



POLISH ACADEMY OF SCIENCES - COMMITTEE OF MATERIALS SCIENCE
SILESIA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY OF GLIWICE
INSTITUTE OF ENGINEERING MATERIALS AND BIOMATERIALS
ASSOCIATION OF ALUMNI OF SILESIA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Conference
Proceedings

12th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
ACHIEVEMENTS IN MECHANICAL & MATERIALS ENGINEERING

Badania zmian zachodzących w strukturze materiału łożysk wielowarstwowych z warstwą ślizgową PbSn10Cu6

S. Kowalczyk

Instytut Pojazdów Mechanicznych WAT,
00-908 Warszawa, ul. S.Kaliskiego 2, tel. (22) 6839449

W pracy przedstawiono mechanizm zmian zachodzących w strukturze materiału łożysk wielowarstwowych PbSn10Cu6. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że podczas wygrzewania łożysk następuje zanik ochronnej powłoki cynowej. Cyna dyfunduje do warstwy ślizgowej a następnie w kierunku warstwy brązu i tworzy w warstwie ślizgowej i w obszarze warstwy zaporowej strefę wydzielenia faz międzymetalicznych. Mechanizm przebiegu zmian zachodzących w strukturze materiału warstw łożysk uzależniony jest od temperatury procesu oraz czasu wygrzewania łożysk.

1. WPROWADZENIE

Łożyska ślizgowe należą do zasadniczych elementów silnika, które w decydującej mierze wpływają na poprawną jego pracę. Rozwój silników spalinowych spowodował, że zastąpiono monolityczne łożyska ślizgowe łożyskami wielowarstwowymi. W łożyskach tych istotną rolę odgrywa warstwa ślizgowa. Dotychczas w silnikach krajowych stosowano łożyska z warstwą ślizgową PbIn(5-10) oraz PbSn10Cu3 i warstwą pośrednią z brązu lanego CuPb23Sn2 lub spiekanego CuPb30. Ponieważ łożyska tego typu są wrażliwe na czynniki atmosferyczne ich powierzchnię niekiedy pokrywa się galwanicznie ochronną powłoką cynową. W warstwach ślizgowych wymienionych łożysk stwierdzono w procesie eksploatacji dyfuzję indu i cyny w głąb do warstwy pośredniej łożyska [1-3]. Zaobserwowano, że zjawisko to powoduje obniżenie właściwości użytkowych łożysk. W związku z powyższym przemysł łożyskowy podjął zadania zmierzające do przeciwdziałania tym niekorzystnym procesom, zwłaszcza w zakresie ograniczenia zmian zachodzących w strukturze stopów łożysk wielowarstwowych podczas ich eksploatacji. Dotyczy to zwłaszcza łożysk pracujących w temperaturach od 413 do 453 K. Następstwem tego było wprowadzenie do produkcji łożysk wielowarstwowych o podwyższonej zawartości miedzi w warstwie ślizgowej. Ograniczona wiedza w zakresie mechanizmu zmian zachodzącego w materiale warstwy ślizgowej łożyska i powierzchniowej strefy brązu, w tym szczególnie zmian w składzie chemicznym i strukturze stopu oraz związanej z tymi zmianami, odporności na zużycie, wytrzymałości zmęczeniowej i odporności korozyjnej była powodem podjęcia tych badań.

Celem badań, których wyniki przedstawiono w pracy jest ustalenie mechanizmu zmian zachodzących w strukturze materiału łożysk z warstwą ślizgową PbSn10Cu6 zależnie od temperatury i czasu wygrzewania łożysk.

2. PRZEBIEG I WYNIKI BADAŃ

Przedmiotem badań były łożyska z odlewaną warstwą brązu CuPb23Sn2 i warstwą ślizgową PbSn10Cu6.

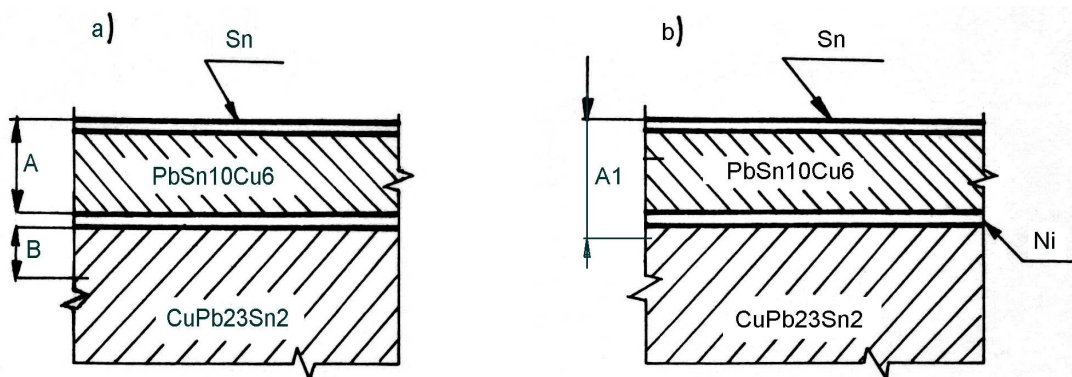
Badaniami objęto panewki, w których stężenie cyny w materiale warstwy ślizgowej wynosiło 8-12% i miedzi 5,5-6,5%, a grubość powłoki ochronnej była w granicach 1,5-2 μm . Przeprowadzono badania porównawcze łożysk nowych i po wygrzewaniu. Wygrzewanie realizowano w temperaturze 453 K, w czasie 300 godzin. W celu zabezpieczenia próbek przed utlenianiem wygrzewano je w oleju silikonowym.

Budowę oraz strefy analiz poszczególnych warstw łożyska przedstawiono na rys. 1.

Dla ustalenia mechanizmu zmian zachodzących w materiałach poszczególnych warstw łożyska wyróżniono dwa kierunki badań:

- pierwszy dotyczył zmiany składu chemicznego;
- drugi obejmował obserwację zmian zachodzących w strukturze stopów łożyskowych - badania strukturalne mikroskopowe, analizę składu w mikroobszarach i badania dyfrakcyjne rentgenowskie.

Do analizy składu chemicznego materiału warstw badanych łożysk wykorzystano metodę absorpcji spektrofotometrycznej, która jest predestynowana do oznaczania pierwiastków metalicznych. Obserwacje mikroskopowe oraz analizę składu chemicznego w mikroobszarach wykonano na



Rys. 1. Budowa badanego łożyska: a/ A,B, - strefy analizy składu chemicznego - grubość ok. 10-15 μm ; b/ A1- strefa badań dyfrakcyjnych rentgenowskich - grubość uzależniona od zdolności wnicania promieni rentgenowskich

skaningowym mikroskopie elektronowym LEO435VPi wyposażonym w mikroanalizator rentgenowski typu LINK ISIS-300 (dokładność pomiaru 0.001%). Próbkę do analizy posiadały szlify prostopadłe. Przeprowadzono analizę punktową i liniową poszczególnych pierwiastków (Sn, Pb, Cu) oraz ich zmiany stężenia wzdłuż wybranych linii skanowania. Badania identyfikacji faz przeprowadzono przy użyciu dyfraktometru TUR M-62 z goniometrem typu HZG-4A. Wykonano pełne zapisy dyfraktometryczne, stosując filtrowane promieniowanie lampy CoK α . Rejestracji zmian dokonywano licznikiem proporcjonalnym przemieszczającym się z prędkością 2°/min w zakresie kątowym 2θ wynoszącym od 20° do 130°. Do badań dla wiązki wejściowej użyto szczeliny o szerokości 1.09 mm oraz dla wyjściowej o szerokości 0.22 mm. Na podstawie zapisów dyfraktogramów analizowano intensywności refleksów oraz ich katowe położenie. Wykorzystując warunek Bragga określono odległości międzypłaszczyznowe d_{hkl} , a następnie w oparciu o tablice PDF (ASTM-1983) przeprowadzono identyfikację podstawowych faz. Wartości parametru sieci roztworu stałego cyny w ołowiu w badanych strefach warstw łożyska dokonano w oparciu o zapis refleksu odpowiadającego płaszczyźnie krystalograficznej Pb₍₅₁₁₎.

3. WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Wyniki z przeprowadzonych badań przedstawiono w tabeli 1 i 2 oraz graficznie na rys. 2-4. Z badań składu chemicznego wynika, że stężenie cyny w strefie warstwy ślizgowej po uwzględnieniu powłoki ochronnej wynosi ok. 18-20%atm, a miedzi ok. 6-6,5%atm. W łożyskach w stanie dostawy (rys. 2) widoczna jest cienka, wyodrębniona warstewka cyny, warstwa ślizgowa PbSn10Cu6 oraz występująca pod tą warstwą, warstwa zaporowa Ni i warstwa brązu CuPb23Sn2. Stwierdzono metodą dyfrakcyjną i spektralną, że materiał warstwy ślizgowej PbSn10Cu6 posiada strukturę wielofazową - roztwór stały cyny w ołowiu oraz wydzielenia cyny i miedzi. Przeprowadzona identyfikacja wykazała trójfazową strukturę warstwy nośnej, obok fazy na osnowie ołowiu, stwierdzono krystalizację miedzi oraz związki z układu Cu-Sn [4]. Z przeprowadzonej analizy (rys. 2) wynika, że liniowy rozkład stężenia cyny w warstwie ślizgowej nie jest równomierny.

Tabela 1. Wyniki analizy składu chemicznego łożysk z warstwą ślizgową PbSn10Cu6

Lp.	Panewki w stanie dostawy		Panewki po wygrzaniu				
	% zawartość cyny i miedzi w warstwie PbSn10Cu6 (strefa A)		Obróbka materiału panewki		% zawartość cyny i miedzi w warstwach panewek		
	Sn	Cu	Temperatur a wygrzewani a	Czas wygrzewani a	W PbSn10Cu6 (strefa A)		w CuPb23Sn2 (strefa B)
					Sn	Cu	Sn
1	19.45	6.32	453	300	10.18	6.34	2.33
2	20.43	5.89	453	300	12.98	5.80	1.75
3	19.18	6.08	453	300	11.48	5.96	1.84
4	18.65	5.96	453	300	9.08	5.84	2.55

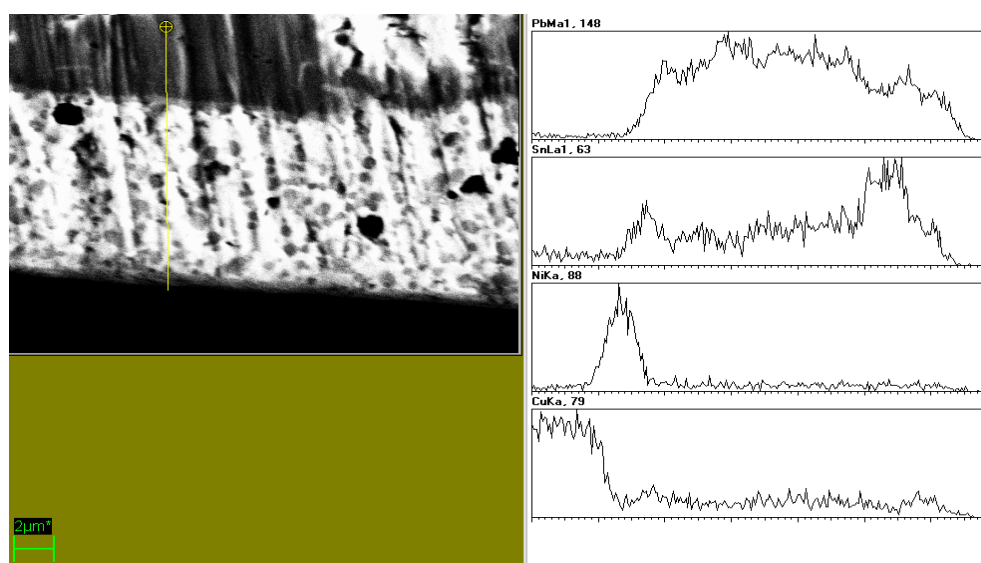
W łożyskach poddanych wygrzewaniu w czasie 300h, w temperaturze 453 K stwierdzono obniżenie stężenia cyny w warstwie ślizgowej. Zaobserwowano zanik ochronnej powłoki cynowej, należy sądzić, że początkowo następuje transport cyny do warstwy ślizgowej PbSn10Cu6, a następnie do strefy warstwy zaporowej. Dyfundująca cyna rozpuszcza się do stanu równowagowego (przy danej temperaturze) w materiale warstwy ślizgowej i tworzy roztwór stały cyny w ołowiu oraz wydzielenia faz międzymetalicznych z układu Cu-Sn. Niewykluczona jest także możliwość tworzenia faz międzymetalicznych z układu Ni-Sn.

W oparciu o wyniki badań, uzyskane w pracach prowadzonych wcześniej [4-5] można stwierdzić, że w wymienionej wyżej temperaturze wygrzewania, w łożyskach z warstwą PbSn10Cu3, obserwowano istotne zmiany w strukturze i własnościach łożysk. Zmiany struktury o podobnym charakterze obserwowano w temperaturze począwszy od 408 K po czasie wygrzewania 200 h. W temperaturze powyżej 423K obserwowano zmiany struktury w obszarze warstwy zaporowej i powierzchniowej strefy brązu. Wraz z podwyższaniem temperatury wygrzewania, intensywność procesu zmian nasilała się, obserwowano proces obniżania stężenia cyny w warstwie ślizgowej oraz wzrost stężenia wymienionego pierwiastka w warstwie brązu. Dowodzi to, że niklowa warstwa zaporowa nie spełnia swojej funkcji w wysokiej temperaturze pracy łożyska. Nie zaobserwowano tego zjawiska w łożyskach z warstwą ślizgową PbSn10Cu6. Świadczy to o znacznie wyższej stabilności strukturalnej tych łożysk.

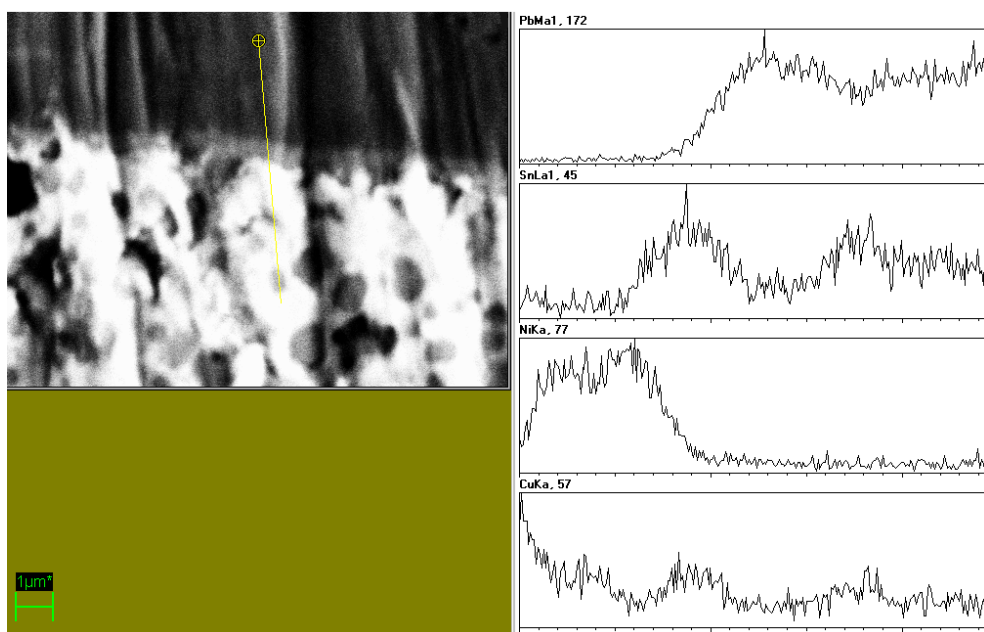
Należy stwierdzić, że wartości stężenia badanych pierwiastków dla obu badanych stanów układu warstwowego łożysk są zróżnicowane. Identyfikuje się różnice w stężeniu badanych pierwiastków w mikroobszarach stopu warstwy ślizgowej (rys. 4 i 5). Są to jednak różnice wynikające z natury tego stopu, wynikającego z powinowactwa chemicznego cyny i miedzi, mającego tendencję do tworzenia faz międzymetalicznych. W mikroobszarach warstwy ślizgowej zarejestrowano stężenie badanych pierwiastków odpowiadające ściśle fazie międzymetalicznej Cu_3Sn (rys. 5)

Tabela 3. Wyniki rentgenowskiej analizy fazowej materiału warstwy ślizgowej PbSn10Cu6

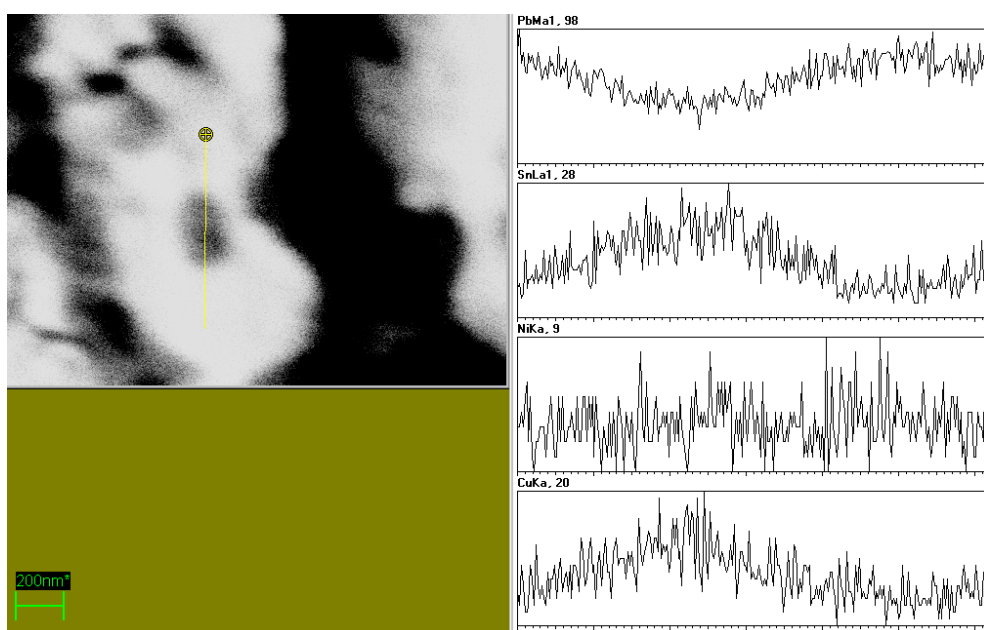
Lp	$2\Theta_{\text{sr}}$ [deg]	Względna intensywność refleksów próbek w [%]		d_{hkl} oblicz. [Å]	Dane tabelaryczne dla czystych pierwiastków			
		Strefa D1			Pb		Sn	
		w stanie dostawy	po wygrzewaniu w temp. 180°C, czasie 300 h		d [Å]	hkl	d [Å]	hkl
1.	35.8	38.5		2.912			2.915	200
2.	36.7	10	100	2.851	2.855	111		
3.	37.5	27		2.792			2.793	101
4.	42.4	6	81	2.475	2.475	200		
5.	51.5	100		2.064			2.062	220
6.	52.7	40		2.017			2.017	211
7.	61.7	4.5	27	1.748	1.750	200		
8.	73.7	6	52	1.492	1.429	311		
9.	76.7	24		1.443			1.442	321
10.	77.7		38	1.427	1.429	222		
11.	86.6	16.5		1.305			1.304	420
12.	87.7	5.5		1.292			1.292	411
13.	104.2	7.5	16	1.124	1.1359	331		
14.	108.2	8.5	19.5	1.105	1.1069	420		
15.	121.4	8		1.026			1.026	521
16.	124.8	3	18	1.010	1.0105	422		
17.	140.8	4.5	21	0.950	0.9526	511		



Rys. 2. Mikrostruktura, przebieg linii skanowania oraz liniowego stężenia pierwiastków w warstwie ślizgowej i strefie połączenia warstw łożyska PbSn10Cu6 – stan dostawy



Rys. 3. Mikrostruktura, przebieg linii skanowania oraz liniowego stężenia pierwiastków w warstwie ślizgowej i strefie połączenia warstw łożyska PbSn10Cu6– po wygrzewaniu



Rys. 4. Przebieg linii skanowania oraz liniowy przebieg stężenia pierwiastków w wybranym mikroobszarze warstwy ślizgowej PbSn10Cu6 – po wygrzewaniu

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %	Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
Cu K	ED	48.13	63.41	Cu K	ED	45.76	61.18
Sn L	ED	51.87	36.59	Sn L	ED	54.24	38.82
Total		100.00	100.00	Total		100.00	100.00

Rys. 5. Skład chemiczny wybranych mikroobszarów materiału warstwy ślizgowej PbSn10Cu6 po wygrzewaniu (wyekstraktowano cynę i miedź)

Reasumując należy stwierdzić, że zasadne jest stosowanie warstw ślizgowych o podwyższonej zawartości miedzi w łożyskach wielowarstwowych zwłaszcza w silnikach spalinowych o podwyższonych temperaturach pracy. Świadczy o tym ich wysoka stabilność strukturalna, ograniczony zakres zmian struktury zachodzących w materiałach układu warstwowego łożyska pod wpływem działania podwyższonej temperatury pracy.

Na szczególne podkreślenie zasługuje fakt braku tworzenia się kruchych związków chemicznych w strefie warstwy zaporowej łożyska, co było charakterystyczną cechą łożysk z warstwami ślizgowymi nałożonymi galwanicznie (Pb-Sn; PbIn; PbSnCu-o mniejszej zawartości miedzi) [4-7].

4. WNIOSKI

Uzyskane wyniki badań pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

1. Pod wpływem wymuszenia temperaturowego następuje: zanik ochronnej powłoki cynowej oraz, migracja cyny w kierunku warstwy brązu.
2. W wyniku dyfuzji cyny z powłoki ochronnej przemieszczając się w kierunku brązu, tworzą na granicy ziaren miedzi i ziaren roztworu stałego cyny w ołowiu, mieszaninę faz międzymetalicznych z układu Cu-Sn.
3. Przebieg procesu zmian zachodzących w strukturze materiału łożysk z warstwą ślizgową PbSn10Cu6 jest znacznie mniej intensywny w porównaniu z przebiegiem zjawisk zachodzących w materiale łożysk produkowanych z warstwą ślizgową PbSn10Cu3.
4. Dalsze badania powinny koncentrować się na określeniu mechanizmu i możliwości spowolnienia procesu dyfuzji wzajemnej w metalicznych układach wielowarstwowych łożysk ślizgowych oraz wykorzystania uogólnionego modelu Darkena do opisu tych zjawisk w aspekcie kształtowania właściwości wielowarstwowych łożysk ślizgowych.

LITERATURA

1. PERRIN H.: *Bearing Problems in Internal Combustion Fourstroke Rail Traction Engines*. Sulzer Brothers Ltd Winterthur, 1967.
2. BOJAR Z., KOSTRZEWA S.: Badanie termicznej stabilności składu chemicznego i struktury warstw ślizgowych łożysk wielowarstwowych PbSn10Cu3 i PbIn(5-10). Biuletyn WAT Nr 7/1987.
3. SASAKI S. i in.: Damage to Cu-Pb Bearing for Diesel Engines and Causes Thereof. SAE Techn. Pap. Series, No 870582, 1987.
4. KOWALCZYK S.: *Wpływ temperatury pracy łożysk wielowarstwowych silnika typu AA i pochodnych na ich właściwości użytkowe*. Materiały konferencyjne XX Jesienna Szkoła Tribologiczna. Spała 1995.
5. KOWALCZYK S.: *Stabilność struktury stopów łożyskowych i jej wpływ na wybrane własności łożysk wielowarstwowych*. Rozprawa doktorska. WAT, Warszawa 1992.
6. KOWALCZYK S., *Wpływ wymuszenia zewnętrznego na zmiany struktury materiału łożysk wielowarstwowych z warstwą ślizgową PbIn 7 i ochronną powłoką cynową*. VI Międzynarodowe Sympozjum IPM. Warszawa-Rynia 1996.
7. GOŁA W., KOWALCZYK S.: *Wpływ ochronnej powłoki cyny na własności wielowarstwowego łożyska z warstwą ślizgową ołowiu - ind.* Materiały konferencyjne „Inżynieria Łożyskowania '96”, Gdańsk-Sopot 1996.