND STRUCTURES FOR THE TREATMENT OF BONE DEFECTS

FRIEDRICH-WILHELM BACH, RAFAEL KUCHARSKI, DIRK BORMANN

INSTITUTE OF MATERIALS SCIENCE,
 SCHÖNEBECKER ALLEE 2, 30823 GARBSEN, GERMANY
 E-MAIL: BACH@IW.UNI-HANNOVER.DE

Abstract

The dissertation demonstrates possibilities of producing one-phase compound structures on the basis of magnesium alloys composed of solid material, partially or wholly wrapped in the porous external layer.

Compound moulders were produced using the casting method with the application of ceramic filler (NaCl) infiltration. Characteristics of the compounds obtained

lejne fazy wytworzenia struktur hybrydowych oraz ich charakterystykę wykorzystując badania mikrostruktury w elektronowej mikroskopii skaningowej (SEM - skaning elektrony microscopy) oraz nieniszczące badania modelowe w skali 3D uzyskane dzięki zastosowaniu mikrotomografii komputerowej.

Cel wytworzonej struktury hybrydowej został określony zarówno jako wzmocnienie mechaniczne wykonane przez kształtkę z litego materiału jak również przedłużenie czasu resorpcji kształtki w porównaniu do wytwarzanych obecnie magnezowych materiałów resorbowalnych o strukturze gąbczastej.

Zastosowanie tak wykonanych struktur hybrydowych określono jako nowe tworzywa w leczeniu ubytków kostnych zarówno w kościach długich jak i płaskich.

Słowa kluczowe: gąbki magnezowe, hybrydowe struktury porowate, metodyka wytwarzania, kontrola jakości.

[Inżynieria Biomateriałów, 56-57,(2006),58-61]

Wstęp

Zastosowanie nowych implantów kostnych wytworzonych na bazie stopów magnezu stwarza nowe możliwości dla leczenia ubytków kostnych [1, 2].

Dzięki właściwościom temporalnym ujawniającym się podczas pracy w warunkach "in vivo" stopy magnezu posiadają potencjał kwalifikujący je na materiały na wypełnienia ubytków kostnych. Jednakże poprzez nie zoptymalizowany czas resorpcji [3], [4] nie mogą do tej pory znaleźć zastosowania w warunkach klinicznych. Jedną z dróg poprawiających tę niedogodność jest metoda wytwarzania struktur hybrydowych. Struktury hybrydowe oparte na tym samym materiale wsadowym - stopie magnezu jako materiale jednofazowym powinny charakteryzować się dobrymi właściwościami mechanicznymi. Istota jednofazowej struktury hybrydowej polega na połączeniu wiązaniem metalicznym materiału litego z materiałem otwarcie porowatym. Dzięki temu połączeniu otrzymujemy materiał z właściwościami otwarcie porowatymi pozwalającymi na przepływ płynów fizjologicznych i fiksację z naturalną kością, materiał lity natomiast daje większe możliwości w stworzeniu szkieletu do przenoszenia obciążeń ułatwiając tym samym i wspomagając rozwój naturalnego metabolizmu układu kostnego [5], [6]. Stwarza to nowe możliwości dla zastosowania stopów magnezu mogących jako temporalne implanty zostać użyte na większe systemy wypełnień ubytków kostnych będące nie dostępne do tej pory dla gąbek tylko o strukturze otwarcie porowatej. Właściwości magnezu przedstawiono w TABELI 1.

Materiał i metody

Metaliczne struktury hybrydowe z porami otwartymi wykonano metodą odlewniczą z zastosowaniem wypełniacza ceramicznego. Jako wypełniacza użyto cząstek NaCl o wielkości 250 i 500 μm . Jako materiału infiltrującego z uwagi na właściwości odlewnicze dla prekursora zastosowano stop magnezu AZ91, składający się z ok. 9% Al. i ok. 1% Zn. Połączenia materiałów dokonano metodą odlewniczą infiltrując cząstki soli wraz z elementami z tego samego stopu oraz bez ciekłym metalem AZ91.

Z otrzymanego kompozytu: cząstki ceramiczne w osnowie stopu magnezu, usunięto w procesie chemicznego płukania [7] wypełniacz ceramiczny otrzymując jednofazową strukturę hybrydową z magnezu.

Otrzymane w ten sposób materiały przebadano meto-

were tested using the scanning electron microscopy SEM (analysis of microstructure) and non-destructing 3D model analysis performed using computer micro-tomography.

The purpose of the compound structure was to enhance properties through using of the solid material and extending the resorption period of the moulder, compared to the spongy resorbing magnesium materials currently produced.

Thus obtained compound structures can be used as a new material in the treatment of the bone defects both in the long and flat bones.

Key Words: magnesium sponges, porous hybrid structures, manufacturing methods, quality control.

[Engineering of Biomaterials, 56-57,(2006),58-61]

Introduction

Application of new bone implants based on magnesium alloys brings new possibilities in bone losses treatment [1], [2]. Thanks to temporal properties, revealing during operation in vivo magnesium alloys can be qualified as a bone loss filling material. Yet, due to not optimised resorption time, they cannot be applied in clinical conditions. One of the methods, improving this inconvenience is manufacturing hybrid structures. These, based on the same core - on magnesium alloy as a monophase material should be characterized by fair mechanical properties. The idea of monophase hybrid structure leans upon linking the solid material with the open pore one with a metallic bond. Thanks to this connection, an open pore properties are obtained. These allow physiologic fluids flow as well as fixing with natural bone. The solid material, in turn, brings greater possibilities of building the skeleton for load bearing, enhancing the development of natural metabolism of the osseous system. [5], [6]. This brings new possibilities for applying the magnesium alloys, which, as temporary implants may be used in vast systems of bone fillings, not available for sponges of only porous structure so far. Magnesium properties have been presented in TABLE 1.

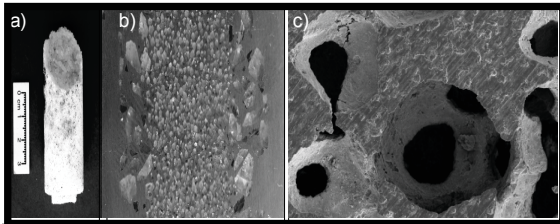
Material and methods

Metallic hybrid structures with open pores were made with use of foundry methods with application of ceramic filling. As a ceramic filling NaCl particles of 250 μm and 500 μm size were used. As an infiltrating material, due to its casting properties an AZ91 magnesium alloy has been used as a precursor. This alloy consists of 9% Al and about 1% Zn. Materials were fixed with casting methods by infiltration of salt particles with and without the elements of the same alloy with liquid AZ91 metal.

From the composite: ceramic particles in magnesium

Material	Masa molekularna Molecular mass [g/mol]	E-Modul E-Modulus [GPa]	Wytrzymałość na rozciąganie Strength [MPa]
Poly-L-lactid	50000	1,2	28
	100000	2,7	50
Kortikalis	-	10-30	110-160 (ściskanie)
Magnesium	24	44	150
Steel 316L	56	200	400

TABELA 1.
TABLE 1.



RYS.1. a) Ceramiczne wypełnienie formy przed infiltracją ciekłym stopem magnezu NaCl, b) Zgląd: materiał kompozytowy osnowa magnezowa wypełniona ceramicznym wypełniaczem z NaCl, c) SEM: Materiał otwarcie porowaty po całkowitym usunięciu ceramicznego wypełniacza.

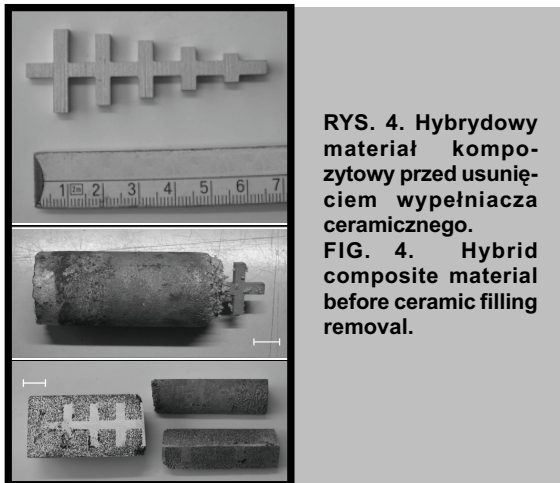
FIG.1. a) NaCl ceramic mould filling before liquid magnesium alloy infiltration, b) Microsection: composite material. magnesium groundmass with NaCl ceramic filling, c) Scanning microscope. Open pore material after complete removal of the ceramic filling.

dą radiologiczną w urządzeniu uCT firmy Scanco Medical. (RYS.1c).

W celu dokładniejszej kontroli wybrane cylindry przebadano metoda mikroskopii skaningowej Mikroskopem Firmy Jeol przed i po chemicznym wypłukaniu fazy ceramicznej.

Celem otrzymania jednorodnego materiału a tym samym połączenia metalicznego pomiędzy strukturą otwarcie porowatą a materiałem litym wykonano formy solne wypełnione wypełniaczem ceramiczny i ukształtowane aby zgromadzić materiał lity schemat numer

W dalszym etapie badań użyto różnego rodzaju kształtek odpowiedni z preparowanych celem usunięcia warstwy tlenku magnezu i przygotowanych w podgrzanej formie wypełnionej ceramicznym wypełniaczem.

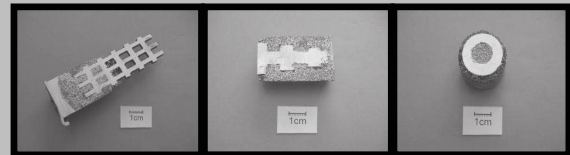


RYS. 4. Hybrydowy materiał kompozytowy przed usunięciem wypełniacza ceramicznego.

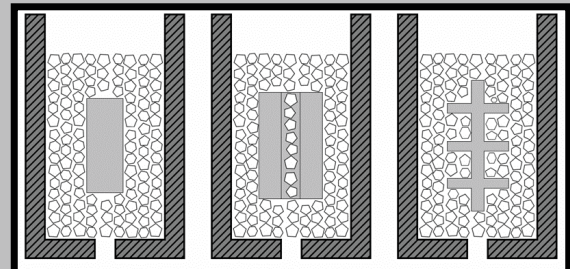
FIG. 4. Hybrid composite material before ceramic filling removal.

Wyniki

W procesie odlewniczym, jak ukazuje RYS.5 wykazano, iż możliwe jest otrzymanie tą metodą jednofazowej struktury hybrydowej. Można otrzymać struktury o gradientowym rozłożeniu porów otwartych. Konieczne są dalsze badania w optymalizacji powyższej metody celem dostosowania na konkretne aplikacje.



RYS. 2. Kształtki ze stopu AZ91 zatopione w tworzywie otwarcie porowatym ze stopu AZ 91.
FIG. 2. AZ91 shapes founded in open pore AZ91.



RYS. 3. Usytuowanie kształtek w formie z wypełniaczem ceramicznym.
FIG. 3. Shape location in the mould with ceramic filling.

alloy groundmass the ceramic filling has been removed in chemical rinsing [7]. This way, a monophase magnesium structure has been obtained. The obtained structures have been examined with radiological methods in a uCT Scanco Medical device (FIG.1c)

For more accurate control, selected cylinders were examined with the scanning Jeol microscope. The examination took place before and after the chemical rinsing.

In order to obtain a homogenous material, and thus linking the solid metal with open pore structure, salt moulds filled with ceramic filling were made. These were specially shaped in order to gather the solid material (FIG.3).

In the further stage of research, different shapes were prepared in a heated mould with ceramic filling, in order to remove the magnesium oxide layer

Results

As it is shown in FIG. 5, the casting process revealed that it is possible to obtain a monophase hybrid structure with this method. It is also possible to obtain structures of gradient distribution of the open pores. In order to adjust the method described above for particular applications, further research is necessary to be carried out.

The quality of the magnesium alloy casting with ceramic filling has been examined with the use of Computer Aided Micro-Tomography (CAμT). As it is shown in FIG. 5 (with filling) and 8 (without filling), the CAμT allows precise determination of the ceramic filling content in the magnesium sponge. Lack of qualitative examinations in this stage of manufacturing may cause the product to be useless during resorption time research. Ceramic NaCl filling in water solution causes formation of local corrosion centres, which disqualify the material as a filling of bone losses.

Discussion

The quality of the hybrid material has been derived from the state of the solid material - open pore structure connection. It seems that the greatest problem is proper sealing of the mould and properly chosen point of vacuum infiltration

W metodzie drugiej dokonywano badań metodą mikro-tomografii komputerowej stanu odlewu stopu magnezu z wypełniaczem ceramicznym, oraz po jego usunięciu chemicznie ze stopu. Jak wykazują RYS.5 odpowiednio z wypełnieniem i bez, charakterystyka w mikro-CT pozwala na dokładne określenie zawartości wypełniacza ceramicznego w gąbce magnezowej. Brak badań jakościowych na tym etapie procesu wytwarzania może okazać bezużyteczność produktu w czasie badań czasu resorpcji. Wypełnienie ceramiczne NaCl w roztworze H₂O prowadzi do lokalnych ognisk korozyjnych dyskwalifikujących omawiany materiał jako wypełnienie ubytków kostnych.

Dyskusja

Jakość wytworzonego materiału hybrydowego określono na podstawie stanu połączenia materiału litego ze strukturą otwarto porowatą. Wydaje się, iż największy problem wiąże się w procesie jednoczesnego wytworzenia materiału hybrydowego z odpowiednim uszczelnieniem formy i odpowiednio dobranym miejscem infiltracji podciśnieniem formy. W procesie odlewniczego zalewania kształtek magnezowych tym samym stopem w formie wypełnionej ceramicznym wypełniaczem trudności przysparza odpowiednie pozbycie się warstwy powierzchniowej tlenku magnezu na kształtkach mimo odpowiedniego przygotowania poprzez mechaniczne ściągnięcie warstwy tlenku.

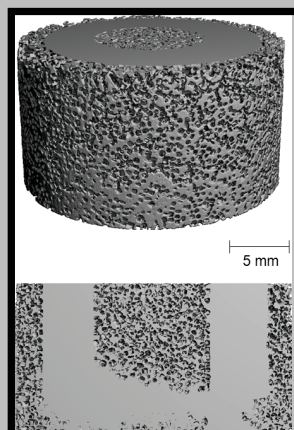
Rozwiązaniem kwestii pierwszej wydaje się wykonanie odpowiednio szczelnej formy, co ukazują dalsze badania i ich wyniki. Natomiast w kwestii pokrywania tlenkiem wydaje się, iż wykonanie odlewu w atmosferze gazu ochronnego, przygotowanie kształtek magnezowych i utrzymywanie ich w odpowiedniej do procesu odlewniczego temperaturze, blokującej możliwości lokowania się tlenków magnezu poprzez stąpienie warstwy powierzchniowej jest odpowiednim rozwiązaniem, co ukazuje niniejsza praca.

Podziękowania

Autorzy dziękują za pomoc i wsparcie Niemieckiej Wspólnoty Naukowej.

Piśmiennictwo

- [1] Switzer EN.: Resorbierbares metallisches Osteosynthesematerial - Untersuchungen zum Resorptionsverhalten im Meerschweinchenmodell, Vet.Met.Diss., Hannover, 2005.
- [2] Schritt in die Zukunft - Medizintechnik gefordert durch das BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung., Bonn 2001.
- [3] Chłopek J., Bach Fr.-W., Kucharski R., Bormann D.: „Nowe implanty dla chirurgii kostnej z resorbowalnych metali i polimerów”, Proceed. of ITEM, Bytów, 2006.



RYS. 5. Badania kontroli jakościowej w micro-CT firmy Scanco medical.
FIG. 5. Quality control in the Scanco Medical CAμT.

of the mould in the process of simultaneous manufacturing of the hybrid material.

In the mould pouring process for the magnesium shapes with the same alloy in the mould with ceramic filling, it is a certain difficulty to dispose of the surface layer of magnesium oxide from the surface of the shapes, despite proper preparation by mechanical removal of the oxide layer

The first problem may be solved by manufacturing enough hermetic mould, which is revealed by further research. The problem of oxide layers, in turn, seems to be solved by manufacturing the cast in the protective gas atmosphere, preparing the magnesium shapes and maintaining them in appropriate for the casting process temperature, preventing the oxides from locating on the surface by melting the surface layer.

Acknowledgements

The authors wish to thank for help and support to the German Scientific Collectivity.

References

- [4] Bach Fr.-W., Kucharski R., Bormann D.: Proceed. ofXXII Conference of Orthopaedics of Polish Armee, Bydgoszcz, 2005.
- [5] Bach Fr.-W., Bormann D., Kucharski R., Wilk P.: Production nad Properties of Foamed Magnesium; Cellular Metals and Polymers, Eds. R.F.Springer, C.Korner, V.Altstadt, H.Munstedt, Prans.Tech.Publ., Zurich 2005, pp.77-80.
- [6] Bach Fr.-W., Bormann D., Kucharski R.: November Colloquium 2005.