

CHARAKTERYSTYKA SPIEKÓW POROWATYCH ZE STALI 316L NA PANEWKI ENDOPROTEZ STAWOW

MAŁGORZATA GRĄDZKA-DAHLKE, JAN R. DĄBROWSKI

WYDZIAŁ MECHANICZNY,
POLITECHNIKA BIAŁOSTOCKA W BIAŁYMSTOKU

[*Inżynieria Biomateriałów, 47-53,(2005),43-45*]

Wprowadzenie

Endoprotezy stawów biodrowych typu metal/metal są stosowane od dziesiątków lat. Jednak przypadki niepowodzeń oraz niebezpieczeństwo zużycia podczas współpracy elementów metalowych powodują konieczność dalszych poszukiwań w zakresie rozwoju nowych materiałów i analizy mechanizmów tarcia w sztucznych stawach [1,2]. Pojawiają się badania nad możliwością odtworzenia warunków pracy w naturalnych stawach z ich niskim współczynnikiem tarcia, funkcjonalnością i niezawodnością. Równoległe z rozwojem wiedzy biomedycznej na temat mikrostruktury chrząstki stawowej i właściwości cieczy synowialnej, ewoluował teoretyczny opis mechanizmów tarcia w naturalnych stawach: od zastosowania hydrodynamicznej teorii smarowania Reynoldsa, przez model elastohydrodynamicznego smarowania Jonesa i Higginsa do opisów, uwzględniających oddziaływanie chrząstki stawowej i cieczy synowialnej pod wpływem obciążenia (np. "weeping lubrication" lub "boosted lubrication") [3]. Były próby zastosowania tej wiedzy do uzyskania materiałów na panewki stawów, m.in. wytworzenia warstwy porowatej na powierzchni panewki polietylenowej i nasycenia jej sztuczną cieczą synowialną (SBF) [4]. W rezultacie uzyskano znaczne obniżenie oporów ruchu, jednak modyfikacja polietylenu powoduje zmianę geometrii sztucznego łożyska. Niezbyt wysokie właściwości mechaniczne PE, dodatkowo zmniejszone przez modyfikację, nie zapewniają trwałości takiego połączenia. Pojawiła się koncepcja opracowania łożyska samosmarnego na bazie stopów implantacyjnych nasączonego SBF [5]. Celem niniejszej pracy było otrzymanie materiałów porowatych na bazie stali 316L i ocena ich właściwości tarcio- wych.

Materiały i metodyka badań

Badano spieki porowate, otrzymane z proszków stali 316L (SANDVIK METNINOX STEEL LTD). Celem uzyskania dużej porowatości otwartej do przygotowania spieków użyto proszki o wielkości ziarn 125+250 μm . Próbkę do badań wykonano metodą metalurgii proszków. Proszek bazowy stali 316L poddano wyżarzaniu w temperaturze 950°C w czasie 2 godzin w próżni. Proces prasowania proszków przeprowadzono na jednoosiowej prasie hydraulicznej przy naciskach jednostkowych 200, 400 i 600 MPa. Wypraski spiekano w temperaturze 1150°C w czasie 1 godz. w próżni. Badano wpływ ciśnienia prasowania na strukturę, właściwości mechaniczne i tribologiczne otrzymanych materiałów porowatych. Porowatość całkowitą spieków określano metodą wagową, natomiast wielkość porowatości otwartej - przy pomocy piknometru gazowego Accu Pyc 1330. Ocenę właściwości wytrzymałościowych przeprowadzono podczas

THE CHARACTERISTICS OF POROUS SINTERED COMPACTS OF 316L STEEL FOR BEARINGS OF HIP JOINT ENDOPROSTHESES

43
.....

MAŁGORZATA GRĄDZKA-DAHLKE, JAN R. DĄBROWSKI

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING,
BIAŁYSTOK TECHNICAL UNIVERSITY

[*Engineering of Biomaterials, 47-53,(2005),43-45*]

Introduction

Metal-on-metal bearing systems for hip joint replacement have been used for decades. However, the failure cases and danger of wear during friction of elements made of the same metal have brought about the necessity of further researches in area of new materials as well as the analysis of friction mechanisms in artificial joints [1,2]. This has led to investigations as to reconstruct the working conditions in natural joints with their low friction coefficient, functionality and reliability. Apart from the development of biomedical knowledge of joint cartilage microstructure and synovial liquid properties there has evolved the theoretical description of friction mechanisms in natural joints: from Jones' and Higgins' model of elastohydrodynamic lubrication to specifications which have given consideration to the reactions between joint cartilage and synovial fluid (e.g. "weeping lubrication" lub "boosted lubrication") [3]. There were appeared ideas to apply this knowledge for materials and construction of artificial joints, e.g. by the modification of PE-bearing surface due to obtain a porous layer for saturating with simulated body fluid (SBF) [4]. As result there was got considerable lowering of resistance to motion. However, modification of PE causes change of geometry of artificial bearing. Poor mechanical properties of PE, additionally lowered by the modification, do not ensure durability of such joint.

In Białystok Technical University is developed a conception of self-lubricating friction pair for hip joint endoprostheses, made of implant alloys and saturated with SBF [5]. The subject of this work was to produce porous materials on the base of 316L steel and to investigate their tribological properties.

Materials and methods

The sintered compacts made of the 316 stainless steel powder (SANDVIK METNINOX STEEL LTD) have been investigated. Due to obtain the great value of open porosity there have been used powders with the particle size distribution of 125-250 μm . Materials were produced with the usage of powder metallurgy method. The powder was annealed in vacuum at the temperature of 950°C for 2 h before the process. After compaction at the pressure of 200, 400 and 600 MPa the specimens were sintered in vacuum at the temperature of 1150°C for 1 h.

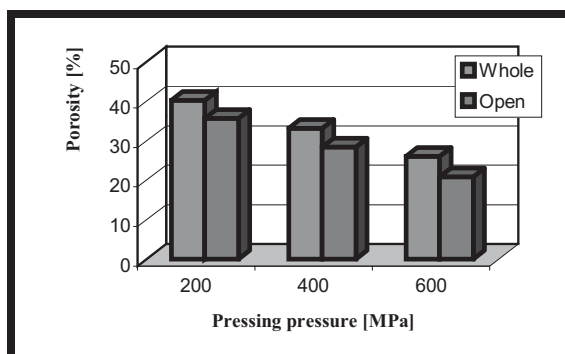
The influence of pressing pressure on the structure of acquired materials as well as their mechanical and tribological properties were researched. The whole porosity was described through the usage of weight method while the value of open porosity - by the gas pycnometer Accu Pyc 1330. The yield strength was determined in static compressing

próby ściskania statycznego na maszynie wytrzymałościowej INSTRON 8502.

Badania tribologiczne wykonano na symulatorze tarcia stawu biodrowego w Katedrze Materiałoznawstwa Politechniki Białostockiej. Umożliwia on odwzorowanie dynamiki obciążeń, jakim poddawane są materiały w elementach trących sztucznych stawów (ruch cyklicznie zmienny z małymi prędkościami oraz zmienne naciski). Badano skojarzenie: pierścień-tarcza przy ruchu obrotowo-rewersyjnym. Częstotliwość ruchu wynosiła 1 Hz, maksymalna prędkość poślizgu - $v_{p\ max}=0,018$ m/s. Obciążenie zadawane było w sposób sinusoidalny. Maksymalna wartość nacisków jednostkowych $p=8$ MPa. Przeprowadzono badania w środowisku 2% roztworu karboksymetylocelulozy (KCM) w temperaturze pokojowej. Próbki porowate przed badaniami tarciovymi były nasączone cieczą roboczą w suszarce próżniowej. Czas trwania pojedynczego pomiaru wynosił 240min.

Wyniki badań i dyskusja

Wyniki badań wskazują na zdecydowany wpływ ciśnienia prasowania na porowatość i właściwości wytrzymałościowe otrzymanych spieków (RYS.1 i 2). Przy porowatości całkowitej w przedziale 26-41% udział porów zamkniętych, nieistotnych z punktu widzenia warunków smarowania, wynosi ok. 3-7%.



RYS. 1. Wpływ ciśnienia prasowania na porowatość spieków.

FIG. 1. The influence of pressing pressure on porosity of sintered metal.

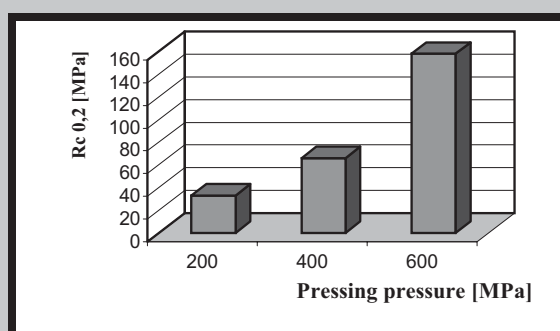
Na RYS.3 przedstawiono wyniki porównawczych badań tarciovych. Jak widać, tarcie w przypadku stali litej miało niestabilny charakter. Natomiast zastosowanie materiałów porowatych na jeden z elementów pary trącej spowodowało stabilizację procesu i obniżenie oporów ruchu, co świadczy o korzystnym wpływie porowatości na warunki smarowania w układzie tarciovym. W rezultacie uzyskano znaczne zmniejszenie wielkości zużycia materiałów, mierzzonego na tribometrze przez zmianę szczeliny roboczej od 0,51 mm dla stali litej do 0,012 mm w przypadku materiałów porowatych (RYS.4).

Mikroskopowa analiza śladów tarcia badanych próbek potwierdza różny mechanizm tarcia i zużycia w przypadku litej stali 316L oraz materiałów porowatych. Na RYS.5 a,b,c pokazano powierzchnie spieków o porowatości odpowiednio: 41, 33 i 26% po 4-godzinny cykl badań tarciovych. Pomiędzy odkształconymi i startymi ziarnami widoczne są pory, co świadczy, że ciecz smarowa mogła wydostawać się z porów materiału do szczeliny roboczej. Można zauważyć, że powierzchnia kontaktu w przypadku spieku o naj-

tests in an universal testing machine INSTRON 8502. The tribological tests were performed with a simulator of hip joint. The simulator imitates load dynamics in real joint. A reciprocating ring-on-disc system was used with a frequency of 1Hz. The rings were loaded along their axis (maximum contact pressure $p_{max}=8$ MPa). Friction force was measured. To describe extreme resistances to motion friction coefficients were calculated from maximum value of friction force. Tribological tests were carried on in lubricant conditions (2% water solution of carboxymethylcellulose). The porous specimens have been saturated with the lubricant in the vacuum drying chamber.

Results and discussion

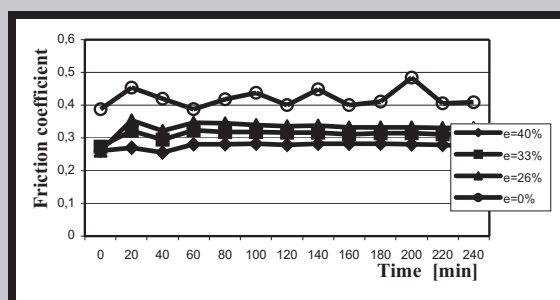
The research results have shown the emphatic influence of pressing pressure on porosity as well as mechanical properties of sintered compacts (FIG.1,2). The value of closed porosity was insignificant (about 3-7%).



RYS. 2. Wpływ ciśnienia prasowania na wartość granicy plastyczności materiałów porowatych.

FIG. 2. The influence of pressing pressure on yield strength $Re_{0.2}$ results of porous materials.

The results of comparative tribological tests have been pre-

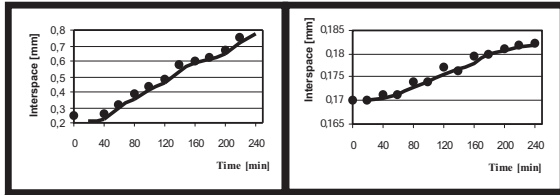


RYS. 3. Wpływ porowatości spieku na wartości współczynników tarcia.

FIG. 3. The influence of porosity of sintered material on friction coefficient.

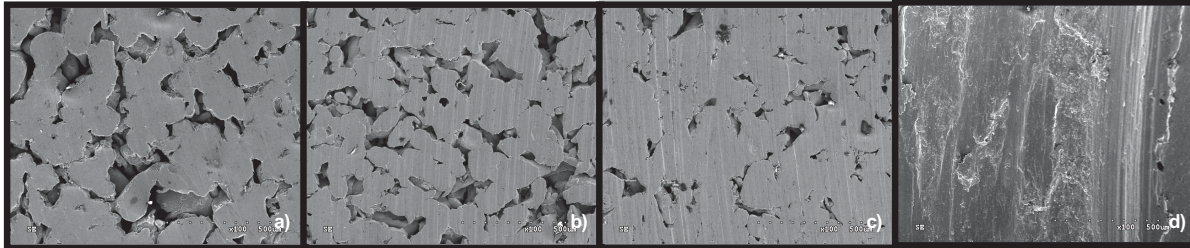
sented on the FIG.3. In the case of nonporous steel the friction process was unsteady. However, the usage of porous material for one of elements of friction pair have stabilized the process and have decreased friction coefficient. It might be explained by the favourable influence of porosity on lubricant conditions in tribological system.

Microscopic analysis of friction tracks has confirmed different mechanism of friction and wear in case of porous and nonporous materials. On the FIG.5 a,b,c it has been shown



RYS. 4. Zmiany szczeliny roboczej w układzie tarcia wskutek zużycia: a) próbka - lita stal 316L, b) próbka - spiek porowaty ($e=33\%$).

FIG. 4. The changes of working interspace in tribological system through wear: a) sample - nonporous steel 316L, b) sample - porous steel 316 ($e=33\%$).



większej porowatości (RYS.5a) jest dosyć gładka. Potwierdza to dobre warunki smarowania podczas tarcia tej próbki. Natomiast na próbkach o mniejszej porowatości widoczne są ukierunkowane rysy, świadczące o udziale ściernego mechanizmu zużycia - wzrastającym wraz ze wzrostem gęstości materiału (RYS.5b,c). Mogą być spowodowane ściernym oddziaływaniem produktów zużycia, znajdujących się w strefie kontaktu. W przypadku próbki nieporowatej mechanizm zużycia był zupełnie inny. Na rysunku 5d widać, że dominowało zużycie adhezyjne, charakterystyczne w przypadku współpracy elementów wykonanych z tego samego materiału, szczególnie w warunkach dużych nacisków jednostkowych i małych prędkości ślizgania.

Wnioski

Metalurgia proszków oferuje interesujące rozwiązania technologiczne w zakresie otrzymywania nowych materiałów implantacyjnych. Wyniki badań pokazują, że zastosowanie materiału porowatego zmienia całkowicie mechanizm tarcia i zużycia w modelowym połączeniu, powodując zmniejszenie oporów ruchu i zużycie materiałów.

Porównanie wyników badań wytrzymałościowych i tribologicznych wskazuje na celowość stosowania materiałów z gradientem porowatości dla zapewnienia wymogów biofunkcjonalności.

Podziękowania

Praca finansowana w ramach projektu KBN nr 3 T08D 050 26. Autorzy pragną wyrazić wdzięczność studentowi Wydziału Mechanicznego Politechniki Białostockiej, panu Wojciechowi Sawickiemu za udział w realizacji badań.

Piśmiennictwo

- [1] Hall R.M., Unsworth A.: Friction in hip prostheses. Review. Biomaterials 18 (1997).
- [2] Wimmer M.A., Loos J., Nassutt R., Heitkemper M., Fischer A.: The acting wear mechanisms on metal-on-metal hip joint bearings: in vitro results. Wear 250 (2001), 129-139.
- [3] Ryniewicz A. M.: Analiza mechanizmu smarowania stawu biodrowego człowieka Wydawnictwa Kraków, AGH 2002.

topography of surfaces of investigated materials with porosity as follows 41, 33 and 26 after 4-hours long tribological tests. Between deformed and worn steel grains there were visible pores what has shown that lubricating liquid had been able to move from pores to the working interspace (FIG.5a). It could be noticed that contact surface, in case of the biggest porosity, is quite smooth. It has confirmed good lubricating conditions during friction of this specimen. However, on sintered compacts with smaller porosity there have been visible directed scratches showing abrasive mechanism of wear (FIG.5b,c). In case of nonporous specimen wear mechanism was quite different. On FIG.5d it has been shown adhesive wear, specific in contact of elements made of the same material, especially in conditions of high pressure values and low sliding speed.

RYS. 5. Mikroskopowy obraz śladów tarcia badanych próbek (SEM, 200x): a) spiek o porowatości 41%, b) spiek o porowatości 33%, c) spiek o porowatości 26%, d) lita stal 316L.

FIG. 5. SEM image of surface of porous specimens after tribological tests (200x): a) 41% porosity, b) 33% porosity, c) 26% porosity, d) nonporous sample.

Conclusion

Powder metallurgy offers interesting technological solutions in the range of new implant materials acquiring. On the ground of obtained results it can be declared that the using of porous material has quite changed the friction and wear mechanism in the model system and caused decrease of resistance to motion and wear loss.

Comparison of mechanical and tribological investigations has indicated the sense of purpose to use materials with the porosity gradient due to compliance with biofunctionality demands.

Acknowledgements

The work was supported by the Minister of Science and Information Society Technologies No PBZ-082/T08/2002. Authors wish to express appreciation to Wojciech Sawicki, a student of the Białystok Technical University for his participation in researches.

References

- [4] Grądzka-Dahlke M., Dąbrowski J.R.: The forming of tribological properties of materials for endoprotheses. 20th Danubia-Adria Symposium on Experimental methods in solid mechanics: Scientific Society of Mechanical Engineering, Budapest, 2003, 116-117.0.