

DEVELOPMENT TENDENCY THE MATERIALS USED IN MULTILAYER BEARINGS 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*

This work presents the present state of materials development of multilayer bearings, used on all bearing layers. The present state of the most important materials used in slide multilayer bearings of combustion engines of vehicles did not change during the last 30-years – generally the same alloys are used. Only small changes and modifications of alloys used on multilayer bearings, with the use of the same groups of materials, independently of different constructional solutions of bearings were observed. The building of slide bearings of combustion engines did not change.

The analysis of fundamental trends shows that the development of bearing materials will be similar to the present one. Possible changes in bearing materials can be extracted by technical requirements of combustion engines, as well as ecological factors and the price of applied materials.

This article shows the necessity of continuation of materials development used in slide multilayer bearings, to cope with market demands together with development of lead free products, because it is required by severe constraint conditions for loads, speed, lubrication conditions and ecological requirements as well as the improvement of multilayer bearings in the future. It is emphasized, that manufacturing cost may also influence on bearing materials development and use.

Keywords: *combustion engines, multilayer bearings, materials, development tendency, Pb-free alloys*

TENDENCJE ROZWOJOWE MATERIAŁÓW STOSOWANYCH W WIELOWARSTWOWYCH ŁOŻYSKACH SILNIKÓW SPALINOWYCH

Streszczenie

W artykule przedstawiono stan rozwoju materiałów łożysk wielowarstwowych, stosowanych na wszystkie warstwy łożyska. Stwierdzono, że stan najważniejszych materiałów stosowanych w łożyskach ślizgowych wielowarstwowych silników spalinowych pojazdów nie uległ zasadniczej zmianie w czasie ostatnich trzydziestu lat – generalnie stosowane są te same stopy. Można było obserwować niewielkie zmiany i modyfikacje stopów przeznaczonych na łożyska wielowarstwowe, z wykorzystaniem tej samej grupy materiałów, niezależnie od specyfiki rozwiązań konstrukcyjnych łożysk i ich zastosowań. Nie uległa również zmianie budowa łożysk ślizgowych silników spalinowych.

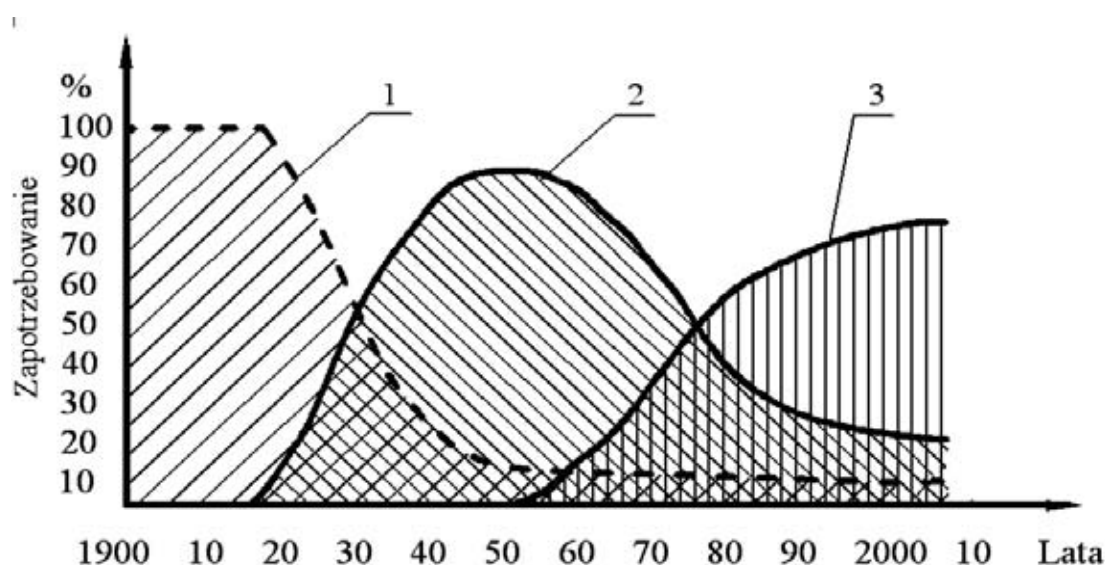
Informacje producentów wskazują, że rozwój materiałów łożyskowych będzie postępował podobnie jak dotychczas, zmiany w materiałach łożyskowych mogą zostać wymuszone poprzez wymagania eksploatacyjne i wynikające z nich wymagania techniczne stawiane silnikom spalinowym, ograniczenia ekologiczne oraz cenę stosowanych materiałów.

W artykule zwrócono uwagę na konieczność kontynuacji rozwoju materiałów stosowanych w łożyskach ślizgowych, aby spełnić wymagania rynkowe, wraz z rozwojem zapotrzebowania na materiały bezołowiowe, ponieważ wymuszają to warunki obciążenia i prędkości pracy silników, warunki smarowania oraz wymagania ekologiczne efektywność udoskonalenia łożysk w przyszłości. Podkreślono również, że koszty produkcji mogą wpływać na stosowanie i rozwój materiałów łożyskowych.

Słowa kluczowe: *silniki spalinowe, łożyska wielowarstwowe, materiały, tendencje rozwojowe, stopy bezołowiowe*

1. Wstęp

W ogólnym zapotrzebowaniu na materiały łożyskowe łożyska ślizgowe do silników spalinowych stanowią udział dominujący. Zmiany w charakterystyce obciążenia i innych warunków pracy łożyska, deficyt niektórych składników stopowych, zmiany konstrukcyjne oraz wprowadzenie nowych technologii prowadzą do zmian w ilościowym udziale różnych materiałów łożyskowych. W obszarze tym historycznie nastąpiły w okresie kilkudziesięciu lat zasadnicze zmiany: stopy na osnowie cyny lub ołowiu zostały wyparte głównie przez stopy na osnowie aluminium. Również zakres stosowania stopów na osnowie miedzi w znacznym stopniu został ograniczony. Uzyskano to dzięki zmianom konstrukcji łożysk oraz zmianom technologii materiałów i łożysk. Poglądowo światowe zapotrzebowanie na łożyska ślizgowe w silnikach spalinowych wg najważniejszych rodzajów stopów łożyskowych przedstawiono na Rys. 1 [3]. Wynika z niego, że grupa najważniejszych materiałów stosowanych na łożyska ślizgowe silników spalinowych pojazdów, nie uległa ilościowej zmianie w czasie ostatnich dwudziestu lat.



Rys. 1. Charakter zmian w światowym zapotrzebowaniu na łożyska ślizgowe do silników spalinowych wg najważniejszych rodzajów stopów łożyskowych: 1- stopy na osnowie cyny lub ołowiu, 2 – brązy; 3 – stopy na osnowie aluminium

Fig. 1. The character of changes in world demand on slide bearings to combustion engines according to the most important type of bearing alloys: 1- alloys on matrix tin or lead, 2 - bronzes; 3 - the alloys on matrix of aluminium

2. Wymagania stawiane materiałom łożyskowym

Wymagania stawiane materiałom łożyskowym można ograniczyć do trzech głównych rodzajów właściwości, a mianowicie: wytrzymałościowych, ruchowych i antykorozyjnych.

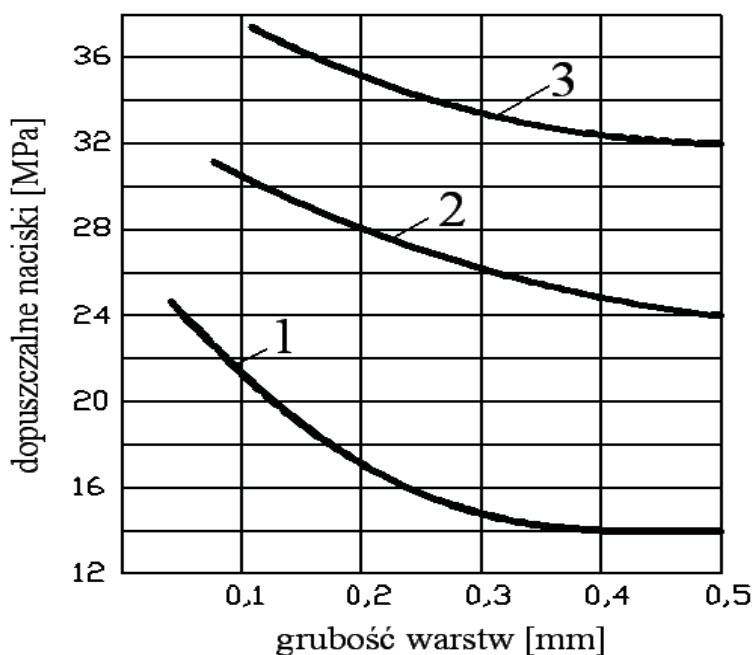
Przy szczegółowym rozpatrywaniu właściwości wymienia się zgodnie z normą (PN-ISO 4378-1:2002) takie cechy jak: odporność na zatarcie, odporność na zużycie, zdolność do pochłaniania twardych cząstek, zdolność do dopasowania, stabilność termiczna, zdolność do docierania, kompatybilność tribologiczna, przyczepność, wytrzymałość zmęczeniowa oraz odporność względna na zużycie [8]. Ze względu na systematyczne zwiększanie obciążenia węzła łożyskowego, na czoło podanych cech wysuwa się wytrzymałość zmęczeniowa łożyska.

Właściwości wytrzymałościowe w znacznej mierze zależą od rodzaju materiału, ale w dużym stopniu i od grubości warstwy stopu łożyskowego, co przedstawiono na Rys.2 [2].

Wytrzymałość na ściskanie oraz wytrzymałość zmęczeniowa zwiększa się w miarę zmniejszania grubości warstwy stopu.

Obciążenie łożysk. we współczesnych silnikach spalinowych ciągle wzrasta. Z danych literaturowych wynika, że w ciągu ostatnich dwudziestu lat nastąpił wzrost nacisków jednostkowych łożysk ślizgowych o ok. 30% [5], wartość ich przekracza obecnie 40 MPa, a nawet niekiedy osiąga 80 -100 MPa.

Powiększana jest także prędkość obrotowa. Prędkość obwodowa czopów we współczesnych silnikach kształtuje się zwykle w granicach 11-12 m/s, ale niekiedy dochodzi nawet do 18 m/s. Grubość filmu olejowego wynosi ok. 20 μm , a przy dużych obciążeniach zmniejsza się do 1 μm .

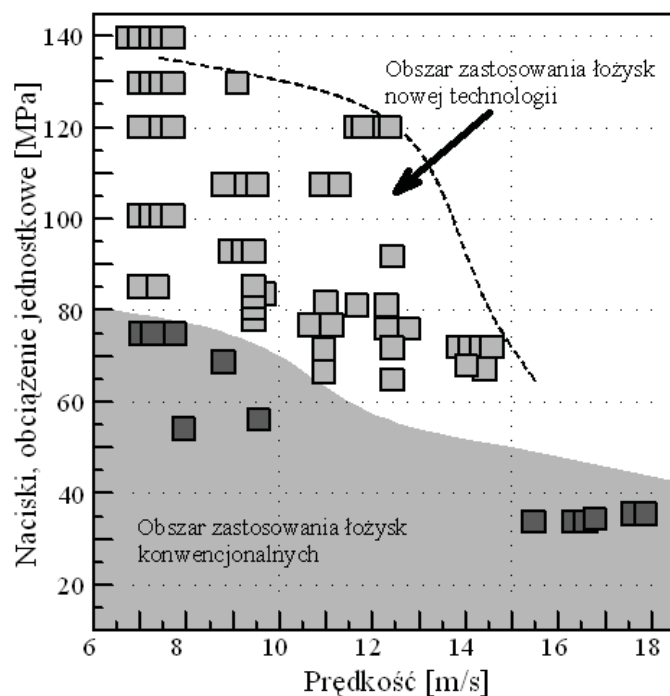


Rys. 2. Zależność dopuszczalnych nacisków jednostkowych od grubości warstwy stopu łożyskowego: 1- stopy na osnowie cyny lub ołowiu, 2 – brąz ołowiowy; 3 – stopy na osnowie aluminium

Fig. 2. The dependence of unit pressures limit from thickness of layer of bearing alloy: 1- alloys on matrix tin or lead, 2 – lead bronze; 3 - the alloys on matrix of aluminum

Prace rozwojowe materiałów współczesnych łożysk wielowarstwowych zmierzają do zapewnienia pracy silników spalinowych przy obciążeniu łożysk dochodzącym do 120 - 140 MPa, przy prędkości obwodowej czopów do 12 m/s. Na Rys. 3. przedstawiono porównawczo nośność łożysk konwencjonalnych i współcześnie rozwijanych w funkcji prędkości obwodowej czopów [4]. Wynika z niego, że obszar możliwego zastosowania łożysk ślizgowych wielowarstwowych w funkcji obciążenia znacznie rozszerzy się. Dalszych prac wymaga poszukiwanie materiałów na łożyska wielowarstwowe, szczególnie materiałów na warstwy ślizgowe, które pozwolą na pracę silników przy prędkości obwodowej czopów powyżej 12 m/s, przy obciążeniu przekraczającym znacznie 100 MPa.

Maksymalna wartość średniej temperatury powierzchni ślizgowych łożysk współczesnych silników, jak to wynika z wielu przeprowadzonych badań, wynosi 120 -180°C. Za normalnie spotykaną temperaturę uznaje się 140°C. Przyjmuje się, że maksymalna temperatura mogąca wystąpić w styku tarciovym równa się temperaturze topnienia fazy lub eutektyki o najniższej temperaturze topnienia. Tendencje rozwojowe silników spalinowych wskazują, że w najbliższej przyszłości konieczne będzie zapewnienie możliwości pracy łożysk przy temperaturze dochodzącej do 250 °C [5,6]. Spełnienie tego warunku wymusza taki dobór kompozycji stopu warstwy ślizgowej, aby temperatura topnienia fazy lub eutektyki o najniższej temperaturze topnienia była wyższa od temperatury pracy łożysk. Warunek ten musi spełniać także czynnik smarujący.



Rys. 3. Porównanie nośności łożysk konwencjonalnych i nowej technologii w funkcji prędkości ślizgania [4]
 Fig. 3. Load-carrying capacity of conventional and developed bearing [4]

3. Tendencje rozwojowe materiałów łożysk ślizgowych

Praktyczne stosowanie materiałów łożyskowych trwa prawie od dwustu lat. Doświadczenia historyczne wskazują, że rozwój materiałów łożyskowych postępuje z wykorzystaniem tej samej grupy materiałów, niezależnie od specyfiki rozwiązań konstrukcyjnych łożysk ślizgowych i ich zastosowań. Różnice w poszczególnych grupach stopów dotyczą przede wszystkim składu chemicznego materiału, liczby i udziału poszczególnych pierwiastków w stopie łożyskowym.

Rzeczywisty rozwój materiałów łożyskowych uwarunkowany jest wymaganiami konstrukcyjnymi, ruchowymi i wytrzymałościowymi stawianymi łożyskom ślizgowym. Początkowo stosowano stopy na osnowie cyny, nieco później ołowiu i miedzi, a od pięćdziesięciu lat dominują praktycznie stopy na osnowie aluminium. Wykorzystanie srebra jako materiału łożyskowego ograniczało się do specyficznych zastosowań szczególnie wysiłonych silników. Materiały polimerowe ze względu na swoje cechy użytkowe nie znalazły zastosowania na łożyska główne i korbowodowe silników trakcyjnych.

Zmieniały się również technologie wytwarzania stopów od ich wylewania, poprzez spiekanie proszków, platerowanie, galwaniczne nakładanie warstw do napyłania magnetronowego.

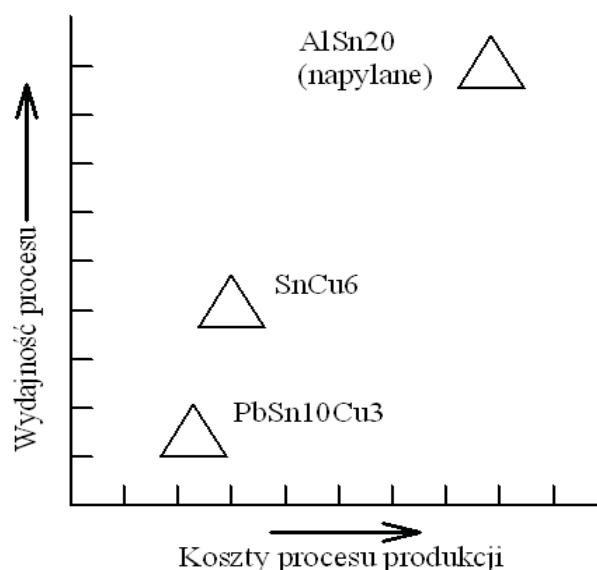
Z danych prognostycznych wynika, że tendencje rozwoju materiałów łożysk ślizgowych będą postępowały podobnie jak dotychczas, pod wpływem wymagań stawianych łożyskom ślizgowym, szczególnie wymagań ruchowych i wytrzymałościowych oraz wymagań związanych z ochroną środowiska, tak w zakresie stosowania proekologicznych materiałów jak i technologii wytwarzania łożysk. Doniosłą rolę w tendencji rozwojowej materiałów i technologii wytwarzania łożysk wielowarstwowych mogą także odgrywać koszty oraz wydajność procesu produkcji.

Pierwsza grupa wymagań wiąże się z postępującym wzrostem obciążenia i temperatury pracy łożysk, przewiduje się wzrost średnich nacisków jednostkowych w łożyskach silników trakcyjnych do 140-160MPa oraz temperatury pracy łożysk do 250 °C [5,6].

Druga grupa wymagań wynika ze spełnienia przepisów prawnych zwłaszcza art. 4 pkt.2 dyrektywy 2000/53/EG Unii Europejskiej i Rady z 18 września 2000r. w sprawie pojazdów wycofanych z eksploatacji, której załącznik nr II został zmieniony decyzją Rady z 20 sierpnia

2005 roku [8,10]. Wspomniana dyrektywa ujmuje precyzyjnie zalecenia dotyczące eliminowania materiałów z procesu wytwarzania, które stwarzają zagrożenie dla zdrowia i życia istot żywych m.in., stopów z dodatkami ołowiu. Dopuszcza czasowo stosowanie ołowiu jako składnika stopowego w materiałach łożyskowych, niemniej jednak planuje się wycofanie ołowiu jako składnika stopowego materiałów stosowanych na części pojazdów wprowadzanych do obrotu po 1 lipca 2008r.

W trzeciej grupie wymagań należy dostrzec zachowanie proporcji pomiędzy kosztami procesu produkcji łożysk (w tym kosztami materiałów) a wydajnością procesu produkcyjnego, które przedstawiona na Rys.4 [1]. Uznanie może się cieszyć stop SnCu6 ze względu na porównywalny do stopów tradycyjnie stosowanych, koszt procesu produkcji przy znacznie wyższej wydajności procesu. Opinie producentów łożysk wskazują, że łożyska z warstwami napyłanymi w najbliższej przyszłości nie znajdą powszechnego zastosowania w węzłach ślizgowych silników trakcyjnych (w ograniczonym zakresie przewiduje się ich dalsze stosowanie).



Rys. 4. Poglądowa zależność pomiędzy wydajnością a kosztami procesu produkcji łożysk wielowarstwowych
Fig. 4. Interdependence between on rate of production and manufacturing cost of multilayer bearings

Biorąc powyższe pod uwagę wielu producentów łożysk ślizgowych podjęło prace badawcze zmierzające do zastąpienia stopów na osnowie ołowiu lub stopów z dodatkami ołowiu stopami bezołowiowymi. Dotyczy to szczególnie materiałów łożysk stosowanych w silnikach trakcyjnych, zwłaszcza brązów ołowiowych i materiałów na osnowie ołowiu, które stosowane są na warstwy ślizgowe łożysk wielowarstwowych. Prace te koncentrują się na poszukiwaniu stopów bezołowiowych, które spełniałyby wymagania stawiane współczesnym łożyskom silników trakcyjnych. Z danych literaturowych [1,4,6] wynika, że poszukiwania dotyczą szczególnie materiałów bezołowiowych na warstwę ślizgową i warstwę nośną łożysk wielowarstwowych. Należy również zaznaczyć, że możliwe są zmiany materiałów obecnie stosowanych na przegrodę przeciwdyfuzyjną.

Materiał warstwy ślizgowej. Szczególnym zainteresowaniem badaczy oraz producentów łożysk cieszą się znane od dawna stopy cyny i miedzi (np. stop Sn94Cu6 przewidywany do zastąpienia klasycznego stopu PbSn10Cu3) oraz stopy aluminium (np. stop AlSn20Cu1, który stosowany jest od wielu lat w łożyskach dwuwarstwowych), można w przyszłości także rozważyć stosowanie stopów cyny, srebra i miedzi (np. stop Sn95Cu4Ag1 czy Sn92Cu6Ag2).

Prowadzone są także prace związane z modyfikowaniem składu chemicznego i struktury materiału warstw ślizgowych łożysk wielowarstwowych poprzez wykorzystanie technologii termicznych. Prace modyfikujące materiał warstwy ślizgowej obejmują wykorzystanie jako dodatków stopowych w warstwach TiO₂, SiC itp. Prowadzone są również prace nad praktycznym

zastosowaniem na warstwę ślizgową materiałów kompozytowych – np. kompozycja PAI-70MoS₂, przewidywana do zastąpienia stopu PbSn10Cu3 lub pochodnego.

Materiał warstwy nośnej. Duże zainteresowanie badaczy i producentów łożysk wzbudzają stopy miedzi i cyny z różnymi innymi pierwiastkami np. miedzi, cyny i srebra (CuSn5Ag1 przewidywany do zastąpienia klasycznego stopu CuPb23Sn2), stop miedzi, cyny i niklu (CuSn8Ni) oraz miedzi cyny i bizmutu (CuSn10Bi3) - przewidywane do zastąpienia klasycznego stopu CuPb30. Stop o składzie chemicznym CuPb10Sn10 zastąpiony zostanie stopem CuSn10. Ponadto ogólnie należy stwierdzić, że w grupie łożyskowych stopów aluminiowych w przyszłości będą stosowane te same lub podobne kompozycje stopów.

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

4. Podsumowanie

W ogólnym podsumowaniu prezentowanego opracowania należy stwierdzić, że czynnikami wymuszającymi zmiany w stosowaniu materiałów na łożyska silników trakcyjnych są: wzrost obciążenia łożysk, prędkość obwodowa czopów, względy ekonomiczne, deficyt niektórych materiałów a także względy ekologiczne. Osiągi współczesnych łożysk w mniejszym stopniu uzależnione są od odczynników materiałowych, w większym natomiast od konstrukcji łożysk i układu materiałów w warstwach łożysk (łożyska wielowarstwowe). Przyszłościowo zmiany w materiałach łożyskowych mogą w sposób dominujący wymuszać czynniki ekologiczne oraz cena materiałów stosowanych na łożyska ślizgowe, która w ciągu kilku ostatnich lat w XXI wieku wzrosła średnio o ok. 80%.

Literatura

- [1] Adam, A., Staschko, K., *Bleifreie Schichten für Lageranwendungen*, Galvanotechnik 6, pp. 1335-1341, 2005.
- [2] Kostrzewa, S., *Analiza zmian zachodzących w strukturze stopów łożysk eksploatowanych*, Dodatek do Biuletynu WAT 1, pp. 14-17, Warszawa 1985.
- [3] Kostrzewa S., Kowalczyk S. Roźniatowski K., *Materiały stosowane w łożyskach ślizgowych – stan obecny i tendencje rozwojowe*. Złożony do czasopisma „Inżynieria materiałowa”, 2006.
- [4] Kumada, Y., i in., *Development of lead-free plain bearing for heavy-duty engines*. JSME, Vol. 50, 2007.
- [5] Muller, M., *Moderne Motoren benötigen Gleitlager aus modernen Werkstoffen*. MTZ, Dodatek Werkstoffe im Automobilbau 5, pp. 38-40, 1997.
- [6] *Bearing materials*, Miba Gleitlager AG, Miba_lagerbauarten_englisch.pdf, 2000.
- [7] Norma PN-ISO 4381:1997 – *Odlewnicze stopy ołowiu i cyny na łożyska ślizgowe wielowarstwowe*, 1997.
- [8] Norma PN-ISO 4378-1:2002, *Łożyska ślizgowe - Terminy, definicje i klasyfikacja - Część 1: Konstrukcja, materiały łożyskowe i ich właściwości*, 2002.
- [9] *Dyrektywa 2000/53/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 18 września 2000r. w sprawie pojazdów wycofanych z eksploatacji*, 2000.
- [10] *Entscheidung des Rates vom 20. September 2005 zur Änderung des Anhangs II der Richtlinie 2000/53/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Altfahrzeuge*, 2005.