

Volf LESHCHYNSKY*, **Hanna WIŚNIEWSKA-WEINERT***,
Tomasz WIŚNIEWSKI*, **Tomasz RYBAK***

BADANIE WŁAŚCIWOŚCI TRIBOLOGICZNYCH WARSTW WIERZCHNICH MODYFIKOWANYCH NANOFAZOWYMI MATERIAŁAMI PROSZKOWYMI

TRIBOLOGICAL PROPERTY EXAMINATION OF SURFACE LAYERS MODIFIED BY NANPOWDER MATERIALS

Słowa kluczowe:

modyfikacja warstwy wierzchniej, tuleja samosmarująca, węzeł tarcia „ring-on-shaft”, nano- i mikrocząstki smarów stałych

Key-words:

surface layer modification, self-lubricating slide bearing, ring-on-shaft test rig, solid lubricant nano- and microparticles

Streszczenie

Rozwój technologii wytwarzania zarówno warstw, jak i litych materiałów o strukturze nanokrystalicznej spowodował uzyskanie nowych materiałów, o szerokich możliwościach aplikacyjnych. Zastosowanie niekonwencjonalnych metod wytwarzania nanomateriałów pozwala uzyskać materiały

* Instytut Obróbki Plastycznej, ul. Jana Pawła II 14, 61-139 Poznań, tel.: 0-616570555 wew. 204, e-mail: inop@inop.poznan.pl

o składzie fazowym nieosiągalnym metodami tradycyjnymi. Okazuje się, że zmniejszając wymiary ziaren znanych materiałów, można uzyskać materiał o lepszych właściwościach fizykochemicznych, mechanicznych itp.

W Instytucie Obróbki Plastycznej przeprowadzono badania warstw wierzchnich stosowanych dla wybranych części konstrukcyjnych pracujących w trudnych warunkach eksploatacyjnych. W referacie omówione zostały metody wytwarzania mikro- i nanocząstek proszków dwusiarcz-ków oraz technologia nakładania warstw wierzchnich z nanofazowych materiałów proszkowych. Podane są wybrane wyniki badań tribologicznych omawianych części konstrukcyjnych.

WPROWADZENIE

W krajach wysoko uprzemysłowionych prowadzone są badania zmierzające do znalezienia nowych materiałów o podwyższonych własnościach tribologicznych, w tym odpornych na zużycie i zatarcia, szczególnie dla części pracujących w trudnych warunkach eksploatacyjnych. Współpracujące ze sobą części maszyn oraz elementów różnych urządzeń podlegają zużyciu, przyczyną którego jest przede wszystkim tarcie. Naturalną konsekwencją procesów tarcia jest zniszczenie struktury warstwy wierzchniej oraz ubytek masy. Powoduje to zmiany geometrii oraz właściwości eksploatowanych elementów. Niekorzystnych zjawisk wynikających z mechanicznej współpracy powierzchni podlegających tarcu nie można całkowicie uniknąć. Można je jednak znacznie zredukować poprzez właściwy dobór materiału warstwy wierzchniej oraz przez odpowiednie przygotowanie samej powierzchni. Powoduje to zainteresowanie wielu ośrodków naukowych prowadzeniem badań nad opracowaniem nowych sposobów formowania warstwy wierzchniej, która modyfikuje właściwości tribologiczne elementów współpracujących [L. 1].

METODYKA BADAŃ WŁAŚCIWOŚCI TRIBOLOGICZNYCH WARSTW WIERZCHNICH MODYFIKOWANYCH NANOFAZOWYMI MATERIAŁAMI PROSZKOWYMI

Wytwarzanie nano- i mikrocząstek

Nano- i mikrocząstki proszków metali otrzymano poprzez powierzchniową obróbkę plastyczną metodą wywierania nacisku na powierzchnię obrabianego materiału narzędziem o gładkiej powierzchni.

Techniki modyfikacji warstwy wierzchniej

W przeprowadzonych w Instytucie Obróbki Plastycznej badaniach stosowano dwa rodzaje modyfikacji powierzchni mikro- i nanocząsteczkami MoS₂ i WS₂: poprzez modyfikację próżniową oraz modyfikację ciśnieniową. Parametry procesu technologicznego i mieszanek zastosowanych do modyfikacji warstw wierzchnich z nanofazowych materiałów proszkowych są obecnie przedmiotem opracowania patentowego.

W procesie modyfikacji próżniowej wprowadzanie mikro- i nanocząstek smarów stałych odbywa się poprzez zastosowanie próżni w komorze modyfikacyjnej. Mieszanka smaru stałego i medium (nośnika) w wytworzonej próżni wypełnia porowatości materiału proszkowego. Po zakończeniu procesu modyfikowane mieszanką smaru stałego detale poddawane są suszeniu w celu usunięcia nośnika z porów materiału.

W procesie modyfikacji ciśnieniowej technika wprowadzania smarów stałych jest inna niż w procesie modyfikacji próżniowej. Wysokie ciśnienie w komorze ciśnieniowej wytwarzane poprzez nacisk prasy na stempel powoduje wciskanie mieszanki smaru stałego wraz z nośnikiem w pory materiału proszkowego. Modyfikowany detal działa jak swoistego rodzaju filtr, zatrzymując cząstki smaru na powierzchni wewnętrznej oraz w porach nasycanego materiału [L. 2].

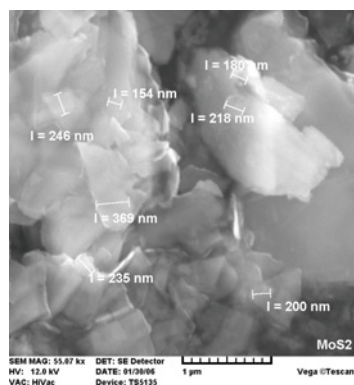
Na podstawie dotychczasowych wyników badań opracowano dwa warianty procesu technologicznego wytwarzania samosmarnych tulei łożyskowych. W pierwszym wariantcie po procesie modyfikacji otrzymuje się powłoki jednowarstwowe. W drugim wariantcie próbka w wyniku azotowania jarzeniowego otrzymuje powłokę kompozytową.

Badania tarciovo-zużyciowe warstw wierzchnich

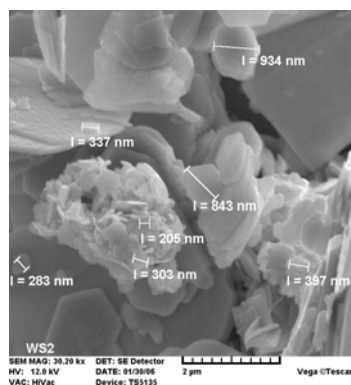
Przeprowadzono badania tarciovo-zużyciowe wytworzonych warstw wierzchnich. Badania tarciovo-zużyciowe powłok prowadzono na tribometrze MBT-01, który pozwala na pomiar tarcia podczas testów typu: tuleja na wałku od temperatury otoczenia do 300°C. W trakcie testów wyznaczano temperaturę w węźle tarcia i współczynnik tarcia. Wykonano porównawcze badania tribologiczne powłok na bazie MoS₂ i WS₂ [L. 3].

WYNIKI BADAŃ

Badane proszki smarów stałych poddano analizie strukturalnej na skaningowym mikroskopie elektronowym. Na **Rys. 1** przedstawiono zdjęcie SEM proszku MoS₂, natomiast na **Rys. 2** proszku WS₂.



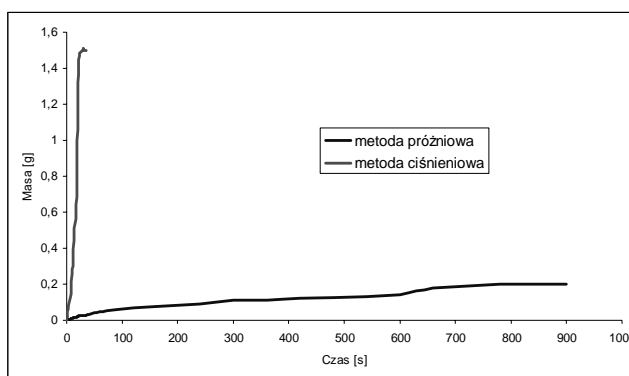
Rys. 1. Obraz SEM cząstek proszku MoS₂
Fig. 1. MoS₂ powder particles – SEM image



Rys. 2. Obraz SEM cząstek proszku WS₂
Fig. 2. WS₂ powder particles – SEM image

Z otrzymanych danych wynika, iż obydwa typy proszków mają charakter płytkowy. Dla proszku MoS₂ jeden z wymiarów mieści się w zakresie 150–350 nm, natomiast dla proszku WS₂ 200–900 nm. Ponadto wykonano dyfraktogramy rentgenowskie próbek proszkowych WS₂ i MoS₂. Pomiar wykonywano za pomocą dyfraktometru rentgenowskiego Kristalloflex-4 firmy Siemens z użyciem promieniowania K α_1 -Cu ($\lambda = 0.154051$ nm) [L. 4].

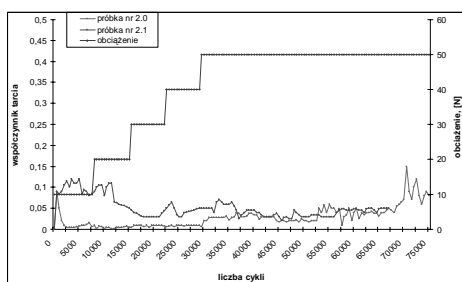
Analizując otrzymane dane, wywnioskować można, iż większa objętość nano- i mikrocząstek występuje w powstałej warstwie wierzchniej otrzymanej metodą technologii modyfikacji ciśnieniowej w porównaniu z modyfikacją próżniową. Analizę ilościową dwóch metod modyfikacji przedstawiono na **Rysunku 3**.



Rys. 3. Analiza ilościowa metod impregnacji: próżniowej i ciśnieniowej
Fig. 3. Quantitative analysis of modification methods: pressure and vacuum

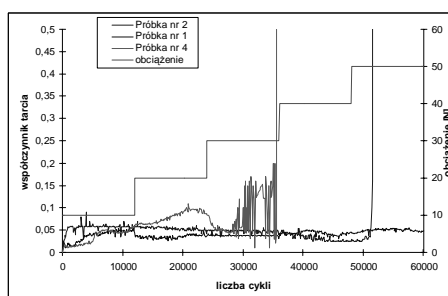
Zaobserwowano, iż wyższa prędkość wypełniania przestrzeni porowatej materiału zachodzi w przypadku modyfikacji ciśnieniowej. Po procesie suszenia zmodyfikowanych elementów stwierdzono, iż większa ilość cząstek smaru stałego pozostaje w porowatościach oraz na powierzchni próbek z zastosowaniem modyfikacji metodą ciśnieniową [L. 5].

Wyniki badań tribologicznych powłok zaprezentowano na **Rysunkach 4–9**.



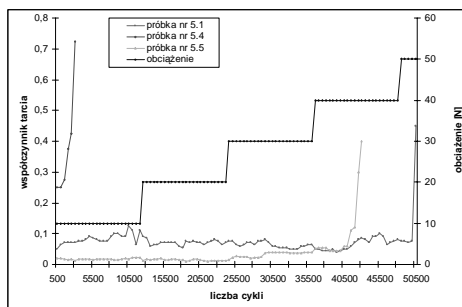
Rys. 4. Współczynnik tarcia dla próbek z powłoką jednowarstwową na bazie WS_2 w temp. $300^\circ C$ – modyfikacja ciśnieniowa

Fig. 4. Friction coefficient for samples with WS_2 based monolayer at $300^\circ C$ pressure modification



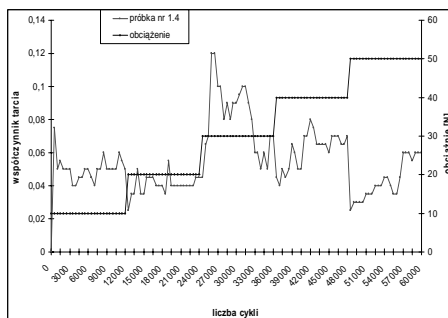
Rys. 5. Współczynnik tarcia dla próbek z powłoką jednowarstwową na bazie WS_2 – temp. $300^\circ C$ – modyfikacja próżniowa

Fig. 5. Friction coefficient for samples with WS_2 based monolayer at $300^\circ C$ – vacuum modification



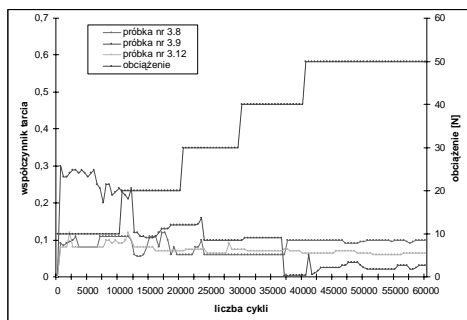
Rys. 6. Współczynnik tarcia dla próbek z powłoką jednowarstwową na bazie MoS_2 w temp. otoczenia – modyfikacja ciśnieniowa

Fig. 6. Friction coefficient for samples with MoS_2 based monolayer at ambient temperature – pressure modification



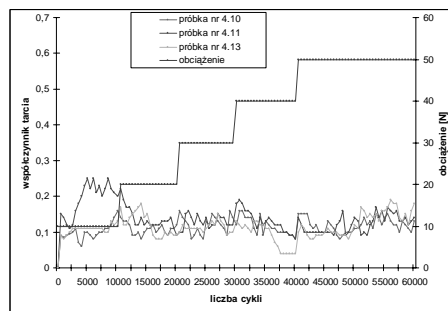
Rys. 7. Współczynnik tarcia dla próbek z powłoką jednowarstwową na bazie WS_2 w temp. otoczenia – modyfikacja ciśnieniowa

Fig. 7. Friction coefficient for samples with WS_2 based monolayer at ambient temperature – pressure modification



Rys. 8. Współczynnik tarcia dla próbek z powłoką kompozytową na bazie WS_2 w temp. otoczenia – modyfikacja ciśnieniowa

Fig. 8. Friction coefficient for samples with WS_2 based multilayer at ambient temperature – pressure modification



Rys. 9. Współczynnik tarcia dla próbek z powłoką kompozytową na bazie WS_2 w temp. 300°C – modyfikacja ciśnieniowa

Fig. 9. Friction coefficient for samples with WS_2 based monolayer at 300°C – pressure modification

Modyfikacja warstwy wierzchniej nano- i mikrocząstkami WS_2 daje lepsze wyniki (niższy współczynnik tarcia) w badaniach współczynnika tarcia w porównaniu z warstwami modyfikowanymi MoS_2 . W wyniku modyfikacji warstwy wierzchniej nano- i mikrocząstkami WS_2 techniką próżniową współczynnik tarcia w temperaturze 300°C wyniósł 0,05 do 60 tys. cykli. Technika ciśnieniowa pozwala na lepsze wypełnienie por w porównaniu z techniką próżniową. Współczynnik tarcia utrzymuje się poniżej 0,05 przez ponad 70 tys. cykli przy badaniach w 300°C oraz na poziomie 0,05 przy badaniach w temperaturze otoczenia. W podwyższonych temperaturach powłoka jednowarstwowa daje niższy współczynnik tarcia w porównaniu z powłoką kompozytową.

WNIOSKI

Technika impregnacji ciśnieniowej warstwy wierzchniej mikro- i nanocząstkami WS_2 zapewnia lepsze wypełnienie por w porównaniu do techniki impregnacji próżniowej, tworzy na powierzchni wewnętrznej tulei pożądaną warstwę smaru stałego zawierającą nano- i mikrocząstki WS_2 .

Wyniki badań tribologicznych wykazały niższy współczynnik tarcia i większą liczbę przepracowanych cykli do momentu zatarcia dla tulei z warstwą wierzchnią modyfikowaną MoS_2 , niż w przypadku modyfikacji warstwy wierzchniej za pomocą WS_2 .

Azotowanie powierzchni wydłuża okres docierania. Po okresie dotarcia współczynnik tarcia osiąga wartość 0,03.

Opracowana technologia wytwarzania części dokładnych pracujących w trudnych warunkach eksploatacyjnych z modyfikacją warstwy wierzchniej nano- i mikrocząstkami smarów stałych MoS₂, WS₂ zastosowana zostanie do wykonania próbnej partii tulei łożyskowych ślizgowych pracującej w układzie wentylacyjnym samolotu Airbus.

Technologia otrzymywania kompozytowych materiałów porowatych modyfikowanych nanocząstkami oraz technologia nanoszenia warstw jest obecnie przedmiotem opracowania patentowego.

LITERATURA

1. Głowacka M.: Powłoki i warstwy wierzchnie – wybrane zagadnienia, Politechnika Gdańska, Wydział Mechaniczny, Katedra Inżynierii Materiałowej, Skrypt.
2. Kotnarowski A.: Modyfikacja środków smarnych za pomocą nanocząstek metali, Tribologia, nr 2/2008 (218), s. 309–319.
3. Greenberg R., Halperin G., Etsion I., Tenne R.: The effect of WS₂ nanoparticles on friction reduction in various lubrication regimes, Tribology Letters, Vol. 17, No. 2, August 2004.
4. Leshchynsky V., Wiśniewska-Weinert H., Ignatiev M., Kozubowski J.A., Smalc-Koziorowska J.: Friction and wear with WS₂ nanoparticles under mixed and boundary lubrication., Obróbka Plast. Metali, 2008, XIX, 1.
5. Kędzia Ł., Wiśniewska-Weinert H., Ozwoniarek J.: Samosmarna tuleja łożyskowa z proszków spiekanych dla przemysłu lotniczego, Obróbka Plast. Metali, 2006, XVII, 1.

Recenzent:
Ryszard MARCZAK

Summary

Nanocrystalline layered and bulk materials manufacturing technology development allows to obtain new materials, interesting from the side of application abilities. Using of non-conventional methods allows obtaining materials with structure and properties unable to be

obtained by traditional methods. Reducing grain size of well-known materials allows achieving the superior physicochemical and mechanical properties.

This paper contains the results of surface layers examination for certain structural parts working in harsh conditions. Manufacturing of dichalcogenide micro and nanoparticles, and the technology of the nanoparticle surface layer modification are described. The results of tribological investigations of structural components are shown as well.