

**Stanisław LABER\***

**OCENA WŁAŚCIWOŚCI TRIBOLOGICZNYCH  
WYBRANYCH SPIEKÓW POROWATYCH  
WYPEŁNIONYCH DODATKIEM EKSPLOATACYJNYM  
O DZIAŁANIU CHEMICZNYM**

**EVALUATION OF TRIBOLOGICAL PROPERTIES  
OF SELECTED FILLED WITH CHEMICALLY  
ACTING ADDITIVES**

**Słowa kluczowe:**

spiek porowaty, dodatek eksploatacyjny, właściwości tribologiczne

**Key words:**

porous sinter, additive, tribological properties

**Streszczenie**

W artykule przedstawiono wpływ rodzaju spieku porowatego na właściwości tribologiczne, tj. siły tarcia, zużycia, temperatury obszaru tarcia. Do badań przyjęto następujące skojarzenia: spiek porowaty FeGr<sub>1,2</sub>Cu<sub>3</sub>/stal 210Cr<sub>12</sub>, spiek porowaty FeGr<sub>1,2</sub>Cu<sub>3</sub>S<sub>0,8</sub>/stal 210Cr<sub>12</sub> oraz spiek porowaty FeGr<sub>1,2</sub>Cu<sub>3</sub>Sn<sub>5</sub>/ stal 210Cr<sub>12</sub>. Badania właściwości tribolo-

---

\* Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny, ul. Prof. Z. Szafrana 4, 65-246 Zielona Góra.

gicznych przeprowadzono za pomocą testera T-05 przy zmiennym skokowo obciążeniu wężła tarcia. Przed badaniami tribologicznymi spieki zostały wypełnione dodatkiem eksploatacyjnym o działaniu chemicznym.

## WPROWADZENIE

W praktyce spotyka się dwa rodzaje spieków porowatych: żelazne i brązowe. W skład spieków żelazowych wchodzi najczęściej dodatki stopowe: węgla, miedzi, niklu, cyny, ołowiu, molibdenu, fosforu i siarki. Węgiel wprowadza się w postaci grafitu. Pierwiastek ten jest podstawowym dodatkiem stopowym w spiekach żelaza mającym wpływ na ich własności mechaniczne i technologiczne. Miedź jest najczęściej występującym dodatkiem stopowym w spiekach żelaza, który ma wpływ na obniżenie temperatury spiekania, możliwości spiekania w obecności fazy ciekłej, kompensacji skurczu w wyniku zwiększenia się rozmiarów spieku wywołanego utworzeniem roztworu stałego FeCu. Czynniki te decydują o właściwościach spieków żelaza z miedzią. Siarka dodana do spieku zwiększa jej ciągliwość wskutek intensywnej koagulacji porów [L. 7]. Spieki porowate żelazne lub brązowe nasycone olejem mają zastosowanie na samosmarowne łożyska ślizgowe. Olej zawarty w porach spieku wydziela się podczas pracy łożyska wskutek różnicy rozszerzalności cieplnej metalowej matrycy i oleju smarującego łożysko [L. 8]. W artykule [L. 9] przedstawiono wpływ środka smarowego stałego wprowadzonego do porów spieków brąz-grafit, żelazo-grafit, żelazo-nikiel na współczynnik tarcia. Badania wykazały, że wprowadzenie do porów badanych spieków drobnych cząstek smarów stałych spowodowało obniżenie współczynnika tarcia i możliwość przenoszenia większych obciążeń wężłów tarcia w odniesieniu do spieków nasączanych wodorem 2H. W artykule [L. 10] przedstawiono wpływ wielkości promienia porów od 50 do 3000 nm oraz struktury porów na własności powierzchni sześciu badanych materiałów porowatych. Wielkość porów wpływa na transport środka smarującego i na własności powierzchni materiału porowatego.

Wiele prac badawczych dotyczy wielkości porów i ich rozmieszczenia [L. 10, 11].

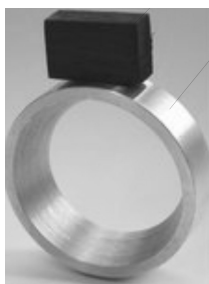
Z badań [L. 11] wynika, że przy niższej gęstości spieku porowatego pory są większe i bardziej skupione, a własności mechaniczne spieków zależą od ich gęstości.

Materiały porowate znalazły zastosowanie również w biotechnologii. W ostatnich latach dużym zainteresowaniem cieszą się metaliczne materiały porowate do zastosowań biomedycznych [L. 12, 13].

## EKSPERYMENT

### Metoda eksperymentu

Wyznaczenie właściwości tribologicznych dla spieków porowatych przyjętych do badań: siły tarcia, zużycia węzła tarcia, temperatury obszaru tarcia, przeprowadzono za pomocą testera T- 05. Węzeł tarcia obciążano skokowo 300 N, 600 N, 900 N zmieniając obciążenie co 1800 sekund przy stałej prędkości obrotowej 180 obr./ min.



**Rys. 1. Węzeł tarcia eksperymentu**

Fig. 1. Friction pair of the experiment

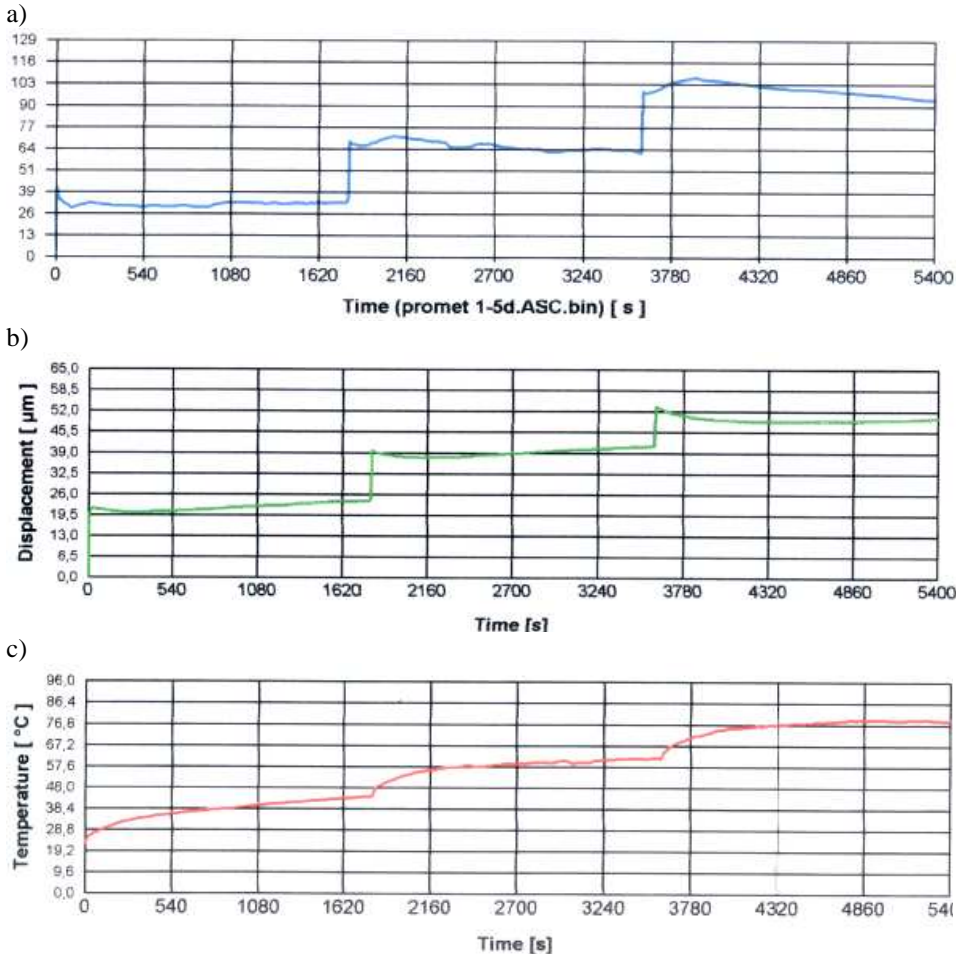
### Próbka, przeciwpróbka, środek smarowy

Do badań przyjęto trzy rodzaje spieków porowatych (próbki-klocki): spiek  $\text{FeGr}_{1,2}\text{Cu}_3$  o gęstości  $6,5 \text{ g/cm}^3$  i chropowatości powierzchni  $R_a = 0,258 \text{ }\mu\text{m}$ , spiek  $\text{FeGr}_{1,2}\text{Cu}_3\text{Sn}_5$  o gęstości  $6,85 \text{ g/cm}^3$  i chropowatości powierzchni  $R_a = 0,211 \text{ }\mu\text{m}$  oraz spiek  $\text{FeGr}_{1,2}\text{Cu}_3\text{S}_{0,8}$  o gęstości  $6,25 \text{ g/cm}^3$  i chropowatości powierzchni  $R_a = 0,276 \text{ }\mu\text{m}$ . Wyżej wymienione spieki porowate były spiekane w temperaturze  $1120^\circ\text{C}$  w czasie 1800 s. Przeciwpróbka (rolka) ze stali 210Cr12 miała chropowatość powierzchni  $R_a = 0,119 \text{ }\mu\text{m}$  i twardość według Rockwella C 60 HRC. Badania przeprowadzono w obecności oleju SN150 (lepkość kinematyczna  $25\text{--}35 \text{ mm}^2/\text{s}$  w  $40^\circ\text{C}$ , wskaźnik lepkości 95). Na **Rysunku 1** przedstawiono węzeł tarcia eksperymentu. Przed procesem tribologicznym do spieków porowatych został wprowadzony w temperaturze  $100^\circ\text{C}$  w czasie jednej godziny dodatek eksploatacyjny o działaniu chemicznym. Dodatek ten składa się ze związków alkilofenolowych, siarczków organicznych, kwasów alkenobursztynowych, siarkowanych kwasów tłuszczowych, mieszaniny syntetycznych estrów polioliowych pochodzących z alkoholi wielowodorotlenowych i inhibitorów utlenienia (lepkość  $5,63 \text{ mm}^2/\text{s}$  w  $100^\circ\text{C}$ ).

## WYNIKI BADAŃ

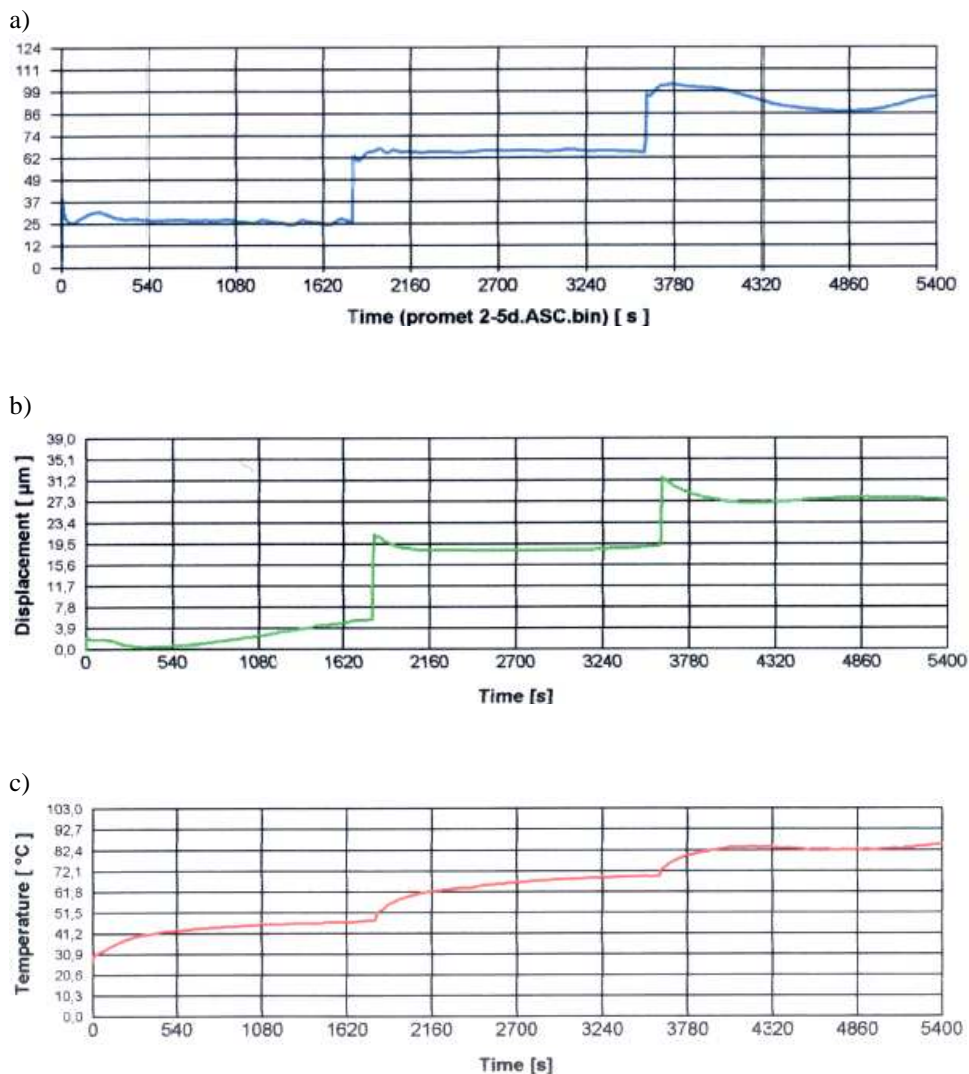
### Wyniki badań tribologicznych

Na **Rys. 2, 3, 4** przedstawiono wyniki badań właściwości tribologicznych dla węzłów tarcia spiek FeGr<sub>1,2</sub>Cu<sub>3</sub>/ stal 210Cr12, FeGr<sub>1,2</sub>Cu<sub>3</sub>Sn<sub>0,8</sub>/ stal 210Cr12, FeGr<sub>1,2</sub>Cu<sub>3</sub>Sn<sub>5</sub>/ stal 210Cr12.



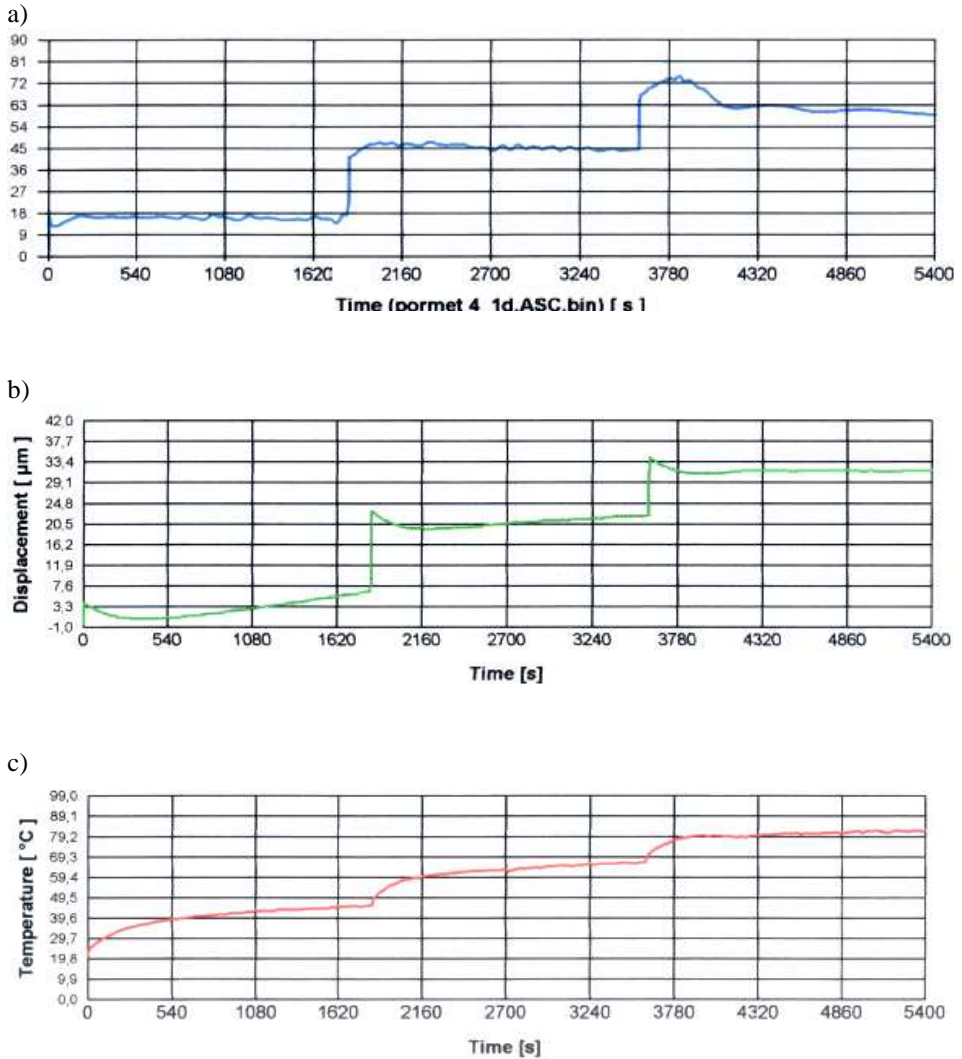
**Rys. 2.** Właściwości tribologiczne węzła tarcia spiek FeGr<sub>1,2</sub>Cu<sub>3</sub>/ stal 210Cr12 obciążonego narastającymi siłami  $P = 300\text{ N}$ ,  $600\text{ N}$ ,  $900\text{ N}$  smarowanego olejem SN150: a) siła tarcia, b) zużycie węzła tarcia, c) temperatura węzła tarcia

Fig. 2. Tribological properties of the FeGr<sub>1,2</sub>Cu<sub>3</sub>/ 210Cr12 steel friction pair loaded with increasing forces  $P = 300\text{ N}$ ,  $600\text{ N}$ ,  $900\text{ N}$  and lubricated with SN150 oil: a) friction force, b) wear of friction pair, c) temperature of friction pair



**Rys. 3. Właściwości tribologiczne węzła tarcia spiek FeGr<sub>1,2</sub>Cu<sub>3</sub>S<sub>0,8</sub>/ stal 210Cr<sub>12</sub> obciążonego narastającymi siłami  $P = 300\text{ N}$ ,  $600\text{ N}$ ,  $900\text{ N}$  smarowanego olejem SN150: a) siła tarcia, b) zużycie węzła tarcia, c) temperatura węzła tarcia**

Fig. 3. Tribological properties of the FeGr<sub>1,2</sub>Cu<sub>3</sub>S<sub>0,8</sub>/ 210Cr<sub>12</sub> steel friction pair loaded with increasing forces  $P = 300\text{ N}$ ,  $600\text{ N}$ ,  $900\text{ N}$  and lubricated with SN150 oil: a) friction force, b) wear of friction pair, c) temperature of friction pair



**Rys. 4.** Właściwości tribologiczne węzła tarcia spiek FeGr<sub>1,2</sub>Cu<sub>3</sub>/ stal 210Cr12 obciążonego narastającymi siłami P = 300 N, 600 N, 900 N smarowanego olejem SN150: a) siła tarcia, b) zużycie węzła tarcia, c) temperatura węzła tarcia

Fig. 4. Tribological properties of the FeGr<sub>1,2</sub>Cu<sub>3</sub>/ 210Cr12 steel friction pair loaded with increasing forces P = 300 N, 600 N, 900 N and lubricated with SN150 oil: a) friction force, b) wear of friction pair, c) temperature of friction pair

## PODSUMOWANIE

Analizując wyniki badań tribologicznych, stwierdzono, że istnieje zależność między rodzajem spieku a właściwościami tribologicznymi. Najmniejsze zużycie węzła tarcia uzyskano dla spieku zawierającego w swoim składzie siarkę. Siarka zwiększa ciągliwość spieku wskutek intensywnej koagulacji porów oraz obniża wartość zużycia. Największe zużycie uzyskano dla spieku zawierającego miedź. Największą siłę tarcia uzyskano dla spieku zawierającego w swoim składzie miedź, a najmniejszą dla spieku zawierającego cynę. Nie stwierdzono jednoczesnej poprawy wszystkich właściwości tribologicznych dla badanych spieków. Niska siła tarcia wcale nie oznaczała, że pozostałe badane właściwości tribologiczne przyjmą również najniższe wartości. Temperatura obszaru tarcia była najniższa dla spieku zawierającego miedź, miedź ma największą wartość przewodnictwa cieplnego w porównaniu z innymi pierwiastkami wprowadzonymi do spieków, co świadczy o dobrym odprowadzaniu ciepła. Najwyższą temperaturę uzyskano dla spieku zawierającego cynę. Analizując uzyskane wyniki badań, stwierdzono, że rodzaj spieku ma wpływ na właściwości tribologiczne węzła tarcia.

## KONKLUZJA

1. Właściwości tribologiczne spieków zależą od jego składu chemicznego.
2. Dla spieku zawierającego cynę przy wzroście obciążenia powyżej 600 N zaobserwowano przy końcu próby wzrost siły tarcia. Dla pozostałych spieków było jej obniżenie
3. Spiek  $\text{FeGr}_{1,2}\text{Cu}_3$  i  $\text{FeGr}_{1,2}\text{Cu}_3\text{S}_{0,8}$  mogą mieć zastosowanie do większych obciążeń węzła tarcia.
4. Należy przeprowadzić badania właściwości tribologicznych przed wprowadzeniem do nich środka smarowego.

## LITERATURA

1. Evans D.C., Senior G.S.: Self-lubricating materials for plain bearings, tribology International, No 5, pp. 243–248.
2. MPIF Standard 35, Material standards for PIM self-lubricating Bearings, 1998 Edition.
3. Olexa J.: Investigation of the relations between the permeability and the service life of porous self-lubricated bearings, Wear, No 58, 1980, pp. 1–14.

4. Czichos H., Klaffke D., Sautner E., Woydt M., Advances in tribology: the materials point of view, *Wear* 190(1995), pp. 155–161.
5. Subramanian C., Strafford K.N.: Review of multicomponent and multilayer coatings for tribological applications, *Wear* 196(1993), 85–95.
6. Bnusz B., Gupta B.K.: *Handbook of tribology*, Krieger Publishing Company, Florida 1997.
7. Nowacki J.: *Spiekane metale i kompozyty z osnową metaliczną*, WNT, Warszawa 2005.
8. Lawrowski Z.: Tendencje rozwojowe ślizgowych łożysk bezobsługowych, *Tribologia* 4/1999, s. 521–533.
9. Rapoport L., Leshchinsky V., Lovovsky M., Lapskev J., Volowik Yu., Feldman Y., Popovitz-Biro R., Tenn R.: Superior tribological properties of powder materials with solid lubricant nanoparticles. *Wear* Volume 225, Issues 7–12, August–September 2003, Pages 794–800 14<sup>th</sup> International Conference on Wear of Materials.
10. Hejtmanek V., Schneider P., Soukup K., Solcova O.: Comparison of transport characteristics and textural properties of porous material; the role of pore size and their distributions, *Studies in Surface Science and Catalysis* Volume 160, 2007, p. 217–224.
11. Bris J., Benítez F., Mateo A., Calero J., Anglada M., Llanes L.: Fracture toughness of high-density sintered steels, *Anales de Mecánica de la Fractura* Vol. II (2006).
12. Chawla N., Deng X.: Microstructure and mechanical behaviour of porous sintered steels. *Materials Science and Engineering* 2005, A 390: 98–112.
13. Ryan G., Pandit A., Apatsidid D.P. Fabrication methods of porous metals for use in orthopaedic applications. *Biomaterials* 2006, 27: 2651–2670.

**Recenzent:**  
**Ryszard MARCZAK**

## Summary

**The article discusses the influence of the type of porous sinters on tribological properties, which are the friction, wear, and temperature of the friction area. The following porous sinters were selected for the study: FeGr1, 2Cu3/210Cr12 steel, FeGr1, 2Cu3S0, 8/210Cr12 steel, and FeGr1, 2Cu3Sn5 / 210Cr12 steel. The study of tribological properties was performed using a T-05 tester and the load of the friction pair changed by steps. Prior to the tribological tests, the sinters were filled with a chemically acting additive.**