

BARRIER LAYERS IN MULTILAYER SLIDE BEARINGS OF THE COMBUSTION ENGINES

Stanisław Kowalczyk

*Military University of Technology
Faculty of Mechanical Engineering
Gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warsaw, Poland
tel.: +48 22 6839048, +48 22 6839449, fax: +48 22 6839449
e-mail: s.kowalczyk@wme.wat.edu.pl*

Abstract

This work presents the significant role of barrier layer (interlayer) used in multilayer bearing of combustion engines. It is known, that the slide bearing of high-load combustion engines independently from manufacturing technology, must have a barrier layer between overlay and bearing material layer with regard on diffusion process of the alloy components. The present state materials used on barrier layer in slide multilayer bearings of combustion engines did not change during the last 30-years – the same materials of barrier layer are generally used. Only small changes and modifications of interlayer used on multilayer bearings, with the use of the same groups of materials, independently from specific manufacturing technology of bearing and their used were observed. Nickel is commonly used on barrier layer in slide multilayer bearings. Explorers tried to use different materials on bearing barrier layer many times and they proposed to change its construction. Unfortunately they did not find acknowledgement of bearings manufacturers in this range. The change of bearings materials, growth of operating requirements of combustion engines, ecological limitation and the price of materials may force changes in present constructional and technological conception of barrier layer, in range of materials selection and building the bearings.

This work presents the results of research of barrier layer. It was found that barrier layer Ni-Cr is physically and thermally stable up to at 180°C.

Keywords: *combustion engines, multilayer bearing, barrier layer, material, research*

WARSTWY ZAPOROWE W WIELOWARSTWOWYCH ŁOŻYSKACH ŚLIZGOWYCH SILNIKÓW SPALINOWYCH

Streszczenie

W artykule przedstawiono rolę warstwy zaporowej stosowanej w łożysk wielowarstwowych silników spalinowych. Powszechnie wiadomo, że łożyska ślizgowe wysokoobciążonych silników spalinowych, niezależnie od technologii wytwarzania, muszą posiadać warstwę zaporową pomiędzy warstwą ślizgową a warstwą nośną, ze względu na występujący pomiędzy warstwami proces dyfuzji składowych stopów. Stan materiałów stosowanych na warstwę zaporową w wielowarstwowych łożyskach ślizgowych silników spalinowych nie uległ zasadniczej zmianie w czasie ostatnich trzydziestu lat – generalnie na warstwę zaporową stosuje się ten sam materiał. Można było obserwować niewielkie zmiany i modyfikacje warstwy zaporowej w łożyskach wielowarstwowych, z wykorzystaniem tej samej grupy materiałów, niezależnie od specyfiki technologii wytwarzania łożysk i ich zastosowań. Powszechnie w ślizgowych łożyskach wielowarstwowych na warstwę zaporową stosowany jest nikiel. Wielokrotnie badacze podejmowali próby zastosowania innych materiałów na warstwę zaporową łożyska oraz proponowali zmianę jej konstrukcji, niestety nie znaleźli w tym zakresie uznania producentów łożysk.

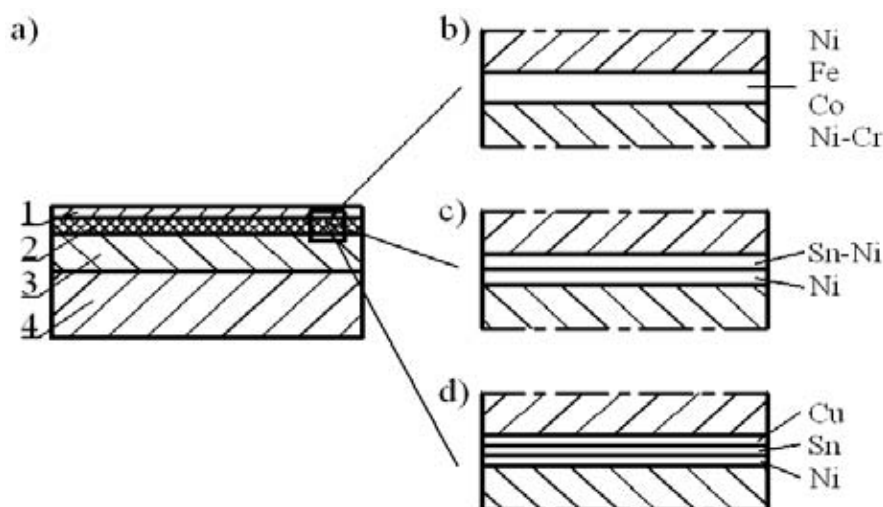
Obecne zmiany materiałów łożyskowych, wzrost wymagań eksploatacyjnych silników spalinowym, ograniczenia ekologiczne oraz cena materiałów mogą wymusić zmianę dotychczasowej koncepcji konstrukcyjno-technologicznej warstwy zaporowej, w zakresie doboru materiałów i jej budowy.

W artykule przedstawiono wyniki badań dotyczące materiału warstwy zaporowej. Stwierdzono, że warstwa zaporowa Ni-Cr, spełnia swoją rolę w łożyskach - jest fizycznie i termicznie stabilna do temperatury 180°C.

Słowa kluczowe: *silniki spalinowe, łożysko wielowarstwowe, warstwa zaporowa, materiał, badania*

1. Wstęp

Na rolę zmian składu chemicznego i struktury materiałów warstw łożysk ślizgowych zwrócono uwagę w latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku [2,4,5,6,7]. Powodem tego były niewyjaśnione przypadki zacierania łożysk wielowarstwowych w silnikach wysokoobciążonych, w których na warstwę zaporową stosowano czysty nikiel nakładany elektrolitycznie, o zadowalających właściwościach ślizgowych. Prowadzone były również badania nad stosowaniem innych warstw zaporowych, nie przynosiło to jednak pozytywnych wyników. Zaobserwowano, że w łożyskach wielowarstwowych z warstwą ślizgową na osnowie ołowiu, następuje ubytek cyny z warstwy ślizgowej. W wyniku wzrostu ogólnego obciążenia łożyska i związanego z tym wzrostem jego temperatury pracy, cyna z warstwy ślizgowej, dyfundowała w kierunku warstwy pośredniej, tj. brązu. Powodowało to spadek zawartości cyny w warstwie ślizgowej, co prowadziło do obniżenia odporności na korozję i wytrzymałości stopu. Według [8] po przebiegu wynoszącym 13 000 km lub 200 godzinach pracy silnika w warstwie ślizgowej ołowiuowo-cynowej o początkowej zawartości 10 % Sn stwierdzono 2 - 3 % Sn. Ponadto dyfuzja cyny do warstwy brązu ołowiowego powodowała powierzchniowy wzrost jego twardości [4], a tym samym zwiększało się po pewnym etapie pracy zużycie czopów wału korbowego i przyspieszało zużycie zmęczeniowe warstwy stopu. Rozwiązaniem zapobiegającym niekorzystnym procesom dyfuzyjnym cyny było zastosowanie cienkiej pośredniej warstwy zaporowej. W celu przeciwdziałania obniżaniu stężenia cyny na skutek zachodzących w łożysku, w czasie pracy silnika, procesów dyfuzyjnych dobrano odpowiednią grubość warstwy zaporowej. Budowę łożyska wielowarstwowego z różnymi wariantami budowy warstwy zaporowej przedstawiono na Rys. 1. Dotychczas prowadzone eksperymenty, pomimo wdrożenia wielu patentów, nie spowodowały wyeliminowania niklu jako materiału powszechnie stosowanego w procesie produkcji łożysk wielowarstwowych.



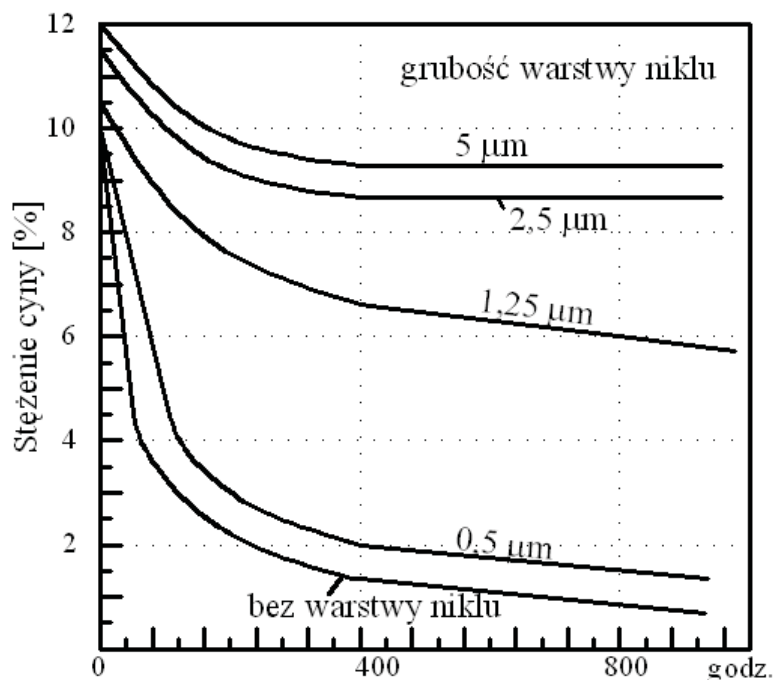
Rys. 1. Budowa łożyska wielowarstwowego z różnymi wariantami budowy warstwy zaporowej: a) – budowa ogólna; b), c), d) – budowa warstwy zaporowej

1 – warstwa ślizgowa, 2 – warstwa zaporowa, 3 – warstwa nośna, 4 – podłoże stalowe

Fig. 1. The multilayer bearing building with different barrier layer: a) – basis building; b), c), d) – interlayer building
1 – overlay, 2 – interlayer, 3 – bearing material layer, 4 – steel base

W pracy [4] podano, że istnieje możliwość osadzenia w miejscu niklu warstewki żelaza, kobaltu lub mosiądku. Autor pracy stwierdza, że materiały te nie spełniają wymagań warstwy zaporowej w takim stopniu, w jakim czyni to warstwa niklu. Należy także wspomnieć, że w ograniczonym zakresie na warstwę zaporową stosuje się stop niklu z chromem oraz różną kombinację materiałów z grupy łożyskowych, w przypadku stosowania warstwy zaporowej w układzie dwuwarstwowym (np. Sn-Ni [1]) lub trójwarstwowym (np. Cu-Sn-Ni [2]). Zdolność

zapobiegania dyfuzji cyny do brązu zależy od grubości warstwy niklu. Zależności te przedstawiono na Rys.1. Ustalono, że optymalną jest warstwa niklu o grubości 2-2,5 μm [4], ale są stosowane przegrody niklowe o innej grubości od 0,00076 do 0,00127 mm.



Rys. 2. Charakter zmian zawartości cyny w warstwie PbSn10Cu3 w funkcji czasu pracy łożysk, zależnie od grubości warstwy niklu

Fig. 2. The character of changes of total content tin in PbSn10Cu3 overlayer, as thickness-dependent of interlayer nickel, in function of combustion engines work time

Dobór materiału na warstwę zaporową łożyska wielowarstwowego jest podporządkowany głównie jego cechom związanym z ograniczeniem dyfuzji składowych stopu warstwy ślizgowej do warstwy nośnej łożyska oraz uzyskaniu jak największej stabilności termicznej łożyska, w zakresie składu chemicznego i struktury materiału warstwy ślizgowej oraz właściwości łożysk. Podstawowym wskaźnikiem do oceny przydatności materiału warstwy zaporowej łożyska jest temperatura jego pracy w określonym skojarzeniu i wynikająca z tego możliwość zmian składu chemicznego i struktury materiału oraz właściwości tribologiczne.

Wobec powyższego celowe wydaje się ustalenie, czy badany materiał zachowuje stabilność fizyczną i termiczną w temperaturze odpowiadającej warunkom pracy współczesnych łożysk wielowarstwowych wysokoobciążonych silników spalinowych.

Znane są ogólnie właściwości materiałów barier zaporowych oraz zakres ich zastosowania [2,4,7]. Brak jest jednak ścisłych danych ocenowych dotyczących zachowania cech użytkowych niektórych materiałów zastosowanych na warstwy zaporowe, poddanych działaniu czynników środowiskowych, zwłaszcza wpływu podwyższonej temperatury na stabilność fizyczną i termiczną materiału warstwy oraz jej właściwości. W tym obszarze zainteresowanie badaczy jest nieadekwatne do potrzeb aplikacyjnych stosowania na warstwę zaporową stopu Ni-Cr, o składzie chemicznym 80%Ni i 20%Cr. Dotychczas prowadzone badania koncentrują się najczęściej na ocenie właściwości łożysk z warstwami zaporowymi wykonanymi z niklu [2,6,7], jak wspomniano wyżej sporadycznie podejmowane były próby konstrukcyjno-technologiczne zmiany budowy warstwy zaporowej oraz zastosowania na warstwę zaporową innych materiałów.

Podstawowym celem pracy była ocena stabilności termicznej materiału warstwy zaporowej wykonanej ze stopu Ni-Cr, stosowanej w łożyskach wielowarstwowych korbowodowych przewidzianych do zastosowania w wysokoobciążonych silnikach spalinowych.

Badaniom poddano łożyska z napyłaną warstwą ślizgową AlSn20Cu1 i warstwą zaporową Ni-Cr. Do badań wykorzystano próbki z łożysk handlowych, które poddano wygrzewaniu w warunkach kontrolowanych w temperaturze 180 °C, w czasie 300h.

Na podstawie analizy układów równowagi [3] można stwierdzić, że w warstwie zaporowej niklowo-chromowej, podczas pracy łożyska, możliwe jest tworzenie się roztworów i związków chemicznych z układu: Ni-Cr; Al.-Ni, Al.-Cr, Sn-Ni, Sn-Cr, Ni-Cu, Cu-Cr. Nie sposób również wykluczyć możliwości tworzenia się związków z układu potrójnego Sn-Ni-Cr, lub poczwórnego Sn-Ni-Cr-Cu. W wyniku dyfuzji reaktywnej należy się spodziewać przebudowy strukturalnej warstwy niklowo-chromowej oraz zmian jej właściwości.

2. Wyniki badań stabilności termicznej warstwy zaporowej

Wpływ warunków otoczenia, a szczególnie temperatura pracy silnika ma istotny wpływ na zachowanie stabilności termicznej materiału łożysk wielowarstwowych. Z badań wynika, że zachowanie właściwości użytkowych wielowarstwowych łożysk ślizgowych można podwyższyć przeciwdziałając dyfuzji składowych stopów pomiędzy warstwami łożyska. Wzrost temperatury pracy łożysk przyspiesza przebieg procesów dyfuzyjnych w warstwach łożysk i w efekcie obniża ich właściwości, szczególnie wytrzymałość zmęczeniową i odporność na zatarcie. Dotyczy to szczególnie obszaru warstwy zaporowej, którą należy zaliczyć do słabych ogniw łożyska wielowarstwowego.

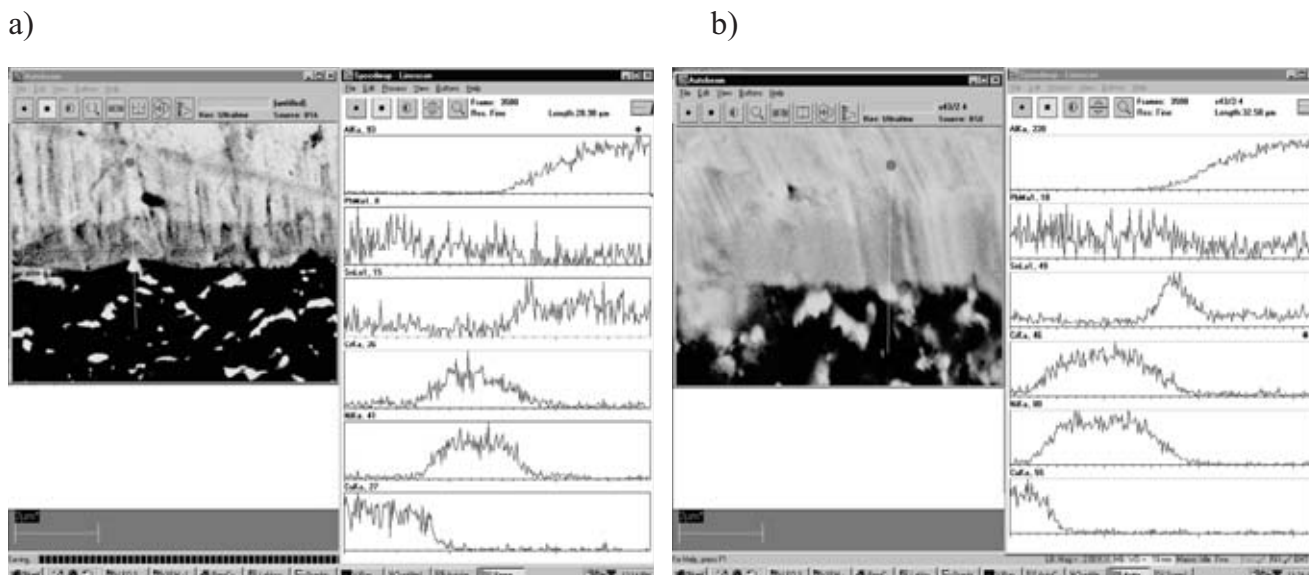
Analizując otrzymane wyniki badań składu chemicznego Tab. 1, należy zauważyć prawie identyczna wartość stężenia pierwiastków stopu w łożyskach handlowych będących w stanie dostawy oraz po wygrzewaniu. Świadczy to o tym, że materiał warstwy zaporowej nie zmienia swojego składu chemicznego pod wpływem oddziaływania termicznego, może jednak ulegać przebudowie strukturalnej.

Tab. 1. Wyniki analizy składu chemicznego materiału warstwy zaporowej Ni-Cr – łożysko w stanie dostawy i po wygrzewaniu

Tab. 1. The results of material barrier layer chemical constitution Ni-Cr – the bearing without and after heating

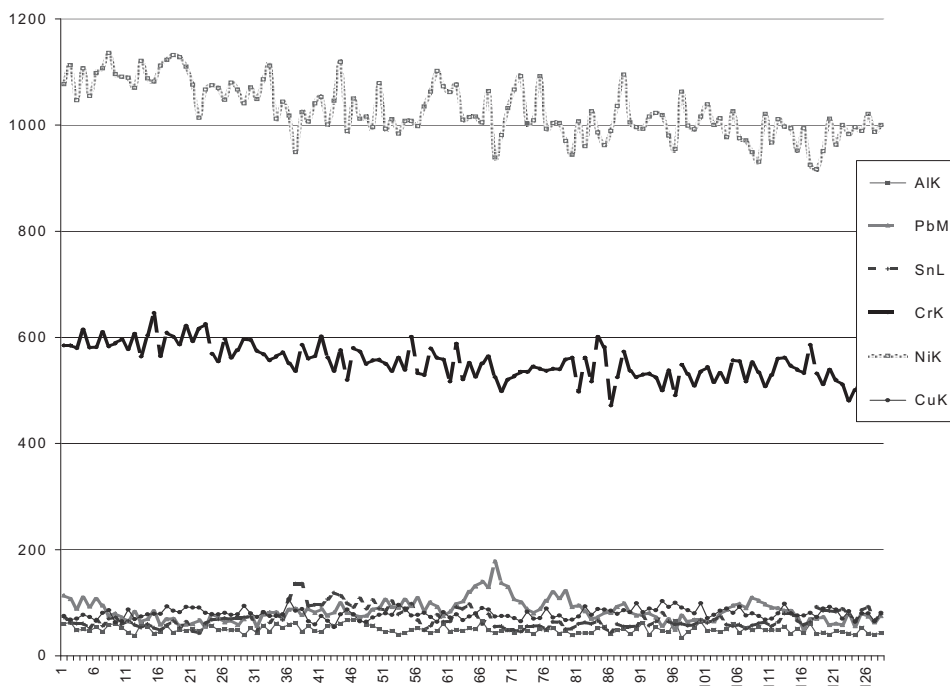
Pierwiastek	Stężenie badanych pierwiastków			
	Stan badanego łożyska			
	stan dostawy		po wygrzewaniu	
	%Wt	%At	%Wt	%At
Al	2,45	5,09	3,88	5,59
Sn	0,93	0,47	1,15x	0,54
Ni	76,89	73,19	75,87	72,51
Cr	19,73	21,25	19,10	21,36

Na Rys. 3a,b przedstawiono widok struktury warstw badanego łożyska, ze szczególnym wyeksponowaniem warstwy zaporowej (odpowiednio łożyska będącego w stanie dostawy, Rys. 3a i po wygrzewaniu, Rys. 3b). W obu rozpatrywanych wariantach widoczna jest cienka, dość jednorodna warstwa zaporowa Ni-Cr o grubości ok. 2 μm, rozdzielająca stop AlSn20Cu1, napyłony na podłoże z brązu CuPb23Sn2. W celu ujawnienia wystąpienia spodziewanych faz międzymetalicznych w strefie warstwy zaporowej, w układzie warstwowym łożyska po wygrzewaniu, próbki dodatkowo poddano analizie składu chemicznego w mikroobszarach, wzdłuż wybranych linii skanowania. Widoczny przebieg rozkładu stężenia analizowanych pierwiastków (Ni,Cr) wskazuje, że jego charakter jest podobny.



Rys. 3. Porównanie struktury i rozkładu liniowego pierwiastków w strefie warstwy zaporowej łożysk: a) łożysko w stanie dostawy, b) łożysko po wygrzewaniu

Fig. 3. Structure and lining of concentration elements in the barrier layer zone of bearing: a) the bearing without heating, b) the bearing after heating



Rys. 4. Liniowy przebieg stężenia pierwiastków w warstwie zaporowej Ni-Cr – łożysko po wygrzewaniu

Fig. 4. Linear concentration elements change in the barrier layer – the bearing after heating

Jak wynika z Rys. 4 wartości stężenia niklu i chromu w warstwie zaporowej są zbliżone do wielkości stałej. Wskazuje to na fakt, całkowitej rozpuszczalności chromu w niklu, która w temperaturze otoczenia zgodnie z układem równowagi Ni-Cr wynosi ok. 32%. Przeprowadzone badania wskazują na dużą stabilność strukturalną niklowo-chromowej warstwy zaporowej.

Reasumując należy stwierdzić, iż badany układ warstwowy łożyska, będący w stanie dostawy i po wygrzewaniu, charakteryzuje się jednorodną budową oraz jednorodną strukturą materiału warstwy zaporowej. W badanym układzie warstwowym po wygrzewaniu nie stwierdzono

występowania nowoutworzonych bądź zmienionych obszarów warstw, jakie obserwowano we wcześniej prowadzonych badaniach łożysk z warstwami ślizgowymi nakładanymi galwanicznie.

3. Podsumowanie

Tradycyjnie na warstwę zaporową stosowany jest czysty nikiel nakładany elektrolitycznie. Dotychczas prowadzone eksperymenty, pomimo wdrożenia wielu patentów, nie spowodowały wyeliminowania niklu jako materiału powszechnie stosowanego na warstwę zaporową, w procesie produkcji łożysk wielowarstwowych. W ograniczonym zakresie na warstwę zaporową stosuje się stop niklu z chromem oraz różną kombinację materiałów z grupy łożyskowych w przypadku stosowania warstwy zaporowej w układzie dwuwarstwowym lub trójwarstwowym.

Uzyskane wyniki badań wskazują, że warstwa zaporowa Ni-Cr, spełnia swoją rolę - jest fizycznie i termicznie stabilna do temperatury 180°C. Reasumując należy stwierdzić, że zasadne jest stosowanie warstw zaporowych Ni-Cr w łożyskach wielowarstwowych, zwłaszcza w wysokoobciążonych silnikach spalinowych. Świadczy o tym ich wysoka stabilność strukturalna oraz brak zmiany składu chemicznego, pod wpływem podwyższonej temperatury pracy. Na podkreślenie zasługuje fakt braku tworzenia się związków chemicznych w strefie warstwy zaporowej łożyska, co było charakterystyczną cechą łożysk z warstwami zaporowymi niklowymi.

Ścisłe określenie właściwości warstw zaporowych Ni-Cr oraz wyznaczenie obszaru ich stosowania wymaga prowadzenia dalszych badań struktury, właściwości mechanicznych, tribologicznych, tak w warunkach modelowych jak i eksploatacyjnych. Zmiany materiałów łożyskowych, wzrost wymagań eksploatacyjnych silników spalinowych, ograniczenia ekologiczne oraz cena materiałów mogą wymusić zmianę dotychczasowej koncepcji konstrukcyjno-technologicznej warstwy zaporowej, w zakresie doboru materiałów i jej budowy.

Literatura

- [1] Adam, A., Staschko, K., *Bleifreie Schichten für Lageranwendungen*, Galvanotechnik 6, pp. 1335-1341, 2005.
- [2] Bierlein, J. C., De Hart, A. D., *Score resistance, hardness and performance of diffused copper-nickel-tin bearings*, Techn. Pap. Series, No. 830064, 1983.
- [3] Ganina, N. I., i in. *Diagramy sostojania mietaliczieskich sistiem: Ni-Cr; Al.-Ni, Al.-Cr, Sn-Ni, Sn-Cr, Ni-Cu, Cu-Cr*, XXXII, Moskwa 1989.
- [4] Kostrzewa, S., *Analiza zmian zachodzących w strukturze stopów łożysk eksploatowanych*, Dodatek do Biuletynu WAT 1, pp. 14-41, Warszawa 1985.
- [5] Pratt, G. C., Whitney W. J., *Engine Bearing Overlays: The Effect of Overlay Composition on Diffusion and Post-Diffusion Bearing Performance*, SAE Techn. Pap. Series, No. 830063, 1983.
- [6] Sakamoto, M., i in., *Diffusion Behavior of Overlay for Three Layers Engine Bearings*, Techn. Pap. Series, No. 890555, 1989.
- [6] Sasaki, S., i in., *Damage to Cu-Pb Bearing for Diesel Engines and Causes Thereof*, Techn. Pap. Series, No. 870582, 1987.
- [7] Wilson, R. W., Shone, E. B., *Badania metalurgiczne uszkodzeń łożysk*, Tłum. WŁŚ Bimet, Londyn, 1973.