



# KNOWLEDGEPOOL

## USZKODZENIA ŁOŻYSK ŚLIZGOWYCH



## GRUPA MOTORSERVICE

JAKOŚĆ I SERWIS Z JEDNEJ RĘKI

Grupa Motorservice to organizacja zajmująca się dystrybucją w ramach międzynarodowej działalności firmy Rheinmetall Automotive na rynku wtórnym. Jest ona czołowym dostawcą podzespołów silników na niezależnym rynku części zamiennych. Pod markami premium Kolbenschmidt, Pierburg, TRW Engine Components oraz marką BF grupa Motorservice oferuje dealerom oraz warsztatom szeroki i bogaty asortyment najwyższej jakości części.

## RHEINMETALL

INNOWACYJNE TECHNOLOGIE W DZIEDZINIE MOBILNOŚCI

Międzynarodowy dostawca części motoryzacyjnych Rheinmetall zajmuje czołowe pozycje na poszczególnych rynkach dzięki kompetencjom w zakresie układów doprowadzania powietrza, redukcji substancji szkodliwych oraz pomp, a także projektowania, produkcji i dostawy części zamiennych do tłoków, bloków silnika oraz łożysk ślizgowych. Projektowanie produktów przebiega w ścisłej współpracy z renomowanymi producentami samochodów.



KOLBENSCHMIDT



PIERBURG



TRW  
EngineComponents

**Redakcja:**  
Motorservice, Technical Market Support

**Skład i produkcja:**  
Motorservice, Marketing

Przedruk, powielanie i tłumaczenie, również fragmentami, jest dozwolone tylko po uprzednim uzyskaniu naszej pisemnej zgody oraz podając źródło.

Możliwość zmian i niezgodności ilustracji zastrzeżona. Odpowiedzialność wykluczona.

**Wydawca:**  
© MS Motorservice International GmbH

### Odpowiedzialność

Wszystkie dane znajdujące się w tej broszurze zostały zgromadzone i zestawione na drodze dogłębnych badań. Pomimo tego mogą pojawić się błędy, źle przetłumaczone dane, braki w informacjach bądź niektóre z danych mogły w międzyczasie ulec zmianie. Nie gwarantujemy ani nie ponosimy odpowiedzialności prawnej za poprawność, kompletność, aktualność oraz jakość udostępnionych informacji. Wszelka odpowiedzialność za szkody, szczególnie za bezpośrednie lub pośrednie oraz materialne lub niematerialne szkody, wynikające z poprawnego lub błędnego użycia informacji lub niepełnych bądź błędnych danych zawartych w tej broszurze, jest wykluczona, o ile nie są one działaniem zamierzonym lub nie wynikają z rażącego zaniedbania z naszej strony. W równym stopniu nie ponosimy odpowiedzialności za szkody powstałe w wyniku napraw dokonywanych przez konserwatorów silników lub mechaników niedysponujących odpowiednią wiedzą techniczną, wymaganymi kompetencjami z zakresu napraw bądź dostatecznym doświadczeniem. Nie można przewidzieć, w jakim stopniu opisane tutaj procedury techniczne i wskazówki dotyczące napraw będą mogły zostać zastosowane w odniesieniu do przyszłych konstrukcji silników, dlatego musi zostać to sprawdzone w poszczególnym przypadku przez konserwatora silnika lub przez warsztat samochodowy.

<b>SPIS TREŚCI</b>		<b>STRONA</b>
<b>1.</b>	<b>PODSTAWY</b>	<b>5</b>
1.1	Miejsca łożyskowania w silniku	5
1.2	Łożyska główne i korbowe w mechanizmie korbowym	6
1.3	Funkcje łożysk ślizgowych	7
1.4	Konstrukcja łożysk ślizgowych	8
1.5	Demontaż łożysk ślizgowych w razie uszkodzenia	10
<b>2.</b>	<b>ZUŻYCIE WSKUTEK TARCIA PÓŁPŁYNNEGO</b>	<b>12</b>
2.1	Wprowadzenie	12
2.2	Zużycie adaptacyjne i podczas docierania	13
2.3	Nadtarcie	14
2.4	Zatarcie	16
2.5	Przypadki specjalne	18
2.5.1	Jednostronne zużycie krawędzi	20
2.5.2	Jednostronnie-przemienne zużycie krawędzi	22
2.5.3	Obustronne zużycie krawędzi	24
2.5.4	Szeroki ślad zużycia pośrodku łożyska w kierunku obwodowym	26
2.5.5	Paskowate zużycie pośrodku łożyska	28
2.5.6	Zużycie w przeciwległych obszarach powierzchni podziału	30
2.5.7	Obustronne zużycie w obszarach powierzchni podziału	32
2.5.8	Zawężona strefa zużycia na wierzchołku panewki łożyska	34
2.5.9	Wąskie pasma wolne od zużycia na brzegach łożyska	36
<b>3.</b>	<b>USZKODZENIA WSKUTEK ODDZIAŁYWANIA CZĄSTEK STAŁYCH</b>	<b>38</b>
3.1	Wprowadzenie	38
3.2	Powstawanie rowków	40
3.3	Osadzanie	42
3.4	Ślad wędrowania zanieczyszczenia	44
3.5	Podkładki na grzbiecie łożyska	46
<b>4.</b>	<b>EROZJA I KAWITACJA</b>	<b>48</b>
4.1	Erozja	48
4.2	Kawitacja	49
<b>5.</b>	<b>USZKODZENIA ZMĘCZENIOWE</b>	<b>52</b>
5.1	Wprowadzenie	52
5.2	Pęknięcia i wykruszenia warstwy ślizgowej	54
5.3	Pęknięcia i wykruszenia stopu łożyskowego	55
<b>6.</b>	<b>SZKODY WSKUTEK PRZEGRZANIA</b>	<b>56</b>
6.1	Wprowadzenie	56
6.2	Pęknięcia termiczne	57
6.3	Nadtopienia powłoki łożyska	58
6.4	Zabarwienia powłoki łożyska lub grzbietu łożyska	59
<b>7.</b>	<b>KOROZJA</b>	<b>60</b>
7.1	Korozja cierna	61
7.2	Korozja chemiczna	62
<b>8.</b>	<b>USZKODZENIA TARCZ OPOROWYCH</b>	<b>64</b>
<b>9.</b>	<b>SŁOWNIK POJĘĆ</b>	<b>66</b>

# UWAGI WSTĘPNE

Niniejsza broszura opisuje różne rodzaje uszkodzeń półpanewek i tarcz oporowych w silnikach. Ponadto pomaga ona specjalistom przy diagnozie i określaniu przyczyny uszkodzenia.

Warunkiem identyfikacji nie zawsze jednoznacznych przyczyn uszkodzeń jest zawsze całościowe podejście do problemu uszkodzeń silników. Często po naprawie silnika ponownie dochodzi do uszkodzeń i awarii, ponieważ zostały wymienione tylko uszkodzone części bez usunięcia przyczyny uszkodzeń.

Wskutek wysokiego stopnia złożoności współdziałania poszczególnych podzespołów łożyskowania wewnątrz silnika (patrz ilustracja) przyczyny uszkodzenia są z reguły trudne do zidentyfikowania. Nierzadko przyczyny nie należy szukać w samym łożysku, lecz w jego otoczeniu.

Mimo iż z reguły największe szkody powstają w łożysku, sama wymiana uszkodzonych elementów łożyska nie powoduje usunięcia przyczyny awarii.

W przypadku profesjonalnego remontu silnika należy najpierw określić rzeczywistą przyczyną uszkodzenia, aby w oparciu o tę informację przedsięwziąć odpowiednie kroki naprawy.

Do każdego z przypadków uszkodzenia przedstawione zostaną charakterystyczne obrazy uszkodzeń w oparciu o odpowiednie panewki łożysk. Należy pamiętać, że w przypadku różnych materiałów mogą występować różne obrazy uszkodzeń. Wskutek zmiennej skali występowania danego obrazu uszkodzenia możliwe są oczywiście odchylenia od ilustracji zawartych w niniejszej broszurze.

## 01 Otwór w obudowie (przykład: korbowód):

- Sztywność (elastyczność i wytrzymałość)
- Odkształcenie termiczne
- Tolerancje produkcyjne
- Jakość powierzchni
- Momenty dokręcania śrub

## 02 Czop wału:

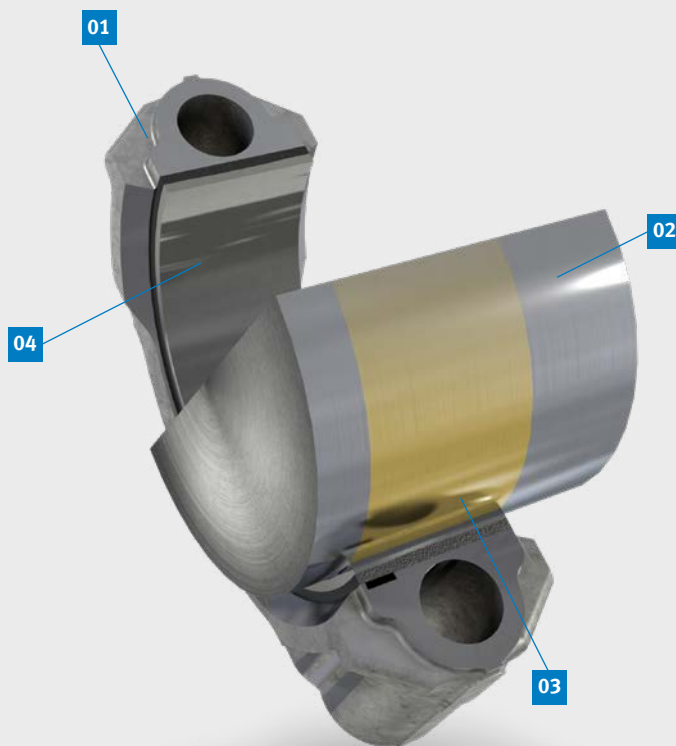
- Materiał (np. wał odlewany lub stalowy)
- Sztywność (elastyczność i wytrzymałość)
- Odkształcenie termiczne
- Tolerancje produkcyjne
- Jakość powierzchni

## 03 Smarowanie:

- Smar (lepkość, dodatki)
- Zasilanie olejem (poziom oleju, ciśnienie oleju, pompa oleju, przewody oleju, filtr oleju)
- Stopień zabrudzenia

## 04 Panewka łożyska:

- Materiał (obciążalność, odporność na zużycie, praca w trybie awaryjnym, zdolność do osadzania)
- Tolerancje produkcyjne
- Jakość powierzchni



# 1. PODSTAWY

## 1.1 MIEJSCA ŁOŻYSKOWANIA W SILNIKU

Widok silnika sześciocylindrowego pokazuje miejsca łożyskowania w silniku. Występuje siedem łożysk głównych, przy czym jedno z nich pełni rolę łożyska osiowego. Pomiędzy łożyskami głównymi znajdują się łożyska korbowe – po jednym dla każdego cylindra.

Pozostałe miejsca łożyskowania, jak łożyska wałka rozrządu, panewki korbowodowe oraz łożyska wałków wyrównowazających są z reguły realizowane nie przy użyciu półpanewek, lecz przez zwykłe tuleje łożyskowe.

Niniejsza broszura koncentruje się na półpanewkach, stosowanych w mechanizmie korbowym do łożyskowania korbowodów i wału korbowego.



01 łożysko korbowe



02 Tarcze oporowe, łożysko główne lub łożysko pasowane



03 łożysko główne



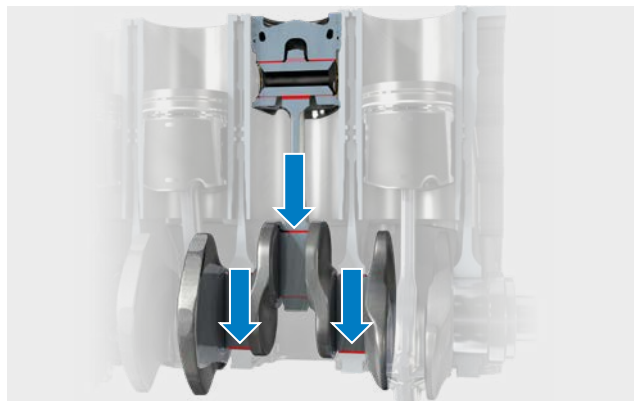
04 Panewki korbowodowe

## 1.2 ŁOŻYSKA GŁÓWNE I KORBOWE W MECHANIZMIE KORBOWYM

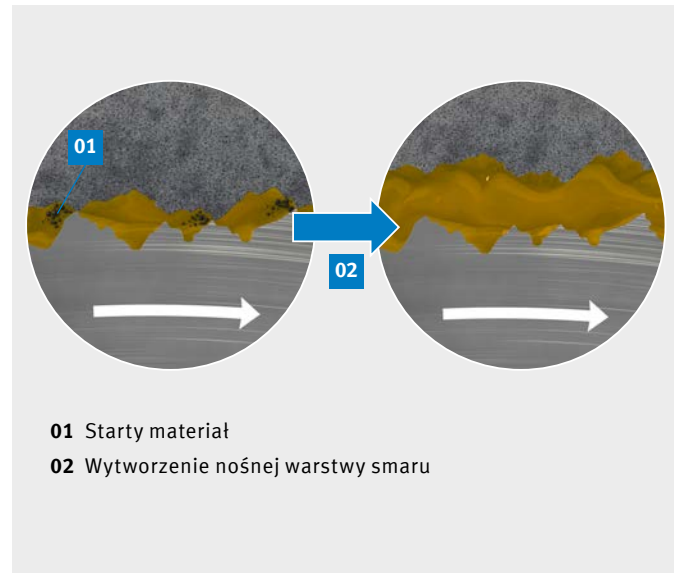
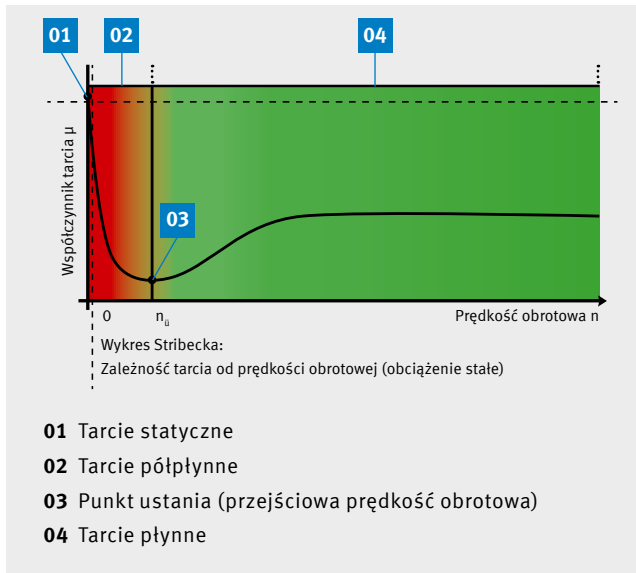
Łożyska korbowe łączą korbowod z wałem korbowym. Panewki łożyska mogą różnić się wykonaniem od strony korbowodu i pokrywy główki korbowodu, przy czym panewki od strony korbowodu są narażone na znacznie wyższe obciążenia. Za ich pośrednictwem przenoszona jest na wał korbowy siła spalania powstająca po zapłonie paliwa. W przypadku silników z zapłonem iskrowym również panewka łożyska od strony pokrywy główki korbowodu podlega wysokim obciążeniom, gdyż wskutek wyższej prędkości obrotowej niż w silnikach wysokoprężnych działają wysokie siły masowe. Olej do smarowania łożysk korbowych jest dostarczany za pośrednictwem wału korbowego przez otwory w łożyskach głównych.

Wał korbowy jest łożyskowany na łożyskach głównych. Również te łożyska są dzielone na górną i dolną panewkę łożyska. W przypadku łożysk głównych siły spalania powodują większe obciążenie dolnej panewki łożyska. Siły wprowadzane do wału korbowego przez korbowody są przenoszone przez kilka łożysk głównych, dzięki czemu są one mniej obciążone niż panewki łożysk korbowych od strony korbowodów. W górnej panewce łożyska głównego znajduje się rowek olejowy, doprowadzający olej poprzez otwory w wale korbowym do łożysk korbowych.

Aby umożliwić dodatkowe przenoszenie sił osiowych, powstających na przykład w chwili naciśnięcia sprzęgła, jako łożyska osiowe stosowane są tarcze oporowe lub łożyska zespolone.



## 1.3 FUNKCJE ŁOŻYSK ŚLIZGOWYCH



Podstawowym zadaniem łożysk ślizgowych jest przejmowanie i przenoszenie sił pomiędzy wzajemnie poruszającymi się elementami. Ponadto mają one minimalizować tarcie, umożliwiając w ten sposób ruch obrotowy praktycznie bez zużycia. Podczas eksploatacji każdego łożyska występują siły tarcia, przeciwdziałające obrotowi i powodujące wydzielanie się ciepła. Aby zmniejszyć te siły i odprowadzić ciepło tarcia wymagany jest film smarny pomiędzy łożyskiem a czopem wału. Bez tego filmu smarnego bezpośredni styk elementów powoduje tarcie suche, prowadzące do zużycia łożyska przez jego ścieranie.

Hydrodynamiczne łożyska ślizgowe, w których ruch względny pomiędzy panewką łożyska a czopem powoduje wytworzenie nośnego filmu smarnego, aż do określonej prędkości obrotowej oderwania przechodzą przez obszar tarcia półpłynnego.

Przy niskich prędkościach obrotowych hydrodynamiczna siła nośna nie wystarcza do całkowitego oddzielenia od siebie współpracujących powierzchni. Dochodzi więc do częściowego tarcia ciał stałych między powierzchniami ślizgowymi, co niesie ze sobą niebezpieczeństwo uszkodzenia łożyska. Dopiero wraz ze wzrostem prędkości spadają siły tarcia i powstaje ciągła warstwa smaru. Występuje wtedy tarcie płynne, przy którym obie powierzchnie ślizgowe są całkowicie oddzielone od siebie. W celu zapewnienia niezawodnego działania łożysk, ciśnienie smaru w szczelinie łożyska musi być wystarczająco duże, aby móc przejąć siły działające na łożysko bez styku między powierzchniami ślizgowymi. Jest to idealny punkt pracy dla łożysk ślizgowych. Jednak również ta postać tarcia powoduje wydzielanie ciepła, dlatego do jego odprowadzania konieczne jest wystarczające smarowanie.

## 1.4 KONSTRUKCJA ŁOŻYSK ŚLIZGOWYCH

Zgodnie z normą DIN 50282 („Zachowanie trybologiczne metalicznych materiałów łożysk ślizgowych – pojęcia podstawowe”) można scharakteryzować zachowanie trybologiczne materiału łożysk ślizgowych pojęciami takimi jak docieranie, zdolność do osadzania, praca w trybie awaryjnym, odporność na zużycie oraz zdolność adaptacyjna. Wymagania wobec łożyska ślizgowego są dlatego decydujące dla wyboru odpowiedniego materiału.

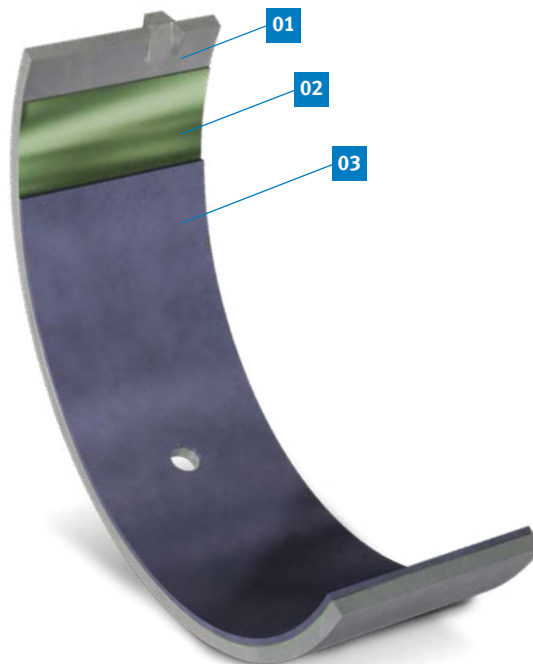
Rozróżniane są dwie rodziny materiałów łożysk ślizgowych.

### ŁOŻYSKA DWUMETALOWE

- Kompozyty stalowo-aluminiowe

Łożyska dwuskładnikowe składają się ze stalowej panewki, warstwy pośredniej z czystego aluminium i naniesionej warstwy metalu łożyskowego. W większości przypadków stosowane są stopy aluminium z dodatkami cyny, miedzi i krzemu.

### Widok struktury łożyska



- 01 Grzbiet stalowy
- 02 Warstwa pośrednia (w razie potrzeby)
- 03 Materiał łożyska



### Stal-aluminium

Materiał łożyska: aluminium



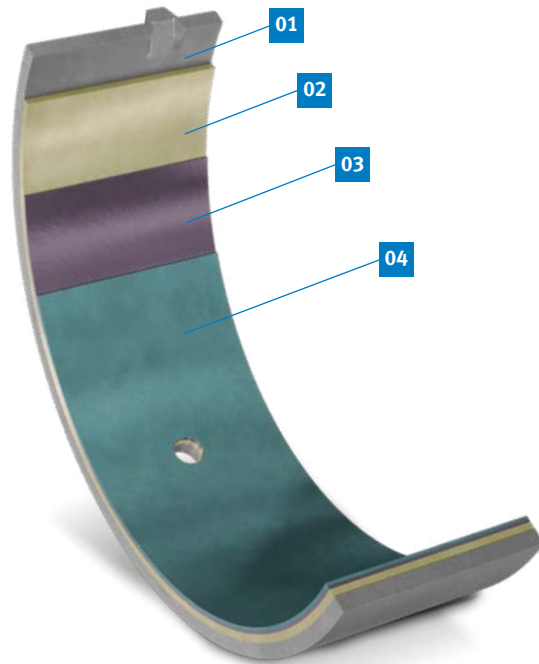
## ŁOŻYSKA TRÓJMETALOWE

- Spiekane lub odlewane kompozyty stalowo-brązowe lub stalowo mosiężne z warstwą ślizgową Overlay
- Kompozyty stalowo-aluminiowe z nakładką

W zależności od zakresu zastosowania i jego specyficznych wymagań, warstwa ślizgowa łożysk trójmetalowych jest наносzona w postaci dodatkowej warstwy ślizgowej metodą metalizowania katodowego bądź galwanicznej albo jako warstwa lakieru ślizgowego. Stop łożyskowy (stop aluminium, brązu lub mosiądzu) jest наносzony na stalowy grzbiet przez platerowanie, odlewanie lub spiekanie. W razie potrzeby наносzona jest warstwa pośrednia z niklu lub stopu niklowego, stanowiąca blokadę dyfuzyjną pomiędzy materiałem łożyska a warstwą bieżną (warstwą ślizgową).

Odpowiednio do wymagań łożyska ślizgowe mogą być wykonywane z różnych materiałów. Często bardziej obciążona panewka łożyska wykonywana jest z innego materiału niż przeciwległa panewka. W przypadku silnika w układzie V panewki korbowe są wykonane od strony korbowodu jako półpanewki z powłoką наносzoną przez metalizowanie katodowe, a od strony pokrywy jako półpanewki z kompozytu stalowo-aluminiowego bez powłoki.

### Widok struktury łożyska



- 01 Grzbiet stalowy
- 02 Materiał łożyska
- 03 Warstwa pośrednia (w razie potrzeby)
- 04 Warstwa bieżna (warstwa ślizgowa)



#### Galwanizacja

Materiał łożyska: brąz  
Warstwa pośrednia  
Warstwa bieżna: galwanizowana



#### Lakier ślizgowy

Materiał łożyska: aluminium lub brąz  
Warstwa bieżna: lakier ślizgowy



#### Metalizowanie katodowe

Materiał łożyska: mosiądz lub brąz  
Warstwa pośrednia (w przypadku brązu)  
Warstwa bieżna: metalizowana katodowo

## 1.5 DEMONTAŻ ŁOŻYSK ŚLIZGOWYCH W RAZIE USZKODZENIA

Na co należy zwracać uwagę przy demontażu panewek łożysk w przypadku uszkodzenia:

- Należy opisać panewki łożysk miejscem osadzenia i pozycją w torze łożyska głównego, aby umożliwić lepszą ocenę przebiegu szkody. Miejsce osadzenia pozwala często doprecyzować ten przebieg, uzupełniając informacje pozyskane z wyglądu szkody. Na przykład w razie wygięcia wału korbowego jednostronne ślady zużycia znajdują się przede wszystkim na pierwszym i ostatnim łożysku głównym w torze.
  - Konieczne jest udokumentowanie warunków pracy (czasu trwania, rodzaju obciążenia) i innych czynników jak np. stosowanego oleju, aby umożliwić lepszą ocenę uszkodzenia.
  - Należy także udokumentować zmiany powstałe w innych podzespołach, np. w wale korbowym. W większości przypadków widoczne są uszkodzenia elementu współpracującego łożyska ślizgowego. Uszkodzenia łożyska są często konsekwencją usterek innych podzespołów silnika.
- Aby umożliwić późniejszą analizę należy pobrać próbkę używanego oleju i zachować filtr oleju. Możliwe jest wykrycie i udokumentowanie pozostałości cząstek stałych, co ułatwia zidentyfikowanie potencjalnych przyczyn uszkodzenia.
  - Udokumentować należy również momenty obrotowe, konieczne do odkręcenia połączeń gwintowych w silniku. Jeżeli śruby nie zostały dokręcone właściwym momentem obrotowym, mogą występować ruchy względne pomiędzy panewką łożyska a otworem w korpusie.



Dokręcanie śrub zgodnie z wymaganiami producenta



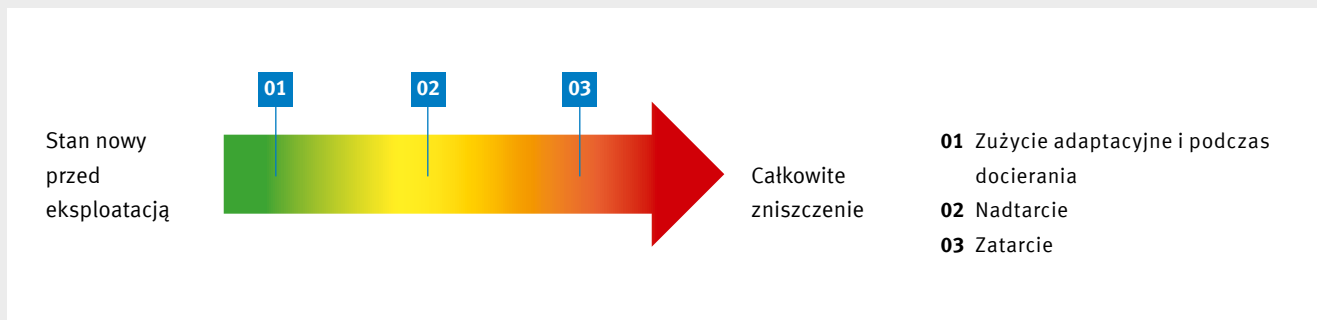
Udokumentować osadzenie i położenie łożyska



Porównanie starej i nowej panewki łożyska ślizgowego

## 2. ZUŻYCIE WSKUTEK TARCIA PÓŁPŁYNNEGO

### 2.1 WPROWADZENIE



„Zużycie to ciągła utrata materiału z powierzchni ciała stałego wskutek oddziaływań mechanicznych, to znaczy przez styk i ruchy względne stałego, ciekłego lub gazowego elementu współpracującego.” (DIN 50320)

W przypadku panewek łożysk zużycie powodowane jest przez styk metaliczny wskutek tarcia półpłynnego pomiędzy łożyskiem a czopem wału.

Sytuacja taka występuje na przykład podczas każdego uruchamiania i zatrzymywania silnika. Pomiędzy bezruchem a prędkością obrotową oderwania wału zastosowane łożyska przechodzą przez obszar tarcia półpłynnego. W tym zakresie nośność warstwy smaru jest nie zawsze wystarczająca, aby całkowicie oddzielić od siebie ślizgowe elementy współpracujące (patrz rozdział „1.3 Funkcje łożysk ślizgowych”). Zwłaszcza w przypadku pojazdów z automatycznym systemem start-stop ważną rolę odgrywają materiały odporne na zużycie. Również duże obciążenia na niskich obrotach mogą uniemożliwić osiągnięcie zakresu tarcia płynnego, pociągając za sobą zużycie łożyska. Spowodowane błędami montażowymi czy odkształcenia kanału łożyska stanowią inne możliwe przyczyny zużycia.

Przez pierwszy okres pracy łożyska następuje wzajemne dotarcie ślizgowych elementów współpracujących. Wygładzane są przy tym szczyty chropowatości i następuje ujednoczenie profilu chropowatości. To zużycie adaptacyjne i podczas docierania należy traktować jako efekt pożądany, nie stanowiący żadnego pogorszenia działania łożyska. Jednak w przypadku zintensyfikowania wpływu tarcia półpłynnego to typowe zużycie adaptacyjne i podczas docierania przechodzi do fazy nadtarcia, które może skutkować zatarciem i tym samym doprowadzić do całkowitego zniszczenia łożyska.

## 2.2 ZUŻYCIĘ ADAPTACYJNE I PODCZAS DOCIERANIA

### OPIS

- Błyszczące, gładkie ślady podparcia w obszarze obciążenia głównego
- Łagodne końce śladów
- Jeszcze widoczna struktura obróbki łożyska



**Dolna panewka łożyska głównego, wykonana z kompozytu stalowo-aluminiowego (bez powłoki)**

Pośrodku łożyska widoczny jest błyszczący pas zużycia, natomiast w obszarze podcięcia i krawędzi łożyska nie ma śladów eksploatacji. Tu widoczna jest jeszcze struktura obróbki łożyska.

### OCENA

Przez pierwszy okres pracy łożyska następuje wygładzenie szczytów chropowatości i ujednoczenie profilu chropowatości wskutek kontaktu łożyska i czopu wału w zakresie tarcia półpłynnego. Zużycie ma miejsce przede wszystkim w obszarze działania głównych obciążeń łożyska lub w miejscach makroskopowych niezgodności kształtu (patrz rozdział „2.5 Przypadki specjalne”).

Zużycie adaptacyjne i podczas docierania jest pożądanym efektem, nie oznaczającym uszkodzenia łożyska.

### WSKAZÓWKA

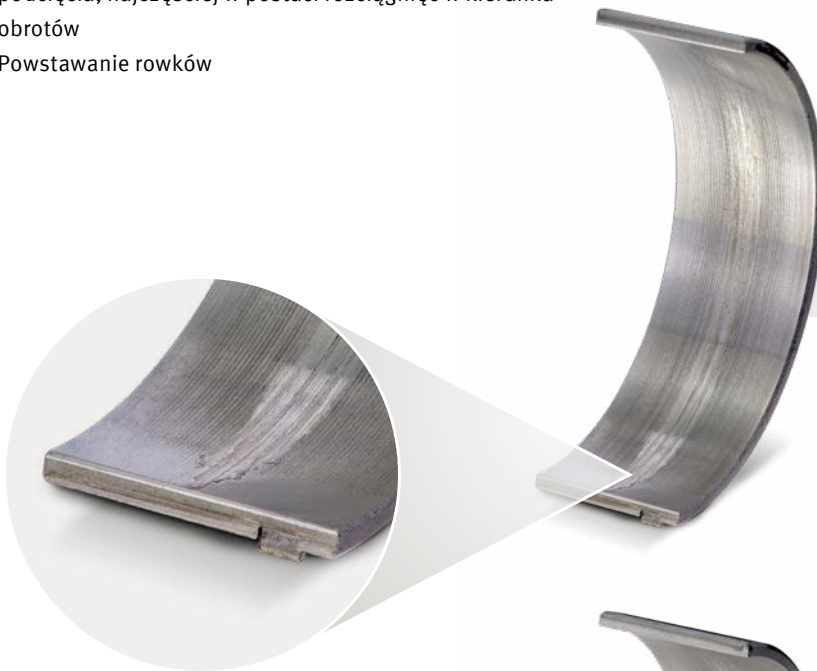
Działanie łożyska nie jest zakłócone.

Jeżeli dojdzie jednak do intensyfikacji zużycia adaptacyjnego i podczas docierania na przykład wskutek większych błędów kształtu lub zbieżności, mogą wystąpić nadtarcia, zatarcia lub uszkodzenia zmęczeniowe.

## 2.3 NADTARCIE

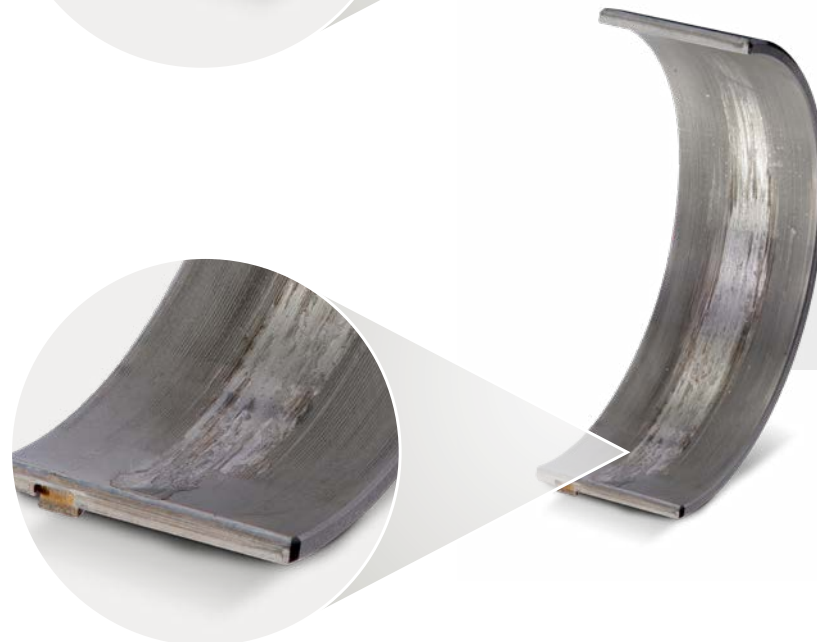
### OPIS

- Błyszczące, gładkie ślady tarcia półpłynnego przede wszystkim w obszarze obciążenia głównego
- Przesunięcia warstwy bieżnej lub ślizgowej aż do obszaru podcięcia, najczęściej w postaci rozciągnięć w kierunku obrotów
- Powstawanie rowków



**Panewka łożyska korbowego od strony pokrywy, wykonana z kompozytu stalowo-aluminiowego**

Pośrodku łożyska widoczny jest błyszczący ślad tarcia półpłynnego, powiązany z powstawaniem rowków. Dochodzi do przesunięcia śladów przylegania aż do obszaru podcięcia.



**Panewka łożyska korbowego od strony korbowodu, wykonana z kompozytu stalowo-mosiężnego z powłoką nanoszoną przez metalizowanie katodowe**

Widoczny jest błyszczący ślad tarcia półpłynnego, powiązany z częściowym powstawaniem rowków. Powłoka nanoszona przez metalizowanie katodowe jest przesunięta aż do obszaru podcięcia. Obszar z zatartą już powłoką nanoszoną przez metalizowanie katodowe jest stopiony.

## OCENA

Nadtarcia mogą rozwijać się ze śladów styku, powstających przy zintensyfikowaniu wpływu tarcia półpłynnego. Jeżeli stan ten jest tymczasowy, możliwe jest ich ponowne wyrównanie, co nie pogarsza sprawności łożyska. Ocena tego stanu jest jednak bardzo trudna.

Gdy stan tarcia półpłynnego występuje długotrwale, nadtarcia ulegają utwardzeniu i może dojść do powstawania rowków na czopie. Konsekwencją są zatarcia danych panewek łożysk, przy czym skutek obciążenia termicznego dochodzi do efektów zgrzewania panewki łożyska z czopem.

---

## MOŻLIWE PRZYCZYNY

- Kanał olejowy nie jest wolny: przyczyną może być nieprawidłowy montaż panewek łożysk lub zatkanie otworu oleju, do czego często dochodzi przy stosowaniu biopaliwa
- Zbyt mała szczelina smaru: skutek tego niemożliwe jest wytworzenie nośnej warstwy smaru. Przyczyna: nieprawidłowości kształtu i geometrii wału lub czopa bądź skrzywienie wału korbowego
- Zbyt duża szczelina smaru: nie jest osiągnięte ciśnienie hydrodynamiczne wymagane do stworzenia nośnej warstwy smaru
- Zbyt niski poziom oleju lub zbyt niskie ciśnienie oleju
- Zatkany filtr oleju
- Uszkodzona pompa oleju
- Nieszczelności przewodów olejowych
- Przeciążenie łożysk: obciążenie powyżej parametrów konstrukcyjnych. Przyczyny: np. tuning chipowy lub zatarcie tłoków
- Oddziaływanie cząstek stałych: cząstki stałe dostają się do szczeliny łożyskowej i powodują nadtarcie czopa i łożyska. W przypadku osadzania lub powstawania rowków pojawiają się krawędzie, co prowadzi do znacznego zwiększenia tarcia półpłynnego

---

## ŚRODKI ZARADCZE

Nadtarcia mogą doprowadzić do zatarcia łożyska. Dlatego ważna jest wymiana łożyska oraz usunięcie przyczyny:

- Sprawdzić, czy wszystkie kanały olejowe są wolne i drożne
- Sprawdzić rzeczywisty luz łożyskowy: jeżeli nie mieści się on w przedziale tolerancji, przyczyną są często błędy kształtu i geometrii (patrz rozdział: „2.5 Przyrodki specjalne”)
- Sprawdzić sprawność filtra oleju, zawsze przeprowadzać wymianę oleju i filtra oleju zgodnie z wymaganiami producenta
- Sprawdzić i ewentualnie wyregulować poziom oleju i ciśnienie oleju
- Sprawdzić sprawność pompy oleju
- Sprawdzić szczelność przewodów oleju
- Sprawdzić obciążenie poszczególnych łożysk
- Sprawdzić osadzanie cząstek stałych w całym zestawie łożyskowym: jeżeli występują wgniecione cząstki stałe, ich oddziaływanie mogło doprowadzić do nadtarcia (patrz rozdział: „3. Uszkodzenia wskutek oddziaływania cząstek stałych”)

## 2.4 ZATARCIE

### OPIS

- Wyrwane fragmenty materiału
- Znaczne urowkowanie i deformacje
- Odstonięcie oraz schropowacenie i spękanie
- Spadek wymiaru rozwarcia w porównaniu do nieuszkodzonych sąsiednich panewek łożysk, widoczny gołym okiem
- Oznaki przegrzania, np. nadtopienia materiału łożyska i przebarwienia, występujące często w połączeniu z zatarciami



**Dolna panewka łożyska głównego, wykonana z kompozytu stalowo-aluminiowego**

Widoczne są nadtopienie i przesunięcie materiału łożyska poza jego krawędź oraz spękana powierzchnia z wyrwanymi fragmentami materiału.



## OCENA

Wysoka temperatura w obszarze silnego tarcia półpłynnego powoduje lokalne efekty zgrzewania pomiędzy czopem a łożyskiem. Te zgrzewy ulegają ponownemu rozerwaniu, przez co dochodzi do wrywania materiału łożyska, miększego od materiału wału korbowego. Przyczyną jest brak smaru. Spowodowane nim nagrzewanie powoduje uszkodzenia wskutek przegrzania,

stanowiące częsty efekt uboczny zatarcia łożyska. Starty materiał, dostający się do sąsiednich łożysk przez obieg oleju, może powodować tam uszkodzenia wskutek oddziaływania cząstek stałych lub nadarcia.

Nadarcie jest pierwszym etapem zatarcia łożyska.

---

## MOŻLIWE PRZYCZYNY

- Kanał olejowy nie jest wolny: przyczyną może być nieprawidłowy montaż panewek łożysk lub zatkanie otworu oleju, do czego często dochodzi przy stosowaniu biopaliwa
- Zbyt mała szczelina smaru: wskutek tego niemożliwe jest wytworzenie nośnej warstwy smaru. Przyczyna: nieprawidłowości kształtu i geometrii wału lub czopa bądź skrzywienie wału korbowego
- Zbyt duża szczelina smaru: nie jest osiągnięte ciśnienie hydrodynamiczne wymagane do stworzenia nośnej warstwy smaru
- Zbyt niski poziom oleju lub zbyt niskie ciśnienie oleju
- Zatkany filtr oleju
- Uszkodzona pompa oleju
- Nieszczelności przewodów olejowych
- Przeciążenie łożysk: obciążenie powyżej parametrów konstrukcyjnych. Przyczyny: np. tuning chipowy lub zatarcie tłoków
- Oddziaływanie cząstek stałych: cząstki stałe dostają się do szczeliny łożyskowej i powodują nadarcie czopa i łożyska. W przypadku osadzania lub powstawania rowków pojawiają się krawędzie, co prowadzi do znacznego zwiększenia tarcia półpłynnego

---




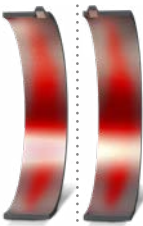

## ŚRODKI ZARADCZE



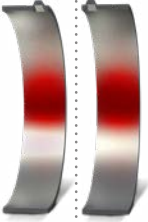
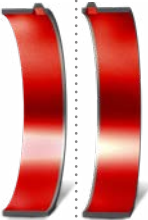
Zatarcie stanowi jeden z najpoważniejszych rodzajów uszkodzenia łożyska. łożysko jest zniszczone i musi zostać wymienione. Dalsza eksploatacja takiego łożyska może spowodować uszkodzenie innych podzespołów silnika.

- Sprawdzić, czy wszystkie kanały olejowe są wolne i drożne
- Sprawdzić rzeczywisty luz łożyskowy: jeżeli nie mieści się on w przedziale tolerancji, przyczyną są często błędy kształtu i geometrii (patrz rozdział: „2.5 Przypadki specjalne”)
- Sprawdzić sprawność filtra oleju, zawsze przeprowadzać wymianę oleju i filtra oleju zgodnie z wymaganiami producenta
- Sprawdzić i ewentualnie wyregulować poziom oleju i ciśnienie oleju
- Sprawdzić sprawność pompy oleju
- Sprawdzić szczelność przewodów oleju
- Sprawdzić obciążenie poszczególnych łożysk
- Sprawdzić osadzanie cząstek stałych w całym zestawie łożyskowym: jeżeli występują osadzone cząstki stałe, ich oddziaływanie mogło doprowadzić do nadarcia (patrz rozdział: „3. Uszkodzenia wskutek oddziaływania cząstek stałych”)

## 2.5 PRZYPADKI SPECJALNE

W niektórych przypadkach panewki łożysk wykazują specyficzne ślady przylegania. Przedstawione tu ilustracje uszkodzeń ułatwią przyporządkowanie obrazu uszkodzenia do ewentualnego rodzaju uszkodzenia.

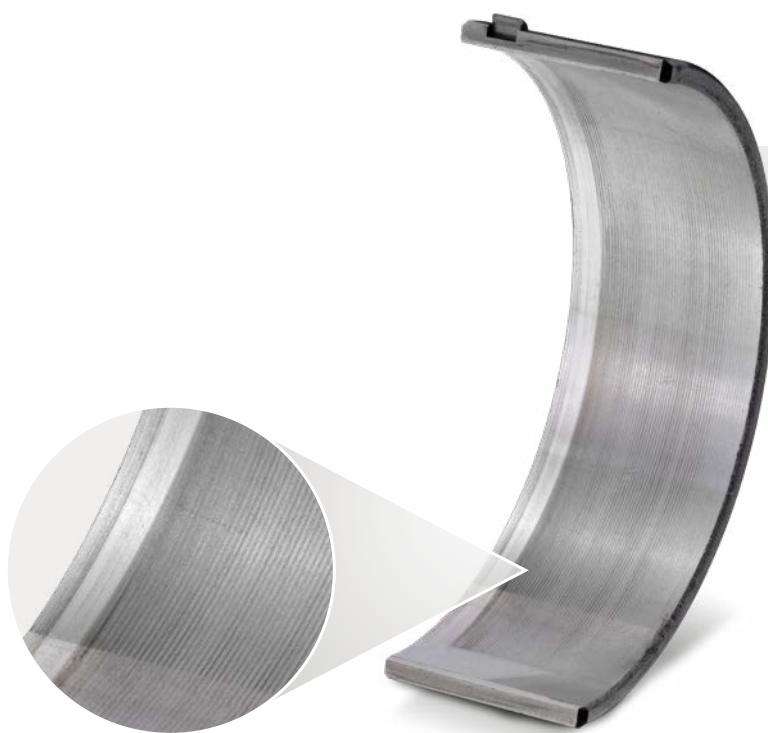
Dolna panewka łożyska	Górna panewka łożyska	Rozdział
		<b>2.5.1</b> <b>Jednostronne zużycie krawędzi</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• W panewce górnej i dolnej odpowiednio po tej samej stronie</li></ul>
		<b>2.5.2</b> <b>Jednostronnie-przemienne zużycie krawędzi</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• W panewce górnej i dolnej przesunięte po przekątnej</li><li>• Różne obszary mogą wykazywać odmienny stan zużycia</li></ul>
		<b>2.5.3</b> <b>Obustronne zużycie krawędzi</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• W panewce górnej i dolnej po obu stronach</li></ul>
		<b>2.5.4</b> <b>Szeroki ślad zużycia pośrodku łożyska</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• W panewce górnej i dolnej, z reguły o tej samej intensywności</li><li>• W przypadku panewek łożysk głównych w panewkach górnych brak wyraźnego obrazu zużycia wskutek występowania rowka olejowego</li></ul>
		<b>2.5.5</b> <b>Paskowate zużycie pośrodku łożyska</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• W panewce górnej i dolnej, z reguły o tej samej intensywności</li><li>• W górnych panewkach łożysk głównych z rowkiem olejowym brak wyraźnego obrazu zużycia</li></ul>

Dolna panewka łożyska	Górna panewka łożyska	Rozdział
		<b>2.5.6</b> <b>Zużycie w przeciwległych obszarach</b> <b>powierzchni podziału</b>
		<b>2.5.7</b> <b>Obustronne zużycie w obszarach</b> <b>powierzchni podziału</b>
		<b>2.5.8</b> <b>Zawężone strefy zużycia na wierzchołku</b> <b>panewki łożyska</b>
		<b>2.5.9</b> <b>Wąskie pasma wolne od zużycia na brzegach</b> <b>łożyska</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mogą występować jednostronnie lub obustronnie</li> </ul>

## 2.5.1 JEDNOSTRONNE ZUŻYCIE KRAWĘDZI

### OPIS

- Błyszczący, jasny pasek zużycia na jednej krawędzi łożyska
- W obszarze zużycia krawędzi: w poważnych przypadkach widoczne są objawy zmęczenia materiału lub nadтарcia
- Objawy przegrzania w postaci na przykład przebarwienia wskutek obciążenia termicznego lub osadu nagaru olejowego na grzbiecie łożyska w obszarze zużytej krawędzi



**Dolna panewka łożyska głównego, wykonana z kompozytu stalowo-aluminiowego**

Widoczna jest jednostronnie zużyta krawędź łożyska. Zużycie ma postać zużycia adaptacyjnego i wskutek docierania. Działanie łożyska nie jest zakłócone.

## OCENA

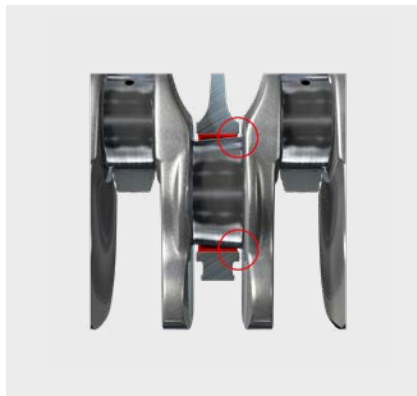
Szczelina smaru na krawędzi łożyska jest zbyt mała, przez co film smarny nie wytwarza wystarczającej nośności i miejscowo dochodzi do tarcia półpłynnego. Przy utrzymującym się braku smaru wzrasta temperatura przez ciepło powstające wskutek tarcia. Może to doprowadzić do uszkodzeń wskutek przegrzania, takich jak ciemne zabarwienie grzbietu łożyska. Wzrastający poziom temperatury powoduje jeszcze większy brak smaru, a cały proces ulega samowzmocnieniu aż do wystąpienia pierwszych objawów

nadarcia i uszkodzeń zmęczeniowych wskutek zwiększonego nacisku powierzchniowego.

W zależności od intensywności zużycia krawędzi łożyska efekt ten można traktować jako typowe zjawisko. Podczas pracy wał korbowy ulega wygięciu, które wpływa przede wszystkim na zewnętrzne łożyska główne. Dlatego zewnętrzne łożyska wykazują zwiększone zużycie krawędzi.

## MOŻLIWE PRZYCZYNY

- Stożkowo zeszlifowany czop (Rys. 1)
- Stożkowy otwór łożyska (Rys. 2)
- Jednostronnie za duży promień wyokrąglenia (Rys. 3)
- Skrzywienie wału korbowego, wał korbowy nie został wyważony podczas montażu lub jest odkształcany podczas eksploatacji wskutek obciążeń mechanicznych
- Niezbieżny otwór łożyska wskutek zastosowania nieprawidłowego momentu dokręcania śrub podczas montażu silnika lub nadmiernego skrzywienia kanału łożyska głównego wskutek nagrzewania podczas pracy
- Osiowe przesunięcie panewek



Rys. 1: Stożkowo zeszlifowany czop



Rys. 2: Stożkowy otwór łożyska



Rys. 3: Jednostronnie za duży promień wyokrąglenia

## ŚRODKI ZARADCZE

W zależności od postępu zużycia możliwa jest dalsza eksploatacja łożysk ze zużytymi krawędziami.

Jednakże jeżeli ten obraz uszkodzenia potęguje się już po kilku roboczogodzinach, należy przedsięwziąć odpowiednie kroki w celu znalezienia przyczyny:

- Sprawdzić prawidłową geometrię wału korbowego: wymiar, odchyłka kołowości, walcowatość, falistość, chropowatość powierzchni
- Sprawdzić prawidłowość otworu nieprzelotowego kanału łożyska: wymiar, odchyłka kołowości, walcowatość, powierzchnia
- Wyważyć wał korbowy podczas montażu i sprawdzić obciążenie wału
- Sprawdzić zbieżność gniazda łożyska głównego: podczas pracy silnika zawsze zwracać uwagę na wymagane momenty dokręcania oraz kolejność dokręcania połączeń gwintowych. W trakcie eksploatacji silnik musi być wystarczająco chłodzony, gdyż zbyt wysokie temperatury mogą prowadzić do zwichrzenia
- Przed montażem sprawdzić prostokątność powierzchni korbowodów

## 2.5.2 JEDNOSTRONNIE-PRZEMIENNE ZUŻYCIE KRAWĘDZI

### OPIS

- Błyszczący, jasny pasek zużycia na przemian na jednej krawędzi łożyska panewki górnej i dolnej
- W obszarze zużycia krawędzi: możliwe są widoczne objawy zmęczenia materiału lub nadtarcia
- Możliwe objawy przegrzania w postaci na przykład przebarwienia wskutek obciążenia termicznego lub osadu nagaru olejowego na grzbiecie łożyska w obszarze zużytej krawędzi



**Panewka łożyska korbowego od strony korbowodu, wykonana z kompozytu stalowo-mosiężnego z powłoką nanoszoną przez metalizowanie katodowe**



**Panewka łożyska korbowego od strony pokrywy, wykonana z kompozytu stalowo-aluminiowego**

Widoczne są ślady przylegania, występujące po przekątnej. Intensywność zużycie krawędzi łożyska jest różna w różnych obszarach. Działanie łożyska nie jest zakłócone.

## OCENA

Szczelina smaru na krawędzi łożyska jest zbyt mała, przez co film smarny nie wytwarza wystarczającej nośności i miejscowo dochodzi do tarcia półpłynnego. Przy utrzymującym się braku smaru wzrasta temperatura przez ciepło powstające wskutek tarcia. Może to doprowadzić do uszkodzeń wskutek przegrzania, takich jak ciemne zabarwienie grzbietu łożyska.

Wzrastający poziom temperatury powoduje jeszcze większy brak smaru, a cały proces ulega samowzmocnieniu aż do wystąpienia pierwszych objawów nadтарcia i uszkodzeń zmęczeniowych wskutek zwiększonego nacisku powierzchniowego.

## MOŻLIWE PRZYCZYNY

- Wady zbieżności czopu lub korpusu (Rys. 1)
- Nieprawidłowe promienie wyokrąglenia wału
- „Zataczanie” korbowodu (skrzywiony lub skręcony) (Rys. 2)
- Odkształcenie skrzyni korbowej



Rys. 1: Błąd zbieżności



Rys. 2: „Zataczanie” korbowodu

## ŚRODKI ZARADCZE

W zależności od postępu zużycia możliwa jest dalsza eksploatacja łożysk ze zużytymi krawędziami.

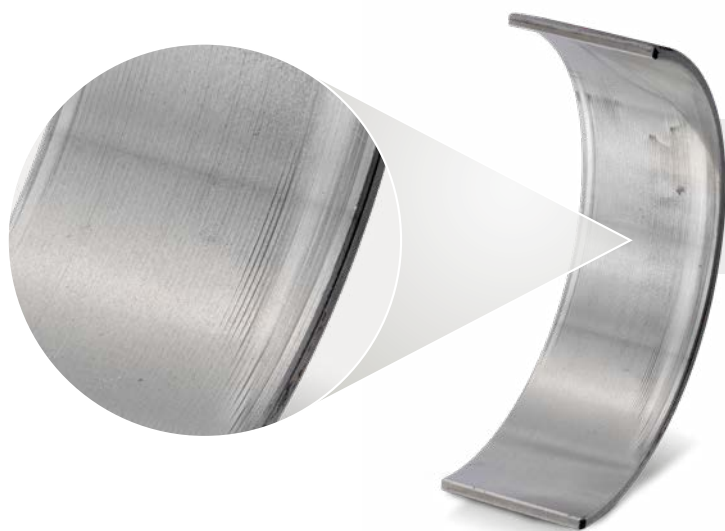
Jednakże jeżeli ten obraz uszkodzenia potęguje się już po kilku roboczogodzinach, należy przedsięwziąć odpowiednie kroki w celu znalezienia przyczyny:

- Sprawdzić prawidłową geometrię wału korbowego: wymiar, odchyłka kołowości, walcowatość, falistość, chropowatość powierzchni
- Sprawdzić prawidłowość otworu nieprzelotowego kanału łożyska: wymiar, odchyłka kołowości, walcowatość, powierzchnia
- Wyważyć wał korbowy podczas montażu i sprawdzić obciążenie wału
- Sprawdzić zbieżność gniazda łożyska głównego: podczas pracy silnika zawsze zwracać uwagę na wymagane momenty dokręcania oraz kolejność dokręcania połączeń gwintowych. W trakcie eksploatacji silnik musi być wystarczająco chłodzony, gdyż zbyt wysokie temperatury mogą prowadzić do zwichrzenia
- Przed montażem sprawdzić prostokątność powierzchni korbowodów

## 2.5.3 OBUSTRONNE ZUŻYCIE KRAWĘDZI

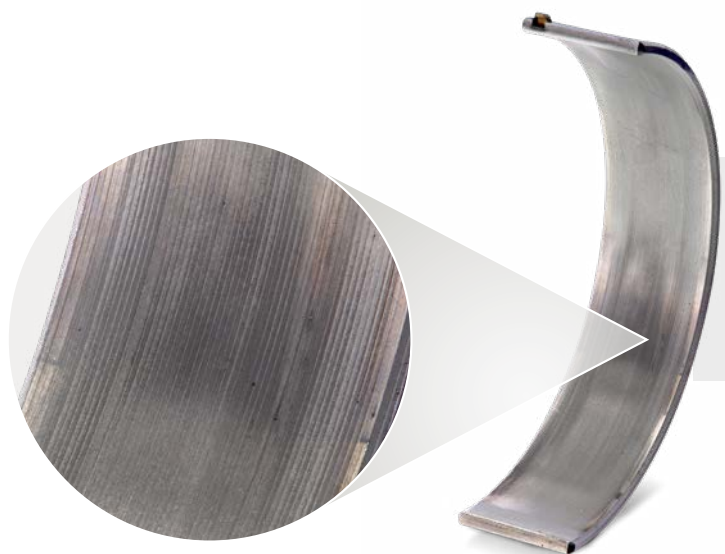
### OPIS

- Błyszczący, jasny pasek zużycia na obu krawędziach łożyska
- W obszarze zużycia krawędzi: możliwe są widoczne objawy zmęczenia materiału lub nadтарcia
- Możliwe objawy przegrzania w postaci na przykład przebarwienia wskutek obciążenia termicznego lub osadu nagaru olejowego na grzbiecie łożyska w obszarze zużytej krawędzi



**Panewka łożyska korbowego od strony pokrywy, wykonana z kompozytu stalowo-aluminiowego**

Obustronne zużycie krawędzi w stadium początkowym – zużycie ma postać zużycia adaptacyjnego i wskutek docierania.



**Panewka łożyska korbowego od strony korbowa, wykonana z kompozytu stalowo-mosiężnego z powłoką nanoszoną przez metalizowanie katodowe**

Obustronne zużycie krawędzi w stadium początkowym – zużycie ma postać zużycia adaptacyjnego i wskutek docierania.



## OCENA

Szczelina smaru na krawędzi łożyska jest zbyt mała, przez co film smarny nie wytwarza wystarczającej nośności i miejscowo dochodzi do tarcia półpłynnego. Przy utrzymującym się braku smaru wzrasta temperatura przez ciepło powstające wskutek tarcia. Może to doprowadzić do uszkodzeń wskutek przegrzania, takich jak ciemne zabarwienie grzbietu łożyska. Wzrastający poziom temperatury powoduje jeszcze większy brak smaru, a cały proces

ulega samowzmocnieniu aż do wystąpienia pierwszych objawów nadтарcia i uszkodzeń zmęczeniowych w tym obszarze wskutek zwiększonego nacisku powierzchniowego. Obustronne zużycie krawędzi występuje bardzo często w obszarze głównych obciążeń łożyska. W zależności od intensywności zużycia efekt ten można traktować jako typowe zjawisko, nie stanowiące pogorszenia działania.

## MOŻLIWE PRZYCZYNY

- Wklęsły kształt czopu (Rys. 1)
- Wklęsły otwór łożyska (Rys. 2)
- Za duży promień wyokrąglenia pomiędzy czopem łożyskowym a ramieniem wykorbienia (Rys. 3)
- Zbyt duży luz osiowy, „zataczanie” korbowodu
- Skośnie zeszlifowany czop (Rys. 4)



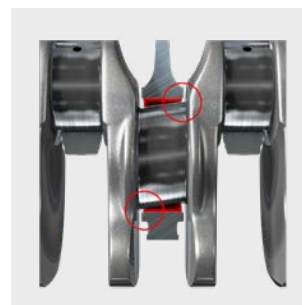
Rys. 1: Wklęsły kształt czopu



Rys. 2: Wklęsły otwór łożyska



Rys. 3: Zbyt duży promień wyokrąglenia



Rys. 4: Skośnie zeszlifowany czop

## ŚRODKI ZARADCZE

W zależności od postępu zużycia możliwa jest dalsza eksploatacja łożysk ze zużytymi krawędziami.

Jednakże jeżeli ten obraz uszkodzenia potęguje się już po kilku roboczogodzinach, należy przedsięwziąć odpowiednie kroki w celu znalezienia przyczyny:

- Sprawdzić prawidłową geometrię wału korbowego: wymiar, odchyłka kołowości, walcowatość, falistość, chropowatość powierzchni
- Sprawdzić prawidłowość otworu nieprzelotowego kanału łożyska: wymiar, odchyłka kołowości, walcowatość, powierzchnia
- Wyważyć wał korbowy podczas montażu i sprawdzić obciążenie wału
- Sprawdzić zbieżność gniazda łożyska głównego: podczas pracy silnika zawsze zwracać uwagę na wymagane momenty dokręcania oraz kolejność dokręcania połączeń gwintowych. W trakcie eksploatacji silnik musi być wystarczająco chłodzony, gdyż zbyt wysokie temperatury mogą prowadzić do zwichrzenia
- Przed montażem sprawdzić prostokątność powierzchni korbowodów

## 2.5.4 SZEROKI ŚLAD ZUŻYCIA POŚRODKU ŁOŻYSKA W KIERUNKU OBWODOWYM

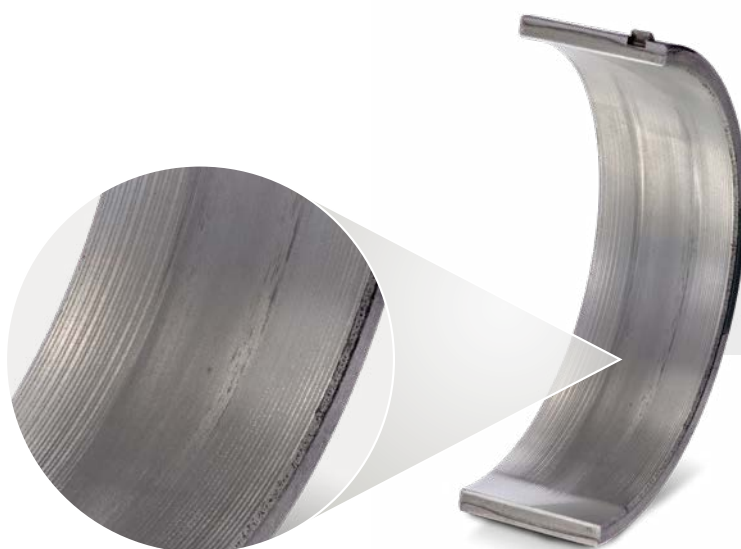
### OPIS

- Intensywny ślad zużycia pośrodku łożyska w kierunku obwodowym
- Mniejsze zużycie krawędź łożyska
- Lokalne przemieszczenia materiału w kierunku obwodowym
- W poważnych przypadkach widoczne są objawy zmęczenia materiału i nadarcia



**Dolna panewka łożyska głównego, wykonana z kompozytu stalowo-aluminiowego**

Pośrodku łożyska widoczne są wyraźne ślady zużycia, wybiegające w kierunku podcięcia. Mają one już charakter nadarcia warstwy bieżnej.



**Dolna panewka łożyska głównego, wykonana z kompozytu stalowo-aluminiowego**

W tym przypadku widoczne są wzmocnione ślady przylegania pośrodku łożyska, wybiegające w kierunku podcięcia. W takiej postaci ślady przylegania odpowiadają jeszcze zużyciu adaptacyjnemu i podczas docierania.

## OCENA

Szczelina smaru pośrodku łożyska jest zbyt mała, przez co film smarny nie wytwarza wystarczającej nośności i miejscowo dochodzi do tarcia półpłynnego. Przy utrzymującym się braku smaru wzrasta temperatura przez ciepło powstające wskutek tarcia.

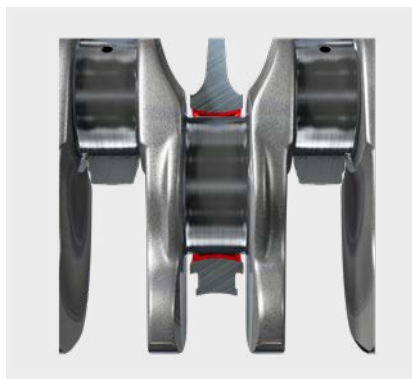
Wzrastający poziom temperatury powoduje jeszcze większy brak smaru. Cały proces ulega samowzmocnieniu aż do wystąpienia pierwszych objawów nadтарcia i uszkodzeń zmęczeniowych w tym obszarze wskutek zwiększonego nacisku powierzchniowego.

## MOŻLIWE PRZYCZYNY

- Zbyt mocno wypukły kształt czopa (Rys. 1)
- Wypukły otwór łożyska (Rys. 2)
- Brak smaru



Rys. 1: Zbyt mocno wypukły kształt czopa



Rys. 2: Wypukły otwór łożyska

## ŚRODKI ZARADCZE

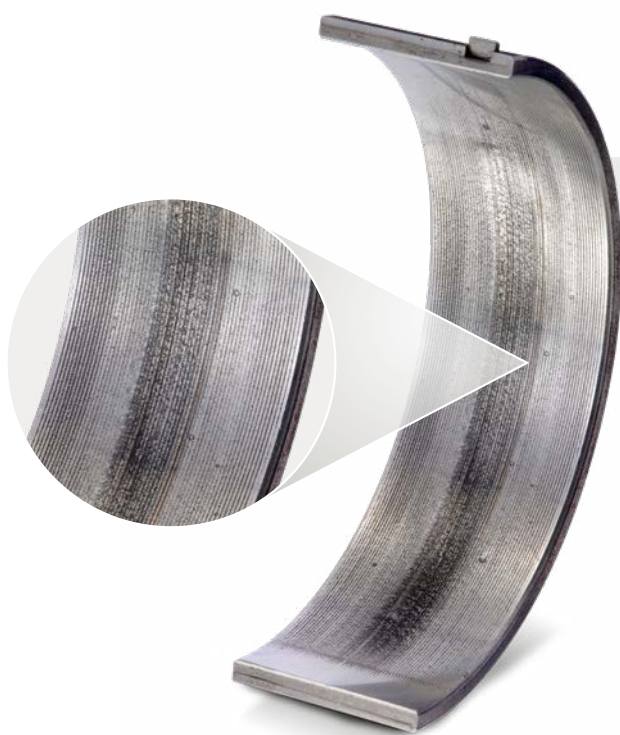
W zależności od postępu zużycia możliwa jest dalsza eksploatacja łożysk. Jednak w chwili powstania nadтарc lub wystąpienia oznak zmęczenia materiału należy wymienić łożyska i przedsięwziąć odpowiednie kroki w celu znalezienia przyczyny:

- Sprawdzić prawidłową geometrię wału korbowego: wymiar, odchyłka kołowości, walcowatość, falistość, chropowatość powierzchni
- Sprawdzić prawidłowość otworu nieprzelotowego kanału łożyska: wymiar, odchyłka kołowości, walcowatość, powierzchnia
- Wyważyć wał korbowy podczas montażu i sprawdzić obciążenie wału
- Sprawdzić zbieżność gniazda łożyska głównego: podczas pracy silnika zawsze zwracać uwagę na wymagane momenty dokręcania oraz kolejność dokręcania połączeń gwintowych. W trakcie eksploatacji silnik musi być wystarczająco chłodzony, gdyż zbyt wysokie temperatury mogą prowadzić do zwichrzenia
- Przed montażem sprawdzić prostokątność powierzchni korbowodów
- Sprawdzić układ smarowania (patrz rozdział: „2.3 Nadтарcie”)

## 2.5.5 PASKOWATE ZUŻYCIE POŚRODKU ŁOŻYSKA

### OPIS

- Paskowate zużycie pośrodku łożyska, na przedłużeniu rowka olejowego – w przypadku łożyska korbowego w obu panewkach łożysk w strefie kanału olejowego w czopie
- Częściowo obiegowe rysy
- Mniejsze zużycie krawędź łożyska
- Ograniczony zasięg strefy zużycia
- W poważnych przypadkach widoczne są objawy zmęczenia materiału i nadtarcia



**Dolna panewka łożyska głównego, wykonana z kompozytu stalowo-aluminiowego**

Widoczne są ostro odgraniczone paski pośrodku łożyska. Odpowiadają one kształtem rowkowi olejowemu, znajdującemu się w górnej panewce łożyska głównego. Ślady zużycia występują w postaci zużycia adaptacyjnego i wskutek docierania.

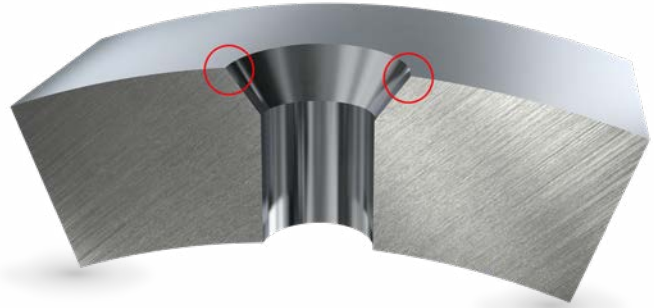
### OCENA

Ten rodzaj zużycia może wskazywać na brakujący lub niewystarczająco zaokrąglony kanał olejowy (Rys. 1). Najbardziej widoczne jest przy tym zużycie dolnej panewki w przypadku łożysk głównych lub obu panewek w przypadku łożysk korbowych, występujące w obszarze kanału olejowego w czopie. Drugą przyczyną, mogącą prowadzić do takiego samego obrazu uszkodzenia, jest tak zwane zużycie komorowe (Rys. 2). Jest ono skutkiem mniejszego zużycia czopa w obszarze rowka olejowego.

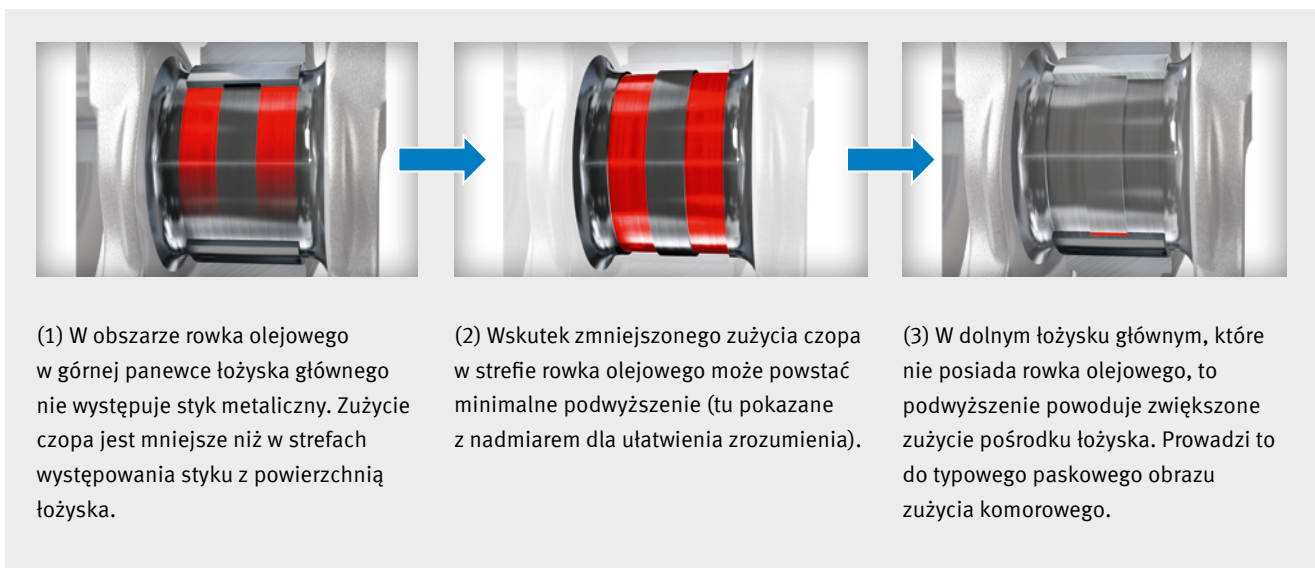
Ponieważ w obszarze rowka olejowego nie występuje metaliczny styk pomiędzy czopem a łożyskiem, nie dochodzi tu do ścierania się materiału i powstaje strefa podwyższenia na czopie. To podwyższenie powoduje paskowe zużycie panewki łożyska bez rowka olejowego. Oba procesy mogą powodować nadtarcia i uszkodzenia zmęczeniowe.

## MOŻLIWE PRZYCZYNY

- Brakujący lub niewystarczająco zaokrąglony kanał olejowy (Rys. 1)
- Niekorzystny parowanie materiału łożyska i czopa powoduje mniejsze zużycie czopa w obszarze rowka olejowego (Rys. 2)



Rys. 1: Brakujący lub niewystarczająco zaokrąglony kanał olejowy



Rys. 2: Niekorzystny dobór materiału łożyska i czopa

## ŚRODKI ZARADCZE

W zależności od postępu zużycia możliwa jest dalsza eksploatacja łożysk. Jednak w chwili powstania nadtarć lub wystąpienia oznak zmęczenia materiału należy wymienić łożyska i przedsięwziąć odpowiednie kroki w celu znalezienia przyczyny:

- Kontrola i ponowna obróbka otworu wylotowego kanału oleju
- Kontrola podwyższenia na wale w obszarze rowka olejowego
- Kontrola pary materiałowej czopa i łożyska (twardość wału i łożyska)
- Kontrola chropowatości czopa

## 2.5.6 ZUŻYCIE W PRZECIWLĘGŁYCH OBSZARACH POWIERZCHNI PODZIAŁU

### OPIS

- Silne ślady zużycia w obszarze diagonalnie przeciwnych podcięć
- Wierzchołek panewki łożyska wykazuje znacznie mniejsze zużycie
- W poważnych przypadkach widoczne są objawy zmęczenia materiału i nadarcia



**Dolna panewka łożyska głównego, wykonana z kompozytu stalowo-aluminiowego**

Widoczne są wyraźne ślady zużycia w obszarze podcięcia, natomiast wierzchołek łożyska jest znacznie mniej zużyty.

## OCENA

W przypadku występowania śladów pracy w tym obszarze panewek łożysk występuje poważna usterka. Przyczyną występującego zużycia może być wzajemne przesunięcie panewek łożysk wskutek błędów montażowych. Na skutek przesunięcia pokrywy luz łożyskowy jest zbyt mały, przez co film smarny nie wytwarza wystarczającej nośności i miejscowo dochodzi do tarcia półpłynnego.

Przy utrzymującym się braku smaru wzrasta temperatura przez ciepło powstające wskutek tarcia.

Wzrastający poziom temperatury powoduje jeszcze większy brak smaru, a cały proces ulega samowzmocnieniu aż do wystąpienia pierwszych objawów nadтарcia i uszkodzeń zmęczeniowych wskutek zwiększonego nacisku powierzchniowego.

## MOŻLIWE PRZYCZYNY

- Zamontowana nieprawidłowa pokrywa łożyska
- Pokrywa łożyska zamontowana po obroceniu o 180°
- Użyte niewłaściwe narzędzie lub śruby pasowane
- Nieprawidłowa kolejność dokręcania lub nieprawidłowy moment dokręcania śrub



## ŚRODKI ZARADCZE

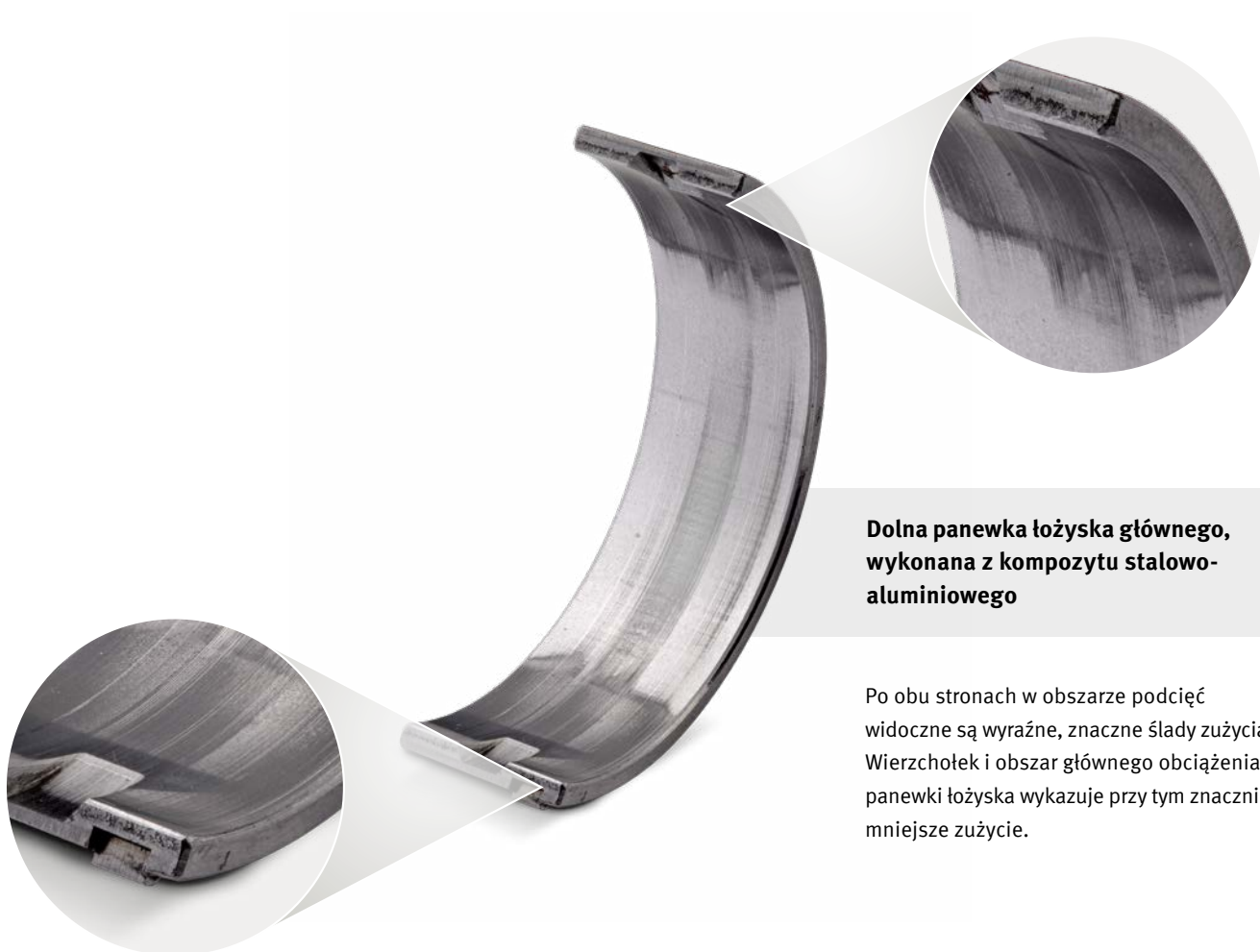
Należy wymienić łożysko i usunąć przyczynę, gdyż łożysko nie jest skonstruowane do obciążania go w tym obszarze:

- Zwrócić uwagę na przyporządkowanie panewek łożysk i cylindrów
- Montować pasujące śruby tylko przy użyciu odpowiedniego narzędzia
- Zachować kolejność dokręcania i wymagany moment dokręcania śrub, podane przez producenta
- Sprawdzić otwór nieprzelotowy: wymiar, odchyłka kołowości, walcowatość, powierzchnia muszą mieścić się w określonym przedziale tolerancji

## 2.5.7 OBUSTRONNE ZUŻYCIE W OBSZARACH POWIERZCHNI PODZIAŁU

### OPIS

- Silne ślady zużycia w obszarze obu podcięć górnej i dolnej panewki
- Wierzchołek panewek łożysk znacznie mniej zużyty
- W poważnych przypadkach widoczne są objawy zmęczenia materiału i nadarcia



**Dolna panewka łożyska głównego,  
wykonana z kompozytu stalowo-  
alumiowego**

Po obu stronach w obszarze podcięć widoczne są wyraźne, znaczne ślady zużycia. Wierzchołek i obszar głównego obciążenia panewki łożyska wykazuje przy tym znacznie mniejsze zużycie.



## OCENA

W przypadku występowania śladów pracy w tym obszarze panewek łożysk występuje poważna usterka. Te objawy mogą być spowodowane przez owalny otwór nieprzelotowy. Powoduje to zmniejszenie luzu łożyskowego wskutek przesunięcia pokrywy, przez co film smarny nie wytwarza wystarczającej nośności i w podcięciach dochodzi do tarcia półpłynnego. Przy utrzymującym się braku smaru wzrasta temperatura przez ciepło powstające wskutek tarcia.

Wzrastający poziom temperatury powoduje jeszcze większy brak smaru, a cały proces ulega samowzmocnieniu aż do wystąpienia pierwszych objawów nadтарcia i uszkodzeń zmęczeniowych w tym obszarze wskutek zwiększonego nacisku powierzchniowego.

## MOŻLIWE PRZYCZYNY

- Owalne odkształcenie otworu łożyska wskutek obciążenia termicznego lub mechanicznego
- Korbówód z owalną główką korbowodu: używany korbówód został zamontowany bez koniecznej obróbki przygotowawczej
- Nieprawidłowe dokręcenie śruby podczas wiercenia otworu nieprzelotowego



## ŚRODKI ZARADCZE

- Sprawdzić obciążenie otworu łożyska
- Sprawdzić otwór nieprzelotowy: wymiar, odchyłka kołowości, walcowatość, powierzchnia muszą mieścić się w określonym przedziale tolerancji – przed ponownym montażem ewentualnie poprawić używane części
- Zachować kolejność dokręcania i wymagany moment dokręcania śrub, podane przez producenta

## 2.5.8 ZAWĘŻONA STREFA ZUŻYCIA NA WIERZCHOŁKU PANEWKI ŁOŻYSKA

### OPIS

- Zawężone ślady zużycia na wierzchołku panewki łożyska
- Bardziej wyraźne w panewce poddawanej obciążeniom głównym
- W poważnych przypadkach widoczne są objawy zmęczenia materiału i nadarcia



**Górna panewka łożyska głównego, wykonana z kompozytu stalowo-aluminiowego**

Widoczne są ślady zużycia w obszarze wierzchołka w postaci zużycia adaptacyjnego i wskutek docierania. W pozostałej części powierzchni bieżnej łożyska nie ma widocznych śladów eksploatacji.

## OCENA

Te objawy są powodowane przez poprzecznie-owalny otwór nieprzelotowy. Powoduje to zmniejszenie luzu łożyskowego w obszarze wierzchołka, przez co film smarny nie wytwarza wystarczającej nośności i miejscowo dochodzi do tarcia półpłynnego. Przy utrzymującym się braku smaru wzrasta temperatura przez ciepło powstające wskutek tarcia.

Wzrastający poziom temperatury powoduje jeszcze większy brak smaru, a cały proces ulega samowzmocnieniu aż do wystąpienia pierwszych objawów nadтарcia i uszkodzeń zmęczeniowych w tym obszarze wskutek zwiększonego nacisku powierzchniowego.

---

## MOŻLIWE PRZYCZYNY

- Osiadanie korbowodu lub powierzchni styku korpusu
- Nieprawidłowe dokręcenie śruby podczas wiercenia otworu nieprzelotowego
- Ekstremalne obciążenie ciśnieniowe korbowodu



---

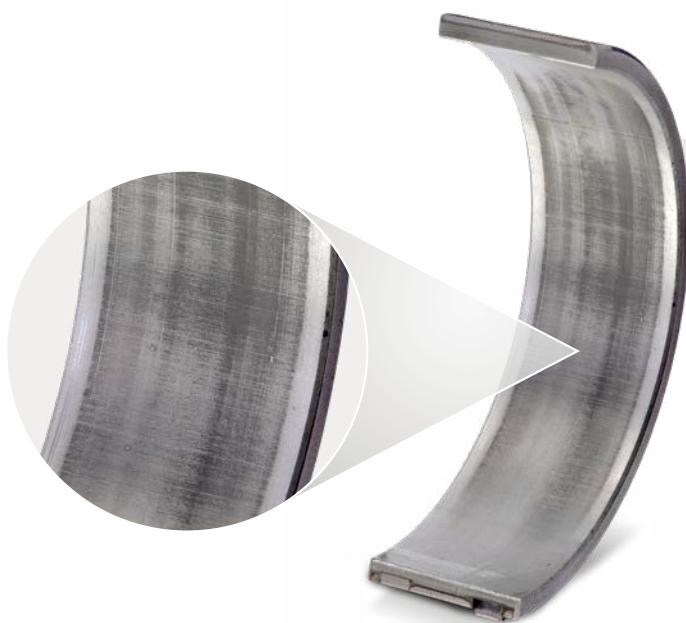
## ŚRODKI ZARADCZE

- Sprawdzić prawidłowość otworu nieprzelotowego kanału łożyska: wymiar, odchyłka kołowości, walcowatość, powierzchnia
- Zachować kolejność dokręcania i wymagany moment dokręcania śrub, podane przez producenta
- Sprawdzić obciążenie korbowodu

## 2.5.9 WĄSKIE PASMA WOLNE OD ZUŻYCIA NA BRZEGACH ŁOŻYSKA

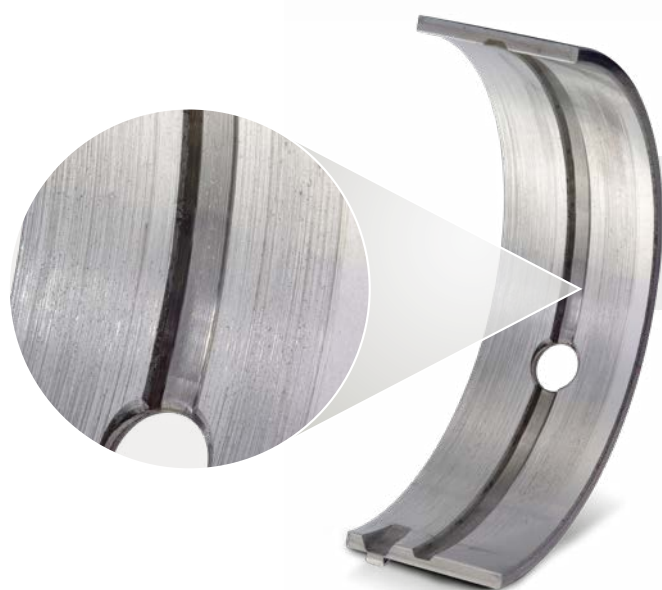
### OPIS

- Wąskie pasma wolne od zużycia na krawędziach łożyska
- Brak widocznych śladów tarcia w tym obszarze
- Można tu jeszcze rozpoznać strukturę obróbki produkcyjnej
- Widoczne wyraźne rozgraniczenie pomiędzy pasmami bez zużycia i zużytym obszarem



**Dolna panewka łożyska głównego, wykonana z kompozytu stalowo-aluminiowego**

Na krawędziach łożyska widoczne są dwa wolne od zużycia pasma bez wyraźnych śladów podparcia. Pozostała część łożyska ma nieznacznie zaczernione zabarwienie, stanowiące możliwą konsekwencję korozji lub zużycia.

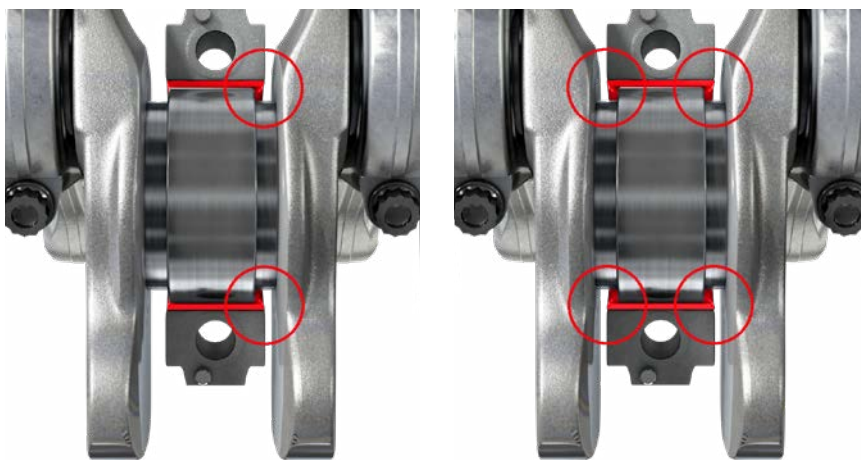


**Górna panewka łożyska głównego, wykonana z kompozytu stalowo-aluminiowego**

Na krawędzi łożyska widoczne jest wolne od zużycia pasmo bez wyraźnych śladów podparcia. Pozostała część łożyska wykazuje wyraźne powstawanie rowków.

## OCENA

Wskutek jednostronnego (Rys. 1) lub obustronnego (Rys. 2) występu osiowego panewki łożyska powstają wąskie pasma wolne od zużycia na krawędziach łożyska, które nie wykazują także typowego zużycia adaptacyjnego i podczas docierania. Niezależna od prędkości obrotowej czopa w tym obszarze nigdy nie dochodzi do styku metalicznej powierzchni.



Rys. 1: Jednostronny występ osiowy

Rys. 2: Obustronny występ osiowy

## MOŻLIWE PRZYCZYNY

- Nieprawidłowa geometria czopa
- Wybrana niewłaściwa szerokość łożyska
- Luz montażowy (przesunięcie wału lub czopa)

## ŚRODKI ZARADCZE

W zależności od postępu zużycia możliwa jest dalsza eksploatacja łożysk. Jednak w chwili powstania nadtarć lub wystąpienia oznak zmęczenia materiału należy wymienić łożyska i przedsięwziąć odpowiednie kroki w celu znalezienia przyczyny:

- Przed montażem sprawdzić prawidłową geometrię wału korbowego: wymiar, odchyłka kołowości
- Wymienić wał korbowy lub zamontować nowe łożyska, dopasowane do geometrii wału korbowego

# 3. USZKODZENIA WSKUTEK ODDZIAŁYWANIA CZĄSTEK STAŁYCH

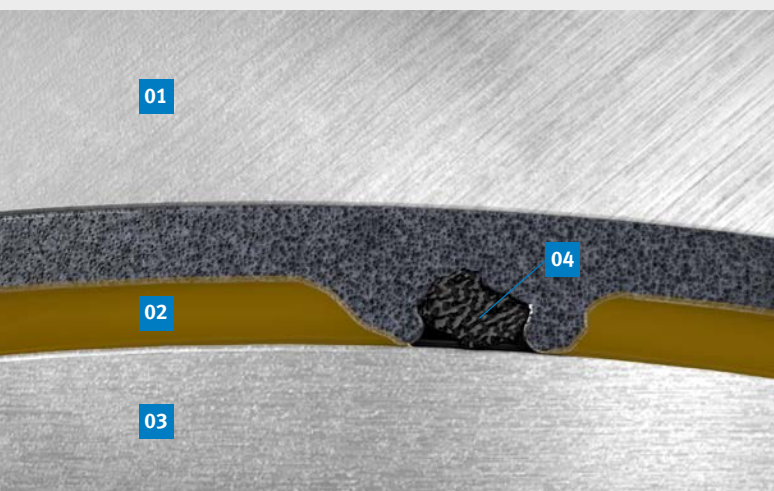
## 3.1 WPROWADZENIE

Dostanie się cząstek obcych do szczeliny smarowej pomiędzy łożyskiem a czopem wału znacznie zwiększa niebezpieczeństwo uszkodzenia łożyska. Ze względu na bardzo małą grubość warstwy smaru nawet małe cząstki mogą zakłócać pracę i powodować tarcie półpłynne. Przez osadzenie w warstwie ślizgowej lub bieżnej możliwe jest ich „unieszkodliwienie”. Spowodowane tym krawędzie są wygładzane przy styku z wałem. Cząstki o wymiarze przekraczającym grubość warstwy ślizgowej lub bieżnej nie mogą być całkowicie osadzone. Wystające fragmenty powodują zużycie czopa wału w postaci rowków. Mocno wykształcone rowki powodują obniżenie oczekiwanej żywotności i mogą przyczyniać się do zatarcia łożyska.

Cząstki stałe mogą dostać się do bloku silnika i osadzić w nim już podczas produkcji lub w trakcie jego remontu. Może to mieć na przykład miejsce podczas obróbki strumieniowej bloku silnika przy użyciu ścierniwa piaskowego bądź szklanego. Cząstki zanieczyszczeń mogą „powstawać” (np. sadza lub nagar olejowy) lub być wprowadzane także podczas pracy.

Niewystarczająca konserwacja układu smarowania lub ekstremalne oddziaływanie zewnętrzne dodatkowo wzmagają dostawanie się zanieczyszczeń do układu smarowania. Cząstki stałe mogą dostawać się do obiegu oleju także z uszkodzonych sąsiednich łożysk lub innych podzespołów silnika.

Niebezpieczeństwo uszkodzeń przez oddziaływanie cząstek stałych jest z zasady większe w przypadku łożyska głównego niż łożyska korbowego. łożyska korbowe są zasilane olejem z łożysk głównych przez otwory w wale korbowym, przez co olej przepływa najpierw przez łożyska główne. Większe cząstki są więc osadzone już w łożysku głównym i nie dostają się z reguły do łożyska korbowego.



- 01 Grzbiet stalowy
- 02 Film olejowy
- 03 Wał
- 04 Cząstki stałe



Aby uzyskać informacje o pochodzeniu cząstek stałych celowa może być analiza łożyska oraz pobranie próbki oleju.

### MOŻLIWE PRZYCZYNY

- Montaż z zanieczyszczeniami: wskutek nieuwagi lub niewystarczającego oczyszczenia podzespołów silnika podczas montażu do jego bloku mogą dostać się zanieczyszczenia
- Pozostałości takie jak wióry metalowe lub pozostałości ścierniwa z obróbki strumieniowej podczas produkcji lub remontu mogą tworzyć osady w bloku silnika, które podczas pracy ulegają oderwaniu – często są to też osady z elementów wyposażenia, np. z chłodnicy oleju, które nie zostały odpowiednio oczyszczone podczas remontu silnika
- Uszkodzenia uszczelek silnikowych: przeciążenie lub uszkodzenie uszczelki podczas montażu powoduje, że nie spełnia ona już swojej funkcji i umożliwia przedostawanie się cząstek stałych
- Niewystarczająca konserwacja układu smarowania: przekroczone terminy przeglądów lub zatkane filtry oleju mogą powodować gromadzenie się zanieczyszczeń w oleju
- Kawitacja: cząstki są wykruszane z materiału łożyska i transportowane wraz z olejem – w zależności od wielkości mogą one powodować powstawanie rowków lub osadzanie drobinek w danym łożysku lub w łożyskach sąsiednich
- Zatarcie: zatarte podzespoły silnika (tłoki, panewki łożysk) powodują dostanie się dużej ilości cząstek stałych do obiegu smaru, co może pociągać za sobą uszkodzenie innych podzespołów
- Uszkodzenia zmęczeniowe: w razie wykruszania materiału z podzespołów silnika wykruszone drobiniki mogą być transportowane przez olej do łożysk i powodować ich uszkodzenia

### ŚRODKI ZARADCZE

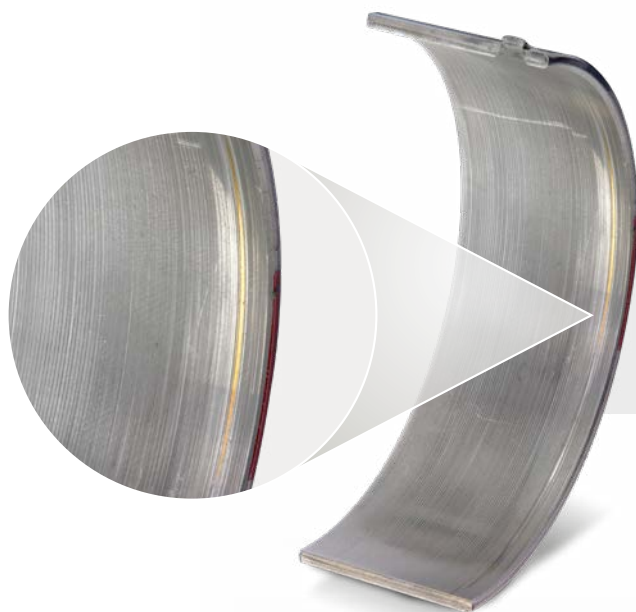
Z zasady możliwa jest dalsza eksploatacja łożysk mimo powstania rowków. Zależy to jednak od zakresu uszkodzenia. Jeżeli występują na przykład liczne wtłoczenia dużych cząstek z rozpoczynającymi się śladami tarcia półtłynnego, spowodowane przez nanoszenie materiału, to zalecana jest wymiana łożyska. Drobne wtłoczenia cząstek nie pogarszają działania łożyska. Mimo to w obu przypadkach należy wyjaśnić przyczyny tego stanu:

- Czyszczenie wszystkich podzespołów przed montażem: ważne jest przepłukanie wszystkich kanałów olejowych w wale i w korpusie i oczyszczenie powierzchni osadzenia łożysk przed uruchomieniem, aby usunąć drobne wióry i cząstki z procesu produkcyjnego bądź z remontu – oczyścić należy także kanały olejowe elementów wyposażenia, np. chłodnicy oleju i turbosprężarki
- Sprawdzić działanie uszczelek
- Wymieniać filtr oleju i olej zawsze zgodnie z wymaganiami producenta: pamiętać o przestrzeganiu terminów przeglądów oraz stosować olej i filtr oleju o odpowiedniej jakości
- Filtrowanie zasysanego powietrza: regularnie serwisować filtr, wymieniać w razie potrzeby
- Sprawdzić inne podzespoły silnika, czy nie wykazują uszkodzeń np. wskutek kawitacji, zmęczenia lub zatarcia – częstymi szkodami pośrednimi są wtedy uszkodzenie łożysk ślizgowych wskutek oddziaływania cząstek stałych
- Jeżeli nie można stwierdzić wpływu cząstek stałych, informacje o przyczynach uszkodzenia można uzyskać z analizy uszkodzonych panewek łożyska i próbki oleju: jeżeli w łożysku osadzone są cząstki lub jeśli występują one w oleju, można oznaczyć ich skład chemiczny – np. w razie stwierdzenia, że materiał pochodzi z wału korbowego można przeprowadzić tam dokładniejszą analizę szkody

## 3.2 POWSTAWANIE ROWKÓW

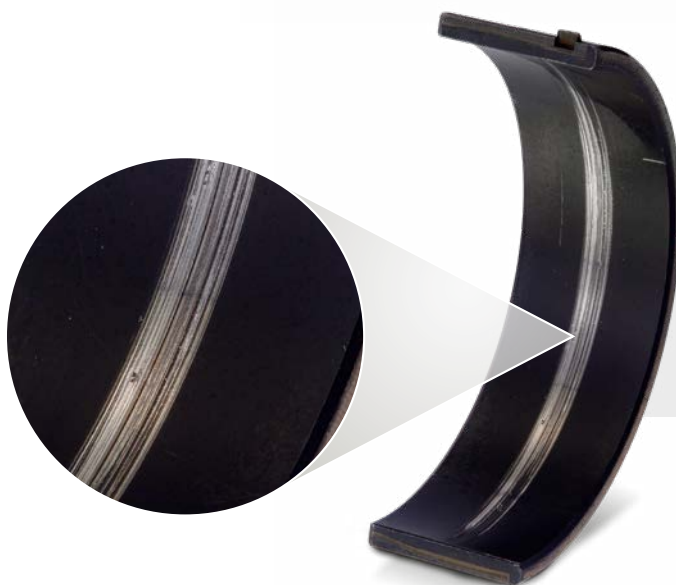
### OPIS

- Paskowe wgłębienia w kierunku poślizgu z przyrostem materiału na krawędziach
- Przyrosty częściowo ponownie wygładzone wskutek zużycie, jasno błyszczące
- Najczęściej równocześnie z powstawaniem rowków lub osadzaniem cząstek na wale korbowym lub w sąsiednich łożyskach



**Panewka łożyska korbowego od strony korbowodu, wykonana z kompozytu stalowo-mosiężnego z powłoką nanoszoną przez metalizowanie katodowe**

Rowek sięga do warstwy mosiądzu. Obok rowków powstały jasne ślady zużycia wskutek wygładzonych przyrostów materiału.



**Dolna panewka łożyska głównego, wykonana z kompozytu stalowo-aluminiowego z powłoką polimerową**

Rysy sięgają aż do warstwy stopu aluminium.



## OCENA

Cząstki dostające się do szczeliny smaru i nie osadzone w materiale łożyska są wielokrotnie przeciągane przez tę szczelinę, powodując przy tym powstawanie rowków. W zależności od grubości powstałych przy tym krawędzi podczas dalszej eksploatacji mogą one nie zostać wygładzone, powodując wzrost temperatury przez zwiększone tarcie półtłyne przy styku z wałem.

Prowadzi to często do nadтарcia i zatarcia.

Powstawanie rowków może być także konsekwencją oddziaływania tarcia półtłynnego. Jednak w tym przypadku rowki są drobne i występują na całej powierzchni obu ślizgowych elementów współpracujących.

---

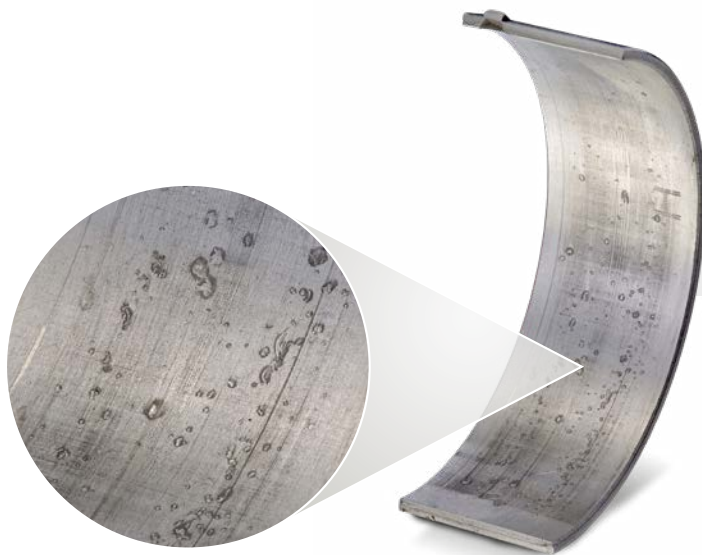
## ŚRODKI ZARADCZE

W przypadku występowania rowków z silnymi wybrzuszeniami na krawędziach konieczna jest wymiana łożyska. Natomiast jeśli występują rowki z wygładzonymi przyrostami na krawędziach i nie należy oczekiwać dalszych wpływów cząstek stałych, łożyska mogą być dalej użytkowane.

## 3.3 OSADZANIE

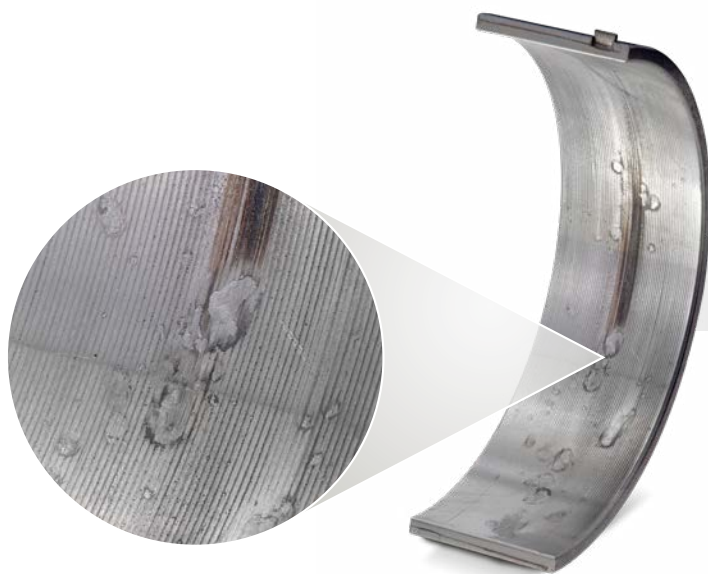
### OPIS

- Powierzchnia z wżerami
- Wgniecenia przez cząstki (częściowo zawierające jeszcze cząstki stałe), otoczone wybrzuszeniem, widocznym jako jasny błyszczący punkt
- Często zjawisku temu towarzyszy powstawanie rowków w czopie i łożysku
- W poważnych przypadkach widoczne są nadtarcia, rozpoczynające się w miejscach osadzeń



**Panewka łożyska korbowego od strony pokrywy, wykonana z kompozytu stalowo-aluminiowego**

Widoczne są drobne wgniecenia przez cząstki i pojedyncze rowki.



**Dolna panewka łożyska głównego, wykonana z kompozytu stalowo-aluminiowego**

Widoczne są duże wgniecenia przez cząstki bez zagnieżdżonych cząstek. Cząstki spowodowały wybrzuszenia materiału, które doprowadziły do nadtarcia pośrodku łożyska.

## OCENA

Cząstki dostające się do szczeliny smaru mogą osadzać się w materiale łożyska. W zależności od grubości warstwy ślizgowej lub bieżnej można rozróżnić głębokie i płytkie osadzanie. W przypadku głębokiego osadzania cząstki są całkowicie integrowane w warstwie ślizgowej lub bieżnej. Jest to możliwe tylko wtedy, gdy wielkość cząstek jest mniejsza od grubości warstwy. Materiał łożyska wybrzuszony wskutek osadzania jest następnie spłaszczony przez zużycie podczas styku z wałem. Do osadzania płytkiego dochodzi natomiast wtedy, gdy wielkość cząstek przekracza grubość warstwy. Cząstki są niecałkowicie osadzone i wystają z powierzchni łożyska. Powodują one zużycie i powstawanie rowków na powierzchni czopa.

Wskutek wybrzuszeń na krawędziach lub wystawanie niecałkowicie osadzonych cząstek zakłóca jest powstawanie warstwy smaru, co może prowadzić do stanów tarcia półpłynnego. Możliwym skutkiem jest także tak zwane ścieranie kłaczkowe. Osadzone cząstki nacinają przy tym powierzchnię wału, usuwając z niej materiał (drobne wióry). Wyrwane cząstki, które z kolei same ulegają osadzeniu, pogłębiają uszkodzenie łożyska, co często prowadzi do nieuniknionego całkowitego zniszczenia czopa i łożyska.

Konsekwencją osadzania cząstek mogą być więc nadtarcia i zatarcia.

---

## ŚRODKI ZARADCZE

W razie wystąpienia większych osadzeń cząstek w połączeniu z rozpoczynającym się zużyciem czopa i łożyska konieczna jest wymiana łożyska. Natomiast jeśli występują drobne osadzenia cząstek, których wybrzuszenia zostały spłaszczone i nie należy oczekiwać dalszych wpływów cząstek stałych, działanie łożyska nie jest zakłócone.

## 3.4 ŚLAD WĘDROWANIA ZANIECZYSZCZENIA

### OPIS

- Pojedyncze wgniecenia, znajdujące się w jednej linii tworzą ślady, na których końcach mogą być dodatkowo osadzone cząstki
- Z reguły przebiegają one skośnie do krawędzi łożyska
- Ich początek stanowi rowek olejowy lub otwór olejowy
- Często zjawisku temu towarzyszy powstawanie rowków w czopie i powstawanie rowków wraz z osadzaniem cząstek w łożysku



**Dolna panewka łożyska głównego, wykonana z kompozytu stalowo-aluminiowego**

Wystąpił ślad wędrowania zanieczyszczenia, rozpoczynający się od powierzchni podziału. Widoczna jest większa liczba dużych wgnieceń przez cząstki w jednej linii, ułożonych skośnie. Częściowo występują jeszcze osadzone cząstki.

## **OCENA**

Bardzo duże i twarde cząstki dostające się do szczeliny smaru nie mogą osadzać się w materiale łożyska. Są one przeciskane przez szczelinę smaru, zatrzymując się jednak przy tym w wielu miejscach. Obraz uszkodzenia często zaczyna się od rowków lub otworów olejowych, gdyż cząstki są przez nie wprowadzane. Duże wybrzuszenia wzdłuż toru ruchu prowadzą do nadtarcia i zatarcia.

---

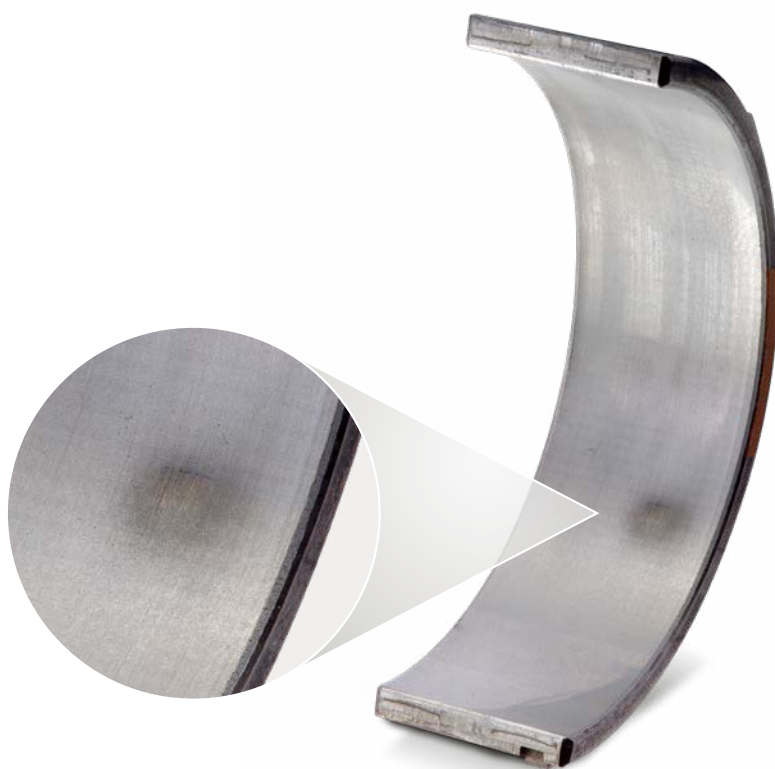
## **ŚRODKI ZARADCZE**

W przypadku występowania silnych wybrzuszeń wzdłuż toru ruchu cząstek lub oznak nadtarcia konieczna jest wymiana łożyska. Łożyska można jednak nadal użytkować, jeżeli wybrzuszenia zostały spłaszczone i nie należy oczekiwać dalszych wpływów cząstek stałych.

## 3.5 PODKŁADKI NA GRZBIECIE ŁOŻYSKA

### OPIS

- Lokalnie ograniczone zmiany w wyglądzie śladów przylegania
- Jasny ślad zużycia w powierzchni bieżnej
- Często pozostałości cząstek lub wgniecenia na stalowym grzbiecie łożyska
- W poważnych przypadkach na powierzchni bieżnej łożyska widoczne są ślady tarcia półpłynnego w postaci nadtarć i objawów zmęczenia



**Dolna panewka łożyska głównego, wykonana z kompozytu stalowo-aluminiowego**

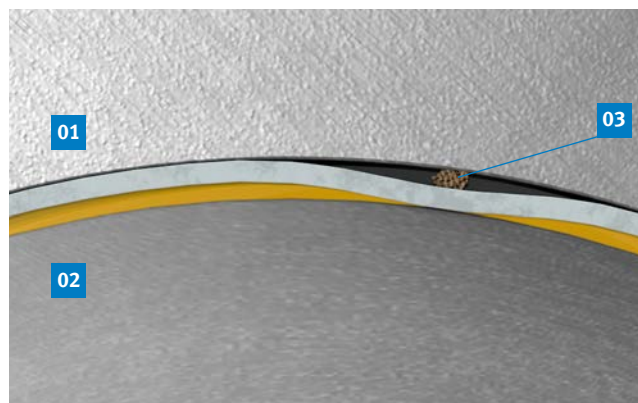
Na powierzchni bieżnej widoczne są wyraźne zmiany śladów przylegania oraz punktowe objawy zużycia. Miejsce wgniecenia jest spowodowane cząstkami na grzbiecie łożyska.



Grzbietu łożyska

## OCENA

Wskutek zanieczyszczeń lub pozostałości oleju (nagaru olejowego) na grzbiecie łożyska powstają lokalne miejsca nacisku, widoczne na powierzchni bieżnej łożyska. Powodowany przez to nacisk prowadzi do zwiększonego zużycia wewnątrz łożyska w porównaniu do pozostałej jego części. Jest to widoczne po wyraźnej, z reguły jasno błyszczącej anomalii w śladzie przylegania. W zależności od wielkości miejsc nacisku może to prowadzić do nadtarć i zatarć oraz uszkodzeń zmęczeniowych.



- 01 Korpus
- 02 Wał
- 03 Cząstki stałe

---

## ŚRODKI ZARADCZE

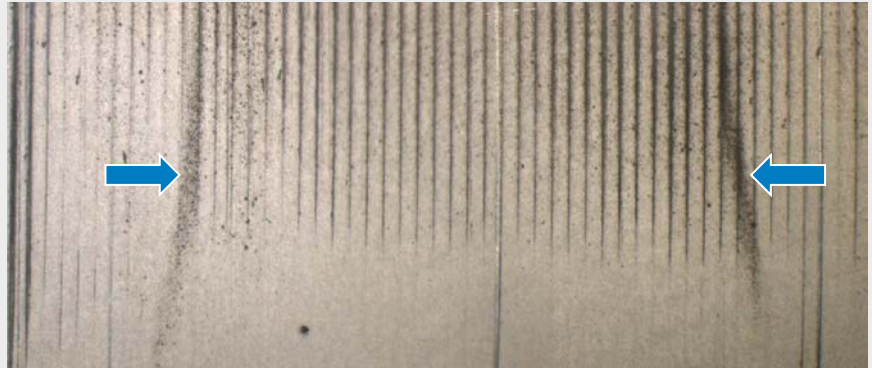
Możliwość dalszej eksploatacji łożyska zależy od postępu zużycia powierzchni bieżnej. Gdy w obszarze miejsca nacisku wystąpią nadtarcia lub objawy zmęczenia w postaci na przykład pęknięć czy wykruszeń, należy wymienić łożysko, gdyż w przeciwnym razie należy liczyć się z jego całkowitym zniszczeniem. Wykruszony materiał może spowodować szkody pośrednie w danym albo w sąsiednim łożysku.

# 4. EROZJA I KAWITACJA

## 4.1 EROZJA

### OPIS

- Powstawanie delikatnych rowków w kierunku przepływu oleju
- Schropowacenia i spękania warstwy bieżnej lub ślizgowej



### OCENA

Erozja jest następstwem ściernego ubytku materiału, spowodowanego przez siły przepływu oleju. Działanie to jest potęgowane przez drobinki zawarte w oleju, np. pozostałości ze spalania czy starty materiał. Erozja jest też często konsekwencją kawitacji, gdyż ta powoduje wybijanie cząstek z materiału i wprowadzanie ich do układu smarowania.

Erozja narusza powierzchnię materiału i aktywuje ją chemicznie,

co przyczynia się do powstawania korozji. Wywierany jest też negatywny wpływ na wytrzymałość zmęczeniową materiału, gdyż spękanie powierzchni może prowadzić do pęknięć. Prowadzi to do uszkodzeń zmęczeniowych.

Przez stosowanie rzadkich olejów erozja jest coraz częstszym zjawiskiem.

### MOŻLIWE PRZYCZYNY

- Wysokie prędkości obrotowe i niewielkie luzy łożyskowe
- Stosowanie nieprawidłowego oleju silnikowego, np. bez odpowiednich dodatków lub z niewłaściwymi dodatkami
- Drobinki w strumieniu oleju: cząstki mogą pochodzić z różnych regionów silnika, np. powstawać wskutek niecałkowitego spalania lub kawitacji

### ŚRODKI ZARADCZE

- Przez wystarczające chłodzenie zapewnić niską temperaturę oleju
- Wymieniać filtr oleju i olej zawsze zgodnie z wymaganiami producenta: pamiętać o przestrzeganiu terminów przeglądów oraz stosować olej i filtr oleju o odpowiedniej jakości



## 4.2 KAWITACJA

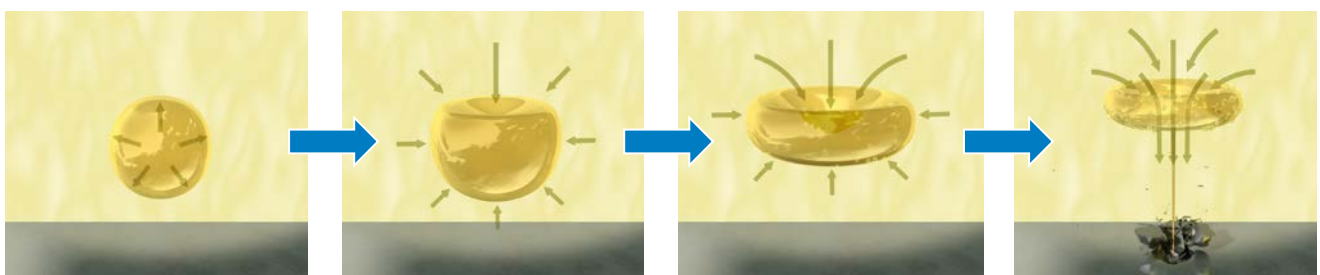
Kawitacja jest powodowana przepływem smaru przez szczelinę łożyska. Decydującą rolę odgrywa przy tym ciśnienia pary stosowanego oleju.

Precyzyjna definicja kawitacji to tylko proces fizyczny, polegający na powstawaniu pęcherzyków pary w cieczy, niepowodujący jako taki żadnych uszkodzeń łożyska. Dopiero erozja kawitacyjna opisuje przynależny obraz uszkodzenia przez typowy w tym przypadku ubytek materiału, powodowany przez implozję pęcherzyków pary w obszarach ciśnienia niższego od ciśnienia pary (kawitacja  $\leftrightarrow$  erozja kawitacyjna).

W przypadku niektórych obrazów uszkodzenia trudno jest rozróżnić kawitację, erozję i korozję. Często występują także skomplikowane formy przejściowe w postaci erozji kawitacyjnej lub korozji erozyjnej. Zjawisko to można wytłumaczyć faktem, że zarówno kawitacja jak i erozja atakują warstwy zapobiegające korozji, aktywują je chemicznie i powodują w konsekwencji występowanie korozji.

### OPIS

Jeżeli ciśnienie spadnie poniżej ciśnienia pary stosowanego oleju, powstają pęcherzyków gazu i pary, porywane przez strumień cieczy. To zjawisko jest określane jako kawitacja. Gdy ciśnienie statyczne ponownie wzrośnie, pęcherzyki ulegają implozji, powodując silne udary ciśnieniowe – tak zwane mikroodrzuty – oraz wysokie temperatury. Udary ciśnieniowe prowadzą do wykruszania i ubytków materiału, czyli erozji kawitacyjnej.



Pęcherzyk kawitacyjny powstaje i rośnie

Rozpoczyna się implozja

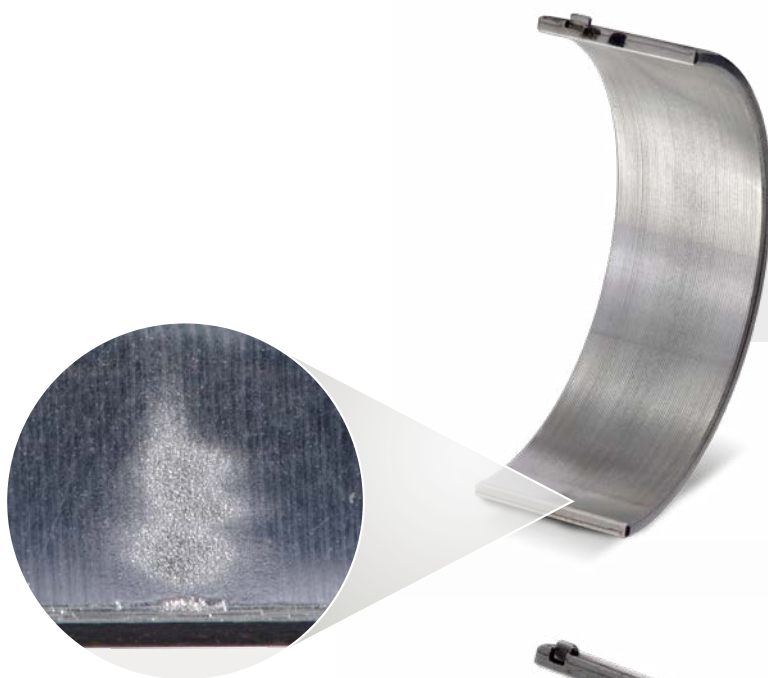
Powstaje mikroodrzut

Mikroodrzut przebija się przez pęcherzyk kawitacyjny i uderza w powierzchnię

## OPIS

- Kawitacja w podcięciu, punktowe lub grzybkowe wykruszenie w podcięciu w kierunku do powierzchni podziału, wyraźnie chropowate i matowe miejsce
- Kawitacja na wylocie rowka olejowego: grzybkowe wykruszenie na wylocie rowka olejowego, chropowate i matowe miejsce

Kawitacja może występować także w innych obszarach łożyska, np. w jego wierzchołku. Te postacie jest jednak znacznie trudniej odróżnić od erozji i korozji. Z reguły nie występują wykruszenia materiału jak w przypadku obu powyższych postaci, lecz tylko matowe, nieco chropowate miejsca, które mogą być też następstwem erozji lub korozji.



**Panewka łożyska korbowego od strony pokrywy, wykonana z kompozytu stalowo-aluminiowego**

Kawitacja w podcięciu: widoczne są wyraźne ubytki materiału – w porównaniu do otaczającego materiału ta strefa jest matowa.

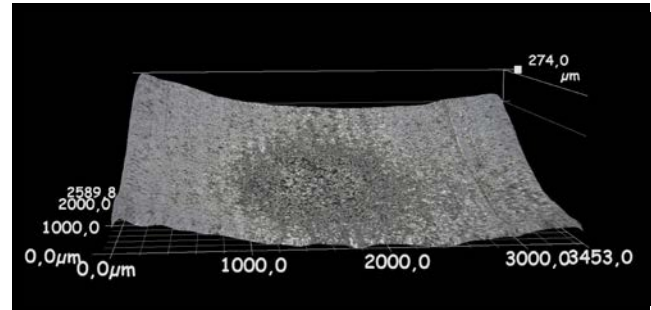


**Górne panewki łożyska głównego, wykonane z kompozytu stalowo-aluminiowego**

Kawitacja na wylocie rowka olejowego: widoczne jest grzybkowe wykruszenie materiału łożyska. W porównaniu do otaczającego materiału ta strefa jest bardziej matowa i chropowata.

## OCENA

Udary ciśnienia wskutek implozji pęcherzyków gazu i pary w pobliżu powierzchni łożyska powodują wykruszenia materiału (patrz rozdział „4. Erozja i kawitacja”). Kawitacja często występuje razem z erozją i korozją, mogąc prowadzić do powstawania delikatnych rowków w danym łożysku lub w łożyskach sąsiednich.



Pomiar trójwymiarowy – kawitacja

## MOŻLIWE PRZYCZYNY

Wysokie temperatury oraz dodatki o niskiej temperaturze wrzenia mogą wspomagać występowanie kawitacji.

- Dodatki w oleju: woda, paliwo lub starty materiał i zanieczyszczenia
- Zbyt niskie ciśnienie oleju: występują nieprzewidziane straty ciśnienia (np. wskutek uszkodzenia pompy oleju) lub ustawione jest zbyt niskie ciśnienie oleju
- Za niskie ciśnienie pary stosowanego oleju
- Wzrost temperatury w łożysku (np. wskutek braku oleju)
- Oleje o niskiej lepkości zwiększają niebezpieczeństwo kawitacji
- Puste przestrzenie lub podkładki (np. osady nagaru olejowego) na grzbiecie łożyska mogą powodować drgania lub wibracje panewki łożyska, prowadzące do kawitacji

Kawitacja wskutek drgań lub procesu zasysania:

- Szczelina smaru jest zbyt duża, co powoduje spadek ciśnienia hydrodynamicznego w szczelinie
- Drgania wału korbowego: wskutek jednostronnie występującego działania ssącego ruchu czopów powoduje spadek ciśnienia
- Drgania otworu łożyska (z reguły w przypadku główek korbowodów) wskutek odkształcenia lub zginania powodują spadek ciśnienia w filmie olejowym

Kawitacja przepływowa:

- Nieciągłości powierzchni (kanały i rowki olejowe) oraz zmiany kierunku przepływu oleju mogą powodować spadek ciśnienia

## ŚRODKI ZARADCZE

Łożyska z występującą kawitacją nie muszą być wymieniane. Jednak w zależności od rozmiarów kawitacji możliwy jest spadek żywotności łożyska wskutek negatywnego wpływu na jego dynamikę. Nie powinno jednak dojść do całkowitego zniszczenia łożyska.

- Stosować oleje wysokiej jakości i regularnie wymieniać olej i filtr oleju zgodnie z wymaganiami producenta
- Sprawdzić i ewentualnie wyregulować ciśnienie oleju
- Zastosować olej o wyższym ciśnieniu pary: olej musi być jednak kompatybilny ze wszystkimi podzespołami silnika, ewentualnie skonsultować się z producentem

- Sprawdzić szczelność smaru i ewentualnie wyregulować luz łożyskowy
- Sprawdzić obciążenia drgające (wibracje) silnika
- Sprawdzić olej, czy nie jest rozcieńczony paliwem

# 5. USZKODZENIA ZMĘCZENIOWE

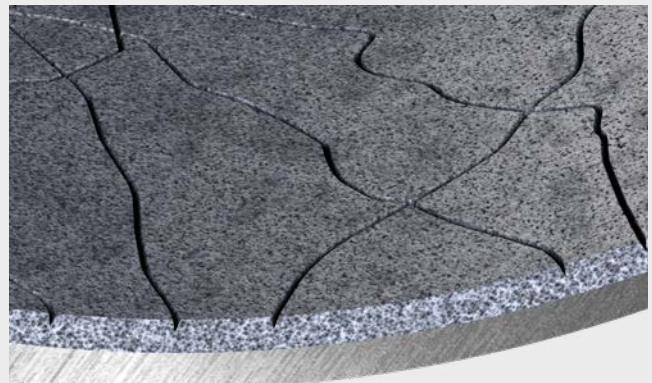
## 5.1 WPROWADZENIE

W przypadku lokalnego przekroczenia wytrzymałości zmęczeniowej materiału dochodzi do jego uszkodzenia przez zmęczenie.

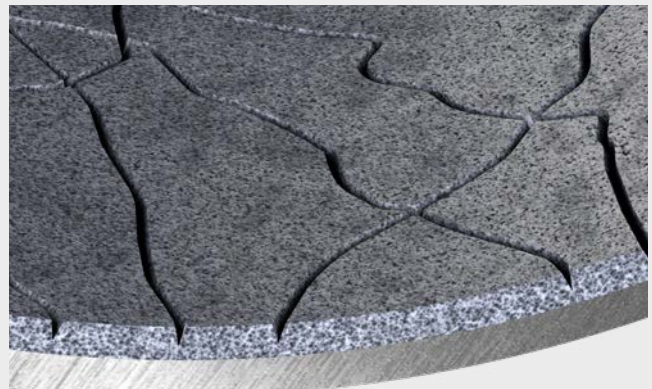
Powstają pierwsze pęknięcia (Rys. 1), powiększające się wskutek działania karbu, tworząc sieć pęknięć (Rys. 2). Prowadzi to następnie do wykruszeń stopu łożyskowego (Rys. 3). Sieć pęknięć i wykruszeń obniża wytrzymałość łożyska, przez co pod obciążeniem może dojść do przelomu zmęczeniowego. Łożysko ślizgowe traci wtedy swoje działanie i zostaje całkowicie zniszczone.

Wykruszenia materiału powodują dostawanie się cząstek stałych do układu smarowania. Może to powodować powstawanie rowków lub osadzanie cząstek w danym albo w sąsiednim łożysku.

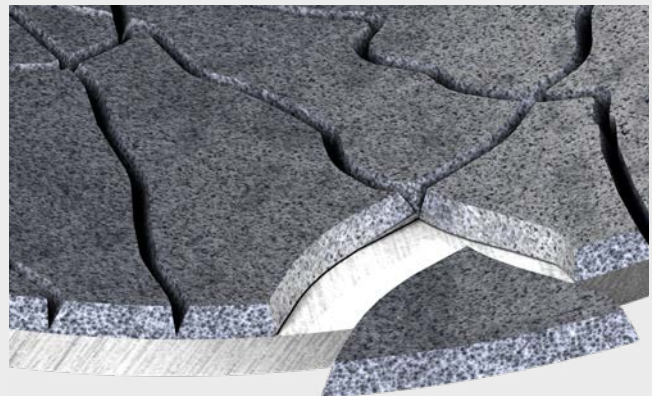
Konsekwencją mogą być też nadtarcia i zatarcia danego lub sąsiedniego łożyska.



Rys. 1: Pierwsze pęknięcia



Rys. 2: Siatka pęknięć



Rys. 3: Wykruszenia

## MOŻLIWE PRZYCZYNY

Objawy zmęczenia w postaci pęknięć lub wykruszeń stopu łożyskowego są powodowane przez przeciążenia dynamiczne. Może to mieć różne przyczyny:

- **Przeciążenie:** jeżeli łożyska są poddawane obciążeniom przekraczającym parametry konstrukcyjne, następuje zmęczenie materiału – zakłócenia spalania, na przykład spalanie stukowe, zwiększają nacisk na tłok i tym samym na łożysko korbowe
- **Zbyt mała szczelina smaru** – brak możliwości powstania nośnej warstwy smaru: ciśnienie filmu smarnego wzrasta w tych miejscach, co powoduje docisk powierzchni – przyczynami mogą być też błędy zbieżności, kształtu i geometrii lub błędy montażowe (patrz rozdział „2.5 Przypadki specjalne”), przy czym analiza sąsiednich łożysk może dostarczyć dodatkowych informacji
- **Niewystarczająca jakość oleju i jego starzenie:** zastosowanie nieodpowiedniego oleju lub utrata właściwości smarnych oleju wskutek jego starzenia mogą powodować znaczne zakłócenia w powstawaniu warstwy smaru
- **Drgania:** w razie dodatkowego obciążenia łożyska przez zmienne naprężenia, powodowane przez drgania, wzrasta niebezpieczeństwo zmęczenia materiału
- **Wysokie temperatury:** zmęczenie materiału jest większe w wyższych temperaturach, gdyż spada wtedy wytrzymałość materiału łożyska

---

## ŚRODKI ZARADCZE

- Sprawdzić obciążenie łożysk – ewentualnie należy zastosować łożysko o większej wytrzymałości zmęczeniowej
- Sprawdzić prawidłową geometrię wału korbowego: wymiar, odchyłka kołowości, walcowatość, falistość, chropowatość powierzchni
- Sprawdzić prawidłowość otworu nieprzelotowego kanału łożyska: wymiar, odchyłka kołowości, walcowatość, powierzchnia
- Sprawdzić zbieżność gniazda łożyska głównego (przestrzegać wymaganych momentów dokręcania śrub, zapewnić wystarczające chłodzenie silnika)
- Przed montażem sprawdzić prostokątność powierzchni korbowodów
- Wyważyć wał korbowy podczas montażu
- Stosować wyłącznie olej zalecany przez producenta i przestrzegać terminów wymiany oleju
- Zapewnić wystarczające chłodzenie silnika

## 5.2 PĘKNIĘCIA I WYKRUSZENIA WARSTWY ŚLIZGOWEJ

Ten rodzaj uszkodzenia występuje tylko w przypadku łożysk ślizgowych z naniesioną warstwą ślizgową z polimeru lub lakieru ślizgowego bądź z powłoką galwaniczną albo metalizowaną katodowo.

### OPIS

- Widoczne są delikatne pęknięcia w warstwie ślizgowej: głównie poprzecznie do kierunku ruchu – ten efekt jest często nazywany „kornikiem”; gdyż przypomina kanały żłobione przez korniki
- Często powiązany ze zużyciem krawędzi i przebarwieniem powierzchni łożyska



**Panewka łożyska korbowego od strony korbowodu, wykonana z kompozytu stalowo-mosiężnego z powłoką nanoszoną przez metalizowanie katodowe**

W kierunku podcięcia łożysko ślizgowe wykazuje objawy zmęczenia w postaci pęknięć i pierwszych wykruszeń aż do warstwy mosiężnej.



**Panewka łożyska głównego, wykonana z kompozytu stalowo-brązowego z powłoką galwaniczną**

Jednostronne zużycie krawędzi obu panewek łożyska doprowadziła do zmęczenia powłoki galwanicznej, powodując typowy obraz uszkodzenia „kornik”.

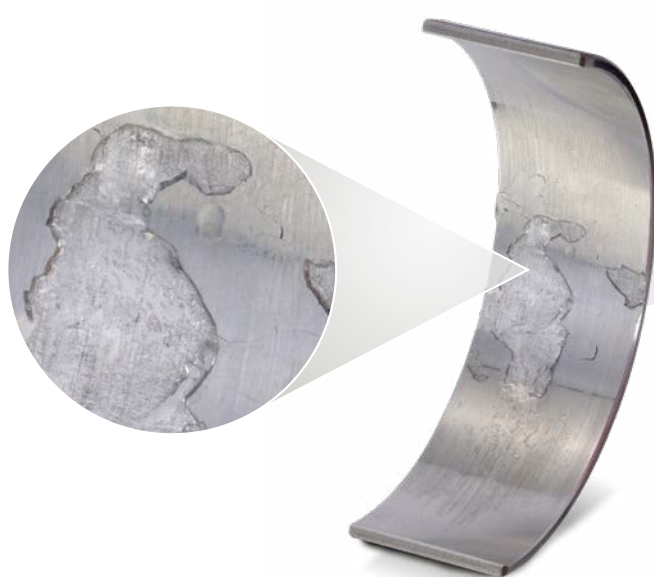


**Możliwe przyczyny i środki zaradcze patrz rozdział „5.1 Wprowadzenie”**

## 5.3 PĘKNIĘCIA I WYKRUSZENIA STOPU ŁOŻYSKOWEGO

### OPIS

- Pęknięcia oraz płytkowe wykruszenia powłoki aż do materiału łożyska
- W zależności od czasu eksploatacji krawędzie wykruszeń zaokrąglone wskutek zużycia



**Panewka łożyska korbowego od strony korbowodu, wykonana z kompozytu stalowo-aluminiowego**

Widoczne są wielkopowierzchniowe wykruszenia i pęknięcia.



**Możliwe przyczyny i środki zaradcze patrz rozdział „5.1 Wprowadzenie”**

# 6. SZKODY WSKUTEK PRZEGRZANIA

## 6.1 WPROWADZENIE

Szkody wskutek przegrzania wynikają z nadmiernego nagrzewania się panewki łożyska ślizgowego, związanego z silnym tarciem półpłynnym. Dlatego razem z nadtarciami lub zatarciami występują także pęknięcia termiczne, przebarwienia i nadtopienia. Centralną rolę odgrywa przy tym odprowadzanie ciepła przez smar.

W razie braku odprowadzania ciepła dochodzi do całkowitego zniszczenia łożyska. Już przy pierwszym przegrzaniu dochodzi miejscowo do zmian struktury i spada wytrzymałość zmęczeniowa materiału. W miejscach występowania przegrzania powstają pęknięcia termiczne.

---

### MOŻLIWE PRZYCZYNY

- Szkody pośrednie wskutek wzrostu temperatury spowodowanego przez nadtarcia, zatarcia lub zużycie krawędzi
- Niewystarczające odprowadzanie ciepła przez smar (patrz rozdział: „2.3 Nadtarcie”)

---

### ŚRODKI ZARADCZE

W razie wystąpienia uszkodzeń wskutek przegrzania konieczna jest wymiana łożyska i ustalenie przyczyn uszkodzenia. Po stwierdzeniu szkód pośrednich należy usunąć przyczynę szkody pierwotnej.

Jeżeli nie są widoczne inne uszkodzenia łożyska, sprawdzić obieg smaru (patrz rozdział „2.3 Nadtarcie”) i obciążenie łożyska.



## 6.2 PĘKNIĘCIA TERMICZNE

### OPIS

- Widoczne są usieciowane pęknięcia
- Nadtopienia i przebarwienia panewki łożyska



**Panewka łożyska korbowego od strony pokrywy i korbowodu, wykonana z kompozytu stalowo-mosiężnego z powłoką galwaniczną**

Na warstwie bieżnej zatartych panewek łożysk widoczne są wyraźne przebarwienia i nadtopienia. Powstawanie pęknięć jest widoczne przede wszystkim w obszarze krawędzi.



**Możliwe przyczyny i środki zaradcze patrz rozdział „6.1 Wprowadzenie”**

## 6.3 NADTOPIENIA POWŁOKI ŁOŻYSKA

### OPIS

- Na powierzchni bieżnej widoczne są przesunięcia i rozmazy materiału
- Powiązane z pęknięciami termicznymi i przebarwieniem panewki łożyska



**Panewka łożyska korbowego od strony pokrywy, wykonana z kompozytu stalowo-brązowego z powłoką galwaniczną**

W powierzchni galwanicznej widoczne są białe nadtopenia.



**Możliwe przyczyny i środki zaradcze patrz rozdział „6.1 Wprowadzenie”**

## 6.4 ZABARWIENIA POWŁOKI ŁOŻYSKA LUB GRZBIETU ŁOŻYSKA

### OPIS

- Niebieskie do czarnych przebarwienia powłoki bieżnej lub grzbietu łożyska
- Powiązane z nadtopieniami i odwarstwieniami lub przesunięciami materiału



**Panewka łożyska korbowego od strony korbowodu, wykonana z kompozytu stalowo-brązowego z powłoką galwaniczną**

Po zatarciu łożyska jego grzbiet jest przebarwiony na czarno.



**Panewka łożyska korbowego od strony pokrywy, wykonana z kompozytu stalowo-brązowego z powłoką galwaniczną**

W warstwie bieżnej widoczne jest zabarwienie wskutek tarcia.



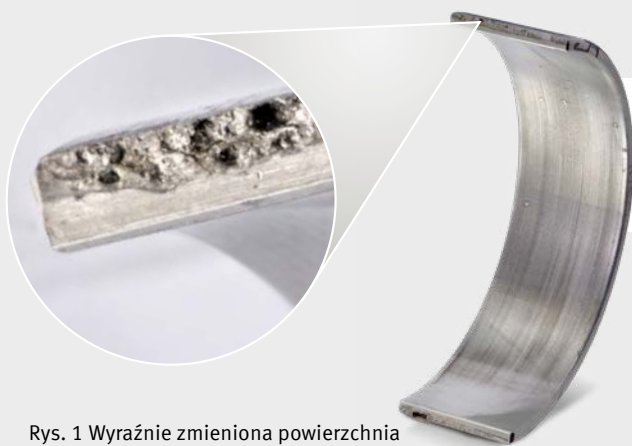
**Możliwe przyczyny i środki zaradcze patrz rozdział „6.1 Wprowadzenie”**

# 7. KOROZJA

## 7.1 KOROZJA CIERNA

### OPIS

- Powierzchnia grzbietu łożyska lub powierzchnia podziału z wżerami
- Chropowate, matowe miejsca



Rys. 1 Wyraźnie zmieniona powierzchnia materiału

**Dolna panewka łożyska głównego, wykonana z kompozytu stalowo-aluminiowego**

Także w obszarze powierzchni podziału widoczne są ślady ruchów panewki łożyska w postaci korozji ciernej. Powierzchnia materiału wykazuje znaczne zmiany (Rys. 1).



**Górne panewki łożyska głównego, wykonane z kompozytu stalowo-aluminiowego**

Widoczne są wyraźne ślady korozji ciernej – częściowo z wyrwanymi fragmentami materiału (Rys. 2).

Wyraźnie widoczne są tu oznaki powierzchniowej korozji ciernej z wyrwanymi fragmentami materiału i wżerami w powierzchni (Rys. 3).

Rys. 2 Częściowo wyrwane fragmenty materiału

Rys. 3 Wyrwane fragmenty materiału i wżery w powierzchni

## OCENA

Jeżeli panewka łożyska nie jest prawidłowo osadzona na koźle łożyskowym, powodowane tym faktem ruchy względne (mikropoślizgowe) prowadzą do korozji czarnej. Ciepło powstające wskutek tarcia powodowanego przez ruchy łożyska nie jest odprowadzane przez smar jak wewnątrz łożyska, lecz powoduje lokalne przegrzania stalowego grzbietu łożyska. Te przegrzania prowadzą do nadtopień wraz z typowymi dla tego zjawiska wżerami w powierzchni. Następuje wymiana materiału pomiędzy grzbietem łożyska a otworem.

Medium otoczenia może penetrować schropowane już i aktywowane powierzchnie, przyspieszając korozję. Korozja czarna powoduje spadek wytrzymałości zmęczeniowej materiału, gdyż ułatwia ona powstawanie mikropęknięć. Mogą wystąpić uszkodzenia zmęczeniowe z następstwami w postaci naderwać czy pęknięć zmęczeniowych.

## MOŻLIWE PRZYCZYNY

- Niewystarczające naprężenie wstępne lub zbyt duży otwór nieprzelotowy bądź zbyt mała panewka łożyska
- Zbyt mały występ panewki łożyska: występ panewki łożyska gwarantuje mocne osadzenie przez wystarczające pasowanie wtlaczane
- Odkształcenie korpusu: w przypadku bloków silnika z aluminium duże wpływy termiczne mogą spowodować różne odkształcenia korpusu i panewki łożyska, przy czym osadzenie łożyska może stać się niewystarczające
- Wygięcie wału korbowego: wygięcie wału korbowego pozostawia specjalne ślady przylegania na powierzchni bieżnej łożyska (patrz rozdział „2.5 Przypadki specjalne”)
- Zbyt słabe dokręcenie śrub
- Drgania lub wibracje korpusu bądź wału korbowego, powodujące mikroruchy (drżania i wibracje mogą być też wzmagane przez podkładki bądź puste przestrzenie)

## ŚRODKI ZARADCZE

Jeżeli widoczne są objawy korozji czarnej, konieczna jest wymiana łożyska, gdyż jego wytrzymałość zmęczeniowa może być już zredukowana.

- Otwór montażowy i średnica zewnętrzna panewki łożyska muszą mieścić się w przedziale tolerancji, aby zapewniony był wymagany luz łożyskowy
- Występ: aby zagwarantować wymagane pasowanie wtlaczane do osadzenia łożyska jego panewki muszą mieć wystarczający występ
- Sprawdzić otwór montażowy i korpus, czy nie wykazują ewentualnych odkształceń
- Wyważyć wał korbowy podczas montażu i sprawdzić obciążenie wału
- Zachować kolejność dokręcania i wymagany moment dokręcania śrub, podane przez producenta
- Sprawdzić silnik, czy nie wykazuje drgań i wibracji podczas pracy

## 7.2 KOROZJA CHEMICZNA

### OPIS

- Przebarwienia powierzchni materiału, z reguły w obszarze obciążeń głównych
- Powierzchnia bieżna chropowata i porowata



**Dolna panewka łożyska głównego, wykonana z kompozytu stalowo-aluminiowego**

Na powierzchni bieżnej, zwłaszcza pośrodku łożyska widoczne są osady produktów korozji. Osady występują w postaci plam. Pod mikroskopem w skorodowanym obszarze widoczne jest schropowacenie powierzchni bieżnej łożyska.

## OCENA

Korozja chemiczna jest powodowana przez reakcje chemiczne pomiędzy panewką łożyska a olejem silnikowym. Przyczyną reakcji chemicznych są agresywne dodatki w oleju lub zanieczyszczenia oleju, które dostały się do niego podczas eksploatacji.

Oddziaływania chemiczne powodują spadek wytrzymałości zmęczeniowej materiału, przez co uszkodzenia zmęczeniowe mogą wystąpić już przy niewielkim obciążeniu.

---

## MOŻLIWE PRZYCZYNY

- Zużycie, kawitacja i erozja mogą przyspieszać korozję, gdyż uszkadzają one powierzchnię materiału i aktywują ją chemicznie
- Powstawanie kwasów i soli metali wskutek starzenia oleju
- Niedopuszczalne, agresywne dodatki do olejów
- Agresywne produkty spalania (siarka, siarkowodór)
- Zanieczyszczenie oleju wodą lub środkami przeciw zamarzaniu
- Wysoka temperatura pracy przyspiesza przebieg procesów chemicznych, takich jak starzenie oleju

---

## ŚRODKI ZARADCZE

Skorodowane łożyska muszą zostać wymienione.

- Wymianę oleju zawsze przeprowadzać zgodnie z wymaganiami producenta
- Stosować tylko wysokiej jakości oleje bez agresywnych dodatków
- Zapewnić wystarczające chłodzenie silnika

## 8. USZKODZENIA TARCZ OPOROWYCH

Tarcze oporowe zapewniają przenoszenie sił osiowych, występujących na przykład przy naciśnięciu sprzęgła. Dlatego w zestawie łożysk głównych zawsze jedno z miejsc łożyskowania

jest podpierane osiowo. Służą do tego wstawiane tarcze oporowe lub wstępnie zamontowane, gotowe do użycia łożyska kołnierzowe albo pasowane panewki łożyska.

Powstawanie pęknięć od krawędzi zewnętrznej do krawędzi zewnętrznej



Wielkopowierzchniowe wykruszenie materiału na zewnętrznej krawędzi tarczy oporowej



---

### MOŻLIWE PRZYCZYNY

- Zbyt mały luz osiowy, przez co tarcza oporowa jest dociskana do ślizgowego elementu współpracującego
- Zbyt duże obciążenie osiowe
- Ciągłe obciążenie osiowe
- Wykorbowanie wału korbowego zbyt chropowate

---

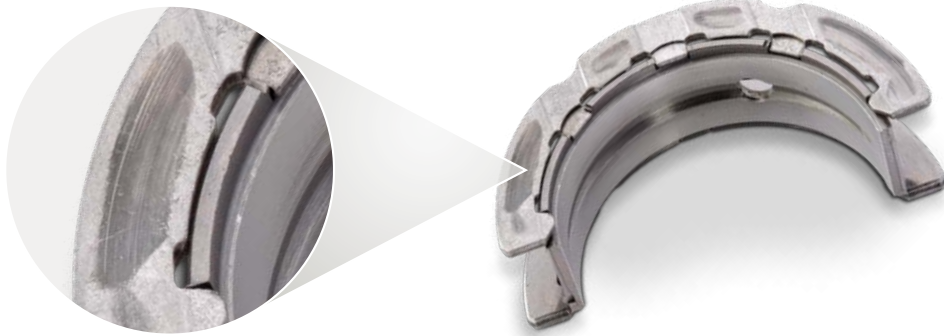
### ŚRODKI ZARADCZE

- Sprawdzić luz osiowy wału korbowego i zapewnić, że mieści się on w wymaganym przedziale tolerancji – ewentualnie zamontować tarczę oporową ze stopniem podwymiaru
- Sprawdzić osiowe obciążenie tarcz oporowych



**Zużycie ślizgowe**

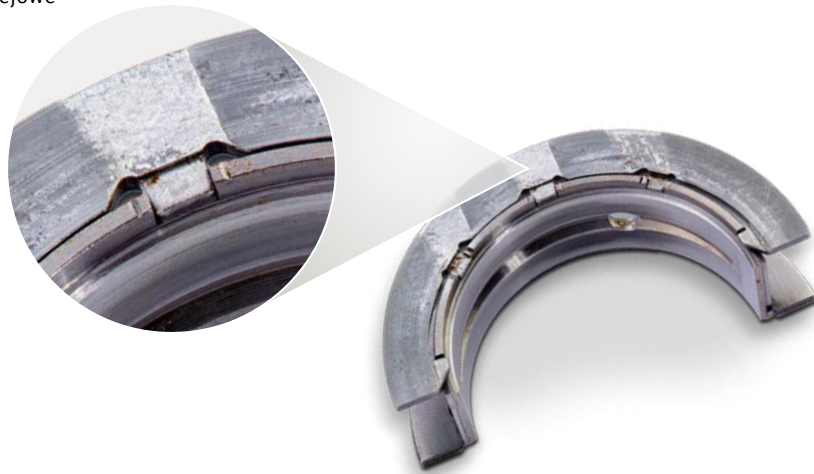
Na powierzchni bieżnej tarczy oporowej widoczne są ślady tarcia



Stan nowy przed eksploatacją

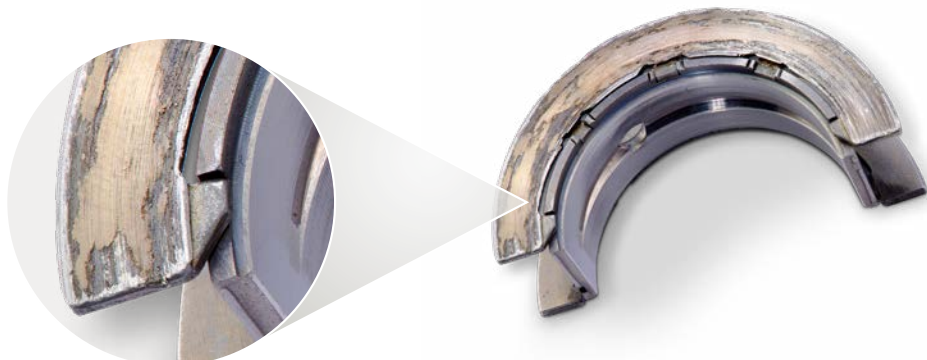
**Zaawansowane zużycie ślizgowe**

Przesunięcia i ubytki materiału, praktycznie niewystępujące już rowki olejowe



**Zatarcia**

Wyrwane fragmenty materiału i powstawanie dużych rowków, rowki olejowe całkowicie niewidoczne

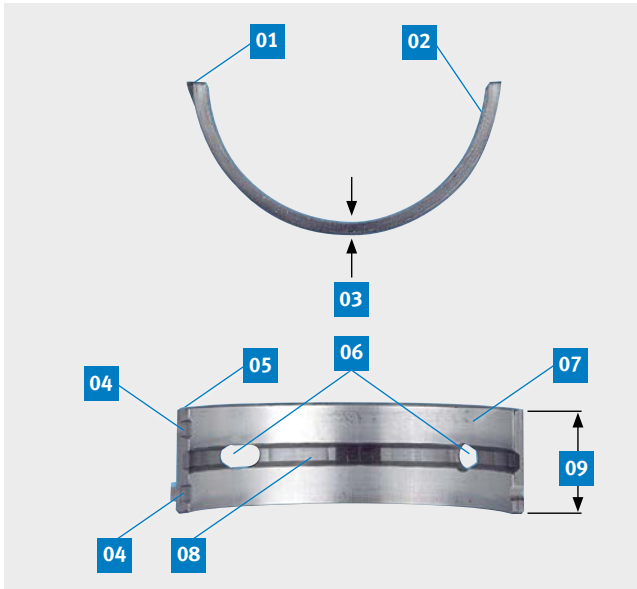


Całkowite zniszczenie

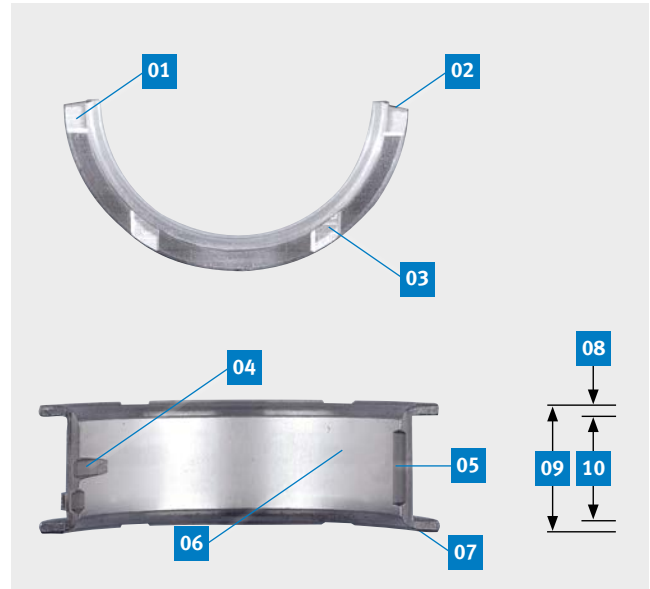


# 9. SŁOWNIK POJĘĆ

## POJĘCIA SPECJALISTYCZNE I NAZEWNICTWO ZWIĄZANE Z ŁOŻYSKAMI ŚLIZGOWYMI



- 01 Powierzchnia podziału
- 02 Podcięcie powierzchni bieżnej
- 03 Grubość ścianki
- 04 Występy ustalające po lewej i po prawej stronie
- 05 Powierzchnia czołowa
- 06 Kanał olejowy
- 07 Powierzchnia bieżna
- 08 Rowek olejowy wewnętrzny
- 09 Szerokość łożyska



- 01 Podcięcie powierzchni czołowej
- 02 Podcięcie płaszczyzny podziałowej pierścieni oporowych
- 03 Rowek olejowy na powierzchni czołowej
- 04 Rowek sierpowy
- 05 Kieszceń smarowa
- 06 Powierzchnia bieżna
- 07 Powierzchnia czołowa
- 08 Grubość pierścienia oporowego
- 09 Szerokość łożyska
- 10 Odstęp kołnierzy



- 01 Występ ustalający
- 02 Rowek olejowy

## OBJAŚNIENIE POJĘĆ SPECJALISTYCZNYCH

### **Abrazyjny**

Ścierny, szlifujący

### **Automatyczny system start-stop**

Przed wszystkim z powodu wymaganej redukcji emisji CO<sub>2</sub> coraz częściej stosowana jest przerywana praca silników spalinowych. Przy stosowaniu systemem start-stop silnik jest zatrzymywany przy nieruchomym pojeździe i automatycznie uruchamiany do ruszania. Wymaga to od łożysk ślizgowych silnika zwiększonej odporności na tarcie półtłpne. Przy każdym zatrzymaniu i uruchamianiu silnika łożyska opuszczają hydrodynamiczny obszar pracy, przechodząc przez strefę tarcia półtłpnego aż do osiągnięcia zerowej prędkości ślizgowej. Tylko specjalne zoptymalizowane warstwy ślizgowe gwarantują wystarczającą odporność na zużycie w tych wyjątkowo niekorzystnych dla łożyska ślizgowego trybologicznych warunkach pracy.

### **Blokada dyfuzyjna**

Blokada dyfuzyjna to cienka warstwa, wykonywana najczęściej z niklu (Ni) lub niklochromu (NiCr), mająca uniemożliwić dyfuzję cyny pomiędzy warstwą ślizgową nanoszoną galwanicznie lub przez metalizowanie katodowe (najwyższą warstwą łożyska) a brązem, stosowanym jako materiał łożyska. Dyfuzja cyny spowodowałaby zmianę właściwości mechanicznych warstwy ślizgowej i stopu łożyskowego.

### **Erozja**

Ubytki materiału powodowane przez energię kinetyczną substancji stałych, ciekłych lub gazowych, działających na powierzchnię tego materiału.

### **Galwanizacja**

Elektrochemiczna metoda nanoszenia powłok – powłoki galwaniczne są nanoszone elektrochemicznie na gotowe łożyska ślizgowe i umożliwiają osiąganie obciążeń jednostkowych do ok. 100 MPa. Powłoki galwaniczne mają ułatwiać procesy dopasowania w fazie docierania oraz polepszać odporność panewek łożysk na cząstki i właściwości pracy awaryjnej panewek.

### **Grubość ścianki**

Luz łożyskowy jest ustawiany za pośrednictwem grubości ścianki łożyska ślizgowego. Ponieważ średnica zewnętrzna wynika z pasowania włączanego, luz łożyskowy można dopasowywać względem średnicy wału przez zmienianie grubości ścianki. Do remontowanych wałów dostępne są łożyska ślizgowe z różnymi stopniami nadwymiaru (większymi grubościami ścianek).

### **Korbowody łamane**

Korbowody łamane są wytwarzane jako elementy jednoczęściowe. Następnie nanoszone są na nie mechaniczne karby przetomu (korbowody spiekane) lub laserowe karby przetomu (korbowody stalowe), po czym korbowody są celowo łamane na dwie części (krakowane). Podczas montażu korbowodu obie części są ze sobą skręcane, przy czym ze względu na indywidualną geometrię przetomu zapewnione jest idealne pasowanie.

### **Metalizowanie katodowe**

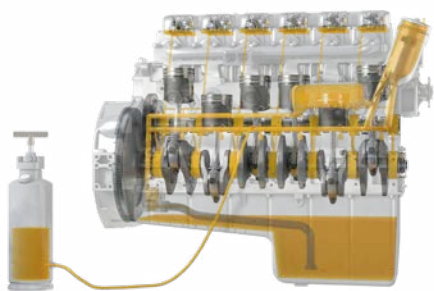
Zwłaszcza w przypadku łożysk korbowych silniki o wysokiej mocy wymagają stosowania nowoczesnych materiałów o znacznie wyższej wytrzymałości zmęczeniowej, niższym współczynniku zużycia w strefie tarcia półtłpnego oraz dobrej odporności na korozję w wyższych temperaturach. Ten skomplikowany profil wymagań można zrealizować, korzystając z metody fizycznego osadzania z fazy gazowej (PVD). W warunkach wysokiej próżni z materiału aktywnego wybijane są mikroskopijne cząsteczki. Przy użyciu pól elektromagnetycznych są one równomiernie nanoszone na powlekaną część. Takie „powłoki magnetronowe” charakteryzują się mikroskopijnie dokładnym rozkładem poszczególnych składników strukturalnych. Punktem wyjścia jest znane łożysko trójmetalowe. Zachowano przy tym podstawową strukturę, zastępując galwaniczną warstwę ślizgową powłoką nanoszoną przez metalizowanie katodowe. Panewki łożysk z powłokami nanoszonymi przez metalizowanie katodowe są stosowane zwłaszcza po dociskanej stronie łożysk korbowych. Panewki współpracujące realizowane są jako typowe łożysko dwu- lub trójmetalowe. Prawidłowe położenie montażowe panewki łożyska z powłoką metalizowaną katodowo jest warunkiem zapewnienia niezawodności eksploatacyjnej.

### **Nadtarcie**

Poprzedza zatarcie i jest powodowane przez silne tarcie półpłynne (np. wskutek braku oleju). Typowymi objawami nadтарcia są powstawanie rowków i ślady tarcia półpłynnego oraz przesunięcia warstwy ślizgowej.

### **Napełnianie układu ciśnieniowego smarowania olejem**

Aby zapobiec uszkodzeniom wskutek docierania, takim jak np. pracy łożysk ślizgowych na sucho, przed pierwszym uruchomieniem silnika konieczne jest napełnienie układu smarowania olejem pod ciśnieniem i odpowietrzenie go.



### **Od strony korbowodu / od strony pokrywy**

Aby umożliwić montaż korbowodu na wale korbowym, łożysko korbowe składa się z panewki łożyska od strony korbowodu i panewki łożyska od strony pokrywy. W zamontowanym stanie śruby korbowodu tworzą z pary panewek łożyska dokładnie zamknięte łożysko. Panewka łożyska od strony korbowodu jest narażona na znacznie wyższe obciążenia mechaniczne niż panewka od strony pokrywy, gdyż za jej pośrednictwem przenoszona jest na wał korbowy siła gazu z procesu spalania. Zwłaszcza w przypadku silników wysokoprężnych o wysokim stopniu turbodoładowania na panewkę łożyska ślizgowego działają obciążenia jednostkowe o wielkości 100 MPa lub powyżej. Zadaniem panewki łożyska korbowego od strony pokrywy jest zamknięcie łożyska.

### **Odchyłka kołowości**

Odchyłka kołowości bryły obrotowej w przekroju (prostoadle do jej osi rzeczywistej) to minimalne szerokość pierścienia, utworzonego przez dwa koncentryczne okręgi. Środek można swobodnie poruszać wewnątrz przekroju, aż szerokość pierścienia osiągnie wartość minimalną. Wszystkie punkty danej bryły muszą się przy tym znajdować pomiędzy oboma okręgami.

### **Pasowanie wtlaczane i występ**

Tuleje i panewki łożysk są mocowane w korpusie przede wszystkim przez pasowanie wtlaczane. Pasowanie wtlaczane panewek łożysk jest wynikiem wykonania półwalca o długości obwodowej większą niż 180°. Różnica pomiędzy wymiarem rzeczywistym długości obwodowej panewki łożyska a długością obwodową odpowiadającą 180° jest nazywana występem. Występ panewki łożyska wpływa bezpośrednio na pasowanie wtlaczane.

### **Podcięcie**

Obszar panewki łożyska ze zmniejszającą się grubością ścianki w kierunku powierzchni podziału. Kompensuje to niedokładności montażowe.

### **Powierzchnia podziału**

Powierzchnia podziału panewki łożyska to wolne końce wycinka walca. Te powierzchnie powstają przy odcinaniu płytki z taśmy lub podczas odpowiedniej obróbki końcowej. Podczas montażu górna i dolna panewka są zaciskane w korpusie przez powierzchnie podziału, aby dzięki występowi zagwarantować pasowanie wtlaczane.

### **Powłoka polimerowa**

Zwana także polimerowym lakierem ślizgowym. Składa się ona z żywicy poliamidowej o wysokiej zawartości wypełniaczy redukujących tarcie i zużycie, odpornej na temperaturę i zanieczyszczenia. Nowa kombinacja metalu z polimerem zapewnia w rezultacie o 20% wyższą obciążalność niż standardowe łożyska dwumetalowe, zwiększoną odporność na zużycie i zredukowane parametry tarcia.

### **Prędkość obrotowa oderwania**

Opisuje miejsce oderwania – obszar, w którym tarcie półpłynne przechodzi w tarcie płynne wskutek większej prędkości ślizgowej. W hydrodynamicznych łożyskach ślizgowych, jakie stosowane są w silnikach spalinowych, cienki film smary powstaje dopiero przy wyższych prędkościach ślizgowych. Przy niskich prędkościach ślizgowych te łożyska ślizgowe muszą być odporne na tarcie półpłynne z dużym udziałem tarcia ciał stałych. Z tego powodu producenci dążą do jak największego ograniczenia czasu pracy z tarcie półpłynnym.

**Rozwarcie**

Wymiar rozwarcia to odchylenie średnicy zewnętrznej od idealnego kształtu kołowego w obszarze powierzchni podziału. Odpowiada on elastycznemu odsprężynowaniu po nadaniu kształtu i jest mierzony w stanie niezamontowanym. Wynikające stąd naprężenie wstępne panewki łożyska zapewnia podczas montażu ścisłe przyleganie do ścianki otworu i zapobiega wypadnięciu lub obróceniu panewki.

**Siła osiowa**

Siła działająca w kierunku osi bryły obrotowej.

**Ślad przylegania / obraz przylegania**

Wygląd powierzchni bieżnej łożyska, powstający wskutek styku z czopem podczas pracy.

**Systemy rowków / rowek olejowy**

Systemy rowków są konieczne do rozprowadzania wymagane smaru w łożysku i zapewniania hydrodynamicznego stanu pracy. Są one umieszczane najlepiej w nieobciążonym obszarze łożyska. Systemy rowków zapewniają ponadto rozprowadzanie smaru do innych odbiorników.

**Tarcie płynne**

Zwane także tarcie fluidalnym. W hydrodynamicznych łożyskach ślizgowych przy niskich prędkościach obrotowych nie wytwarza się nośny film smarny, stąd występuje wtedy tarcie półpłynne pomiędzy czopem a łożyskiem ślizgowym. Dopiero powyżej prędkości obrotowej oderwania występuje tarcie płynne, będące pożądanym stanem pracy. Powstaje wtedy nośny film smarny, który minimalizuje zużycie czopa i łożyska ślizgowego.

**Występy ustalające**

Występy ustalające są umieszczane na panewkach łożyskowych w obszarze powierzchni podziału. Poprzez pozycjonowanie osiowe zapobiegają one błędom montażowym.

# TRANSFER WIEDZY

## WIEDZA FACHOWA OD EKSPERTA

### SZKOLENIA NA CAŁYM ŚWIECIE

#### Bezpośrednio od producenta

Co roku około 4 500 mechaników i techników korzysta z naszych szkoleń i seminariów, które przeprowadzamy w każdym miejscu na świecie oraz w naszych centrach szkoleniowych w Neuenstadt, Dormagen i Tamm (Niemcy).

### INFORMACJE TECHNICZNE

#### Od praktyków dla praktyków

Dzięki naszym Product Information, Service Information, broszurom technicznym oraz plakatom zawsze jesteś na aktualnym poziomie techniki.

### WIDEOKLIPY TECHNICZNE

#### Wiedza z wideoklipów

W naszych wideoklipach technicznych można znaleźć praktyczne wskazówki montażowe i opisy systemowe naszych produktów.



### PREZENTACJA PRODUKTÓW ONLINE

#### Przejrzyste objaśnienie naszych rozwiązań

Elementy interaktywne, animacje i filmy przekazują cenne informacje na temat naszych produktów związanych z silnikiem.

### SKLEP INTERNETOWY

#### Bezpośredni dostęp do naszych produktów

Składanie zamówień przez całą dobę. Szybkie sprawdzanie dostępności towaru. Rozbudowane wyszukiwanie produktów poprzez silnik, pojazd, wymiary itp.

### NOWOŚCI

#### Regularne informacje pocztą elektroniczną

Zaprenumeruj online nasz bezpłatny biuletyn, a będziesz regularnie otrzymywał informacje na temat nowych produktów, publikacji technicznych i wiele więcej.

### INDYWIDUALNE INFORMACJE

#### Specjalnie dla naszych klientów

Otrzymasz od nas obszerne informacje na temat naszej szerokiej oferty: jak np. spersonalizowane materiały promocyjne, wsparcie sprzedaży, pomoc techniczną i wiele więcej.



### TECHNIPEDIA

#### Informacje techniczne związane z silnikiem

Nasze know-how udostępniamy w dziale Technipedia. Tutaj znajdziesz wiedzę fachową pochodzącą od ekspertów.

### APLIKACJA MOTORSERVICE

#### Mobilny dostęp do wiedzy technicznej

Tutaj otrzymasz szybko i łatwo najbardziej aktualne informacje oraz materiały na temat naszych produktów.

### MEDIA SPOŁECZNOŚCIOWE

#### Zawsze na bieżąco





**HEADQUARTERS:**

**MS Motorservice International GmbH**

Wilhelm-Maybach-Straße 14–18

74196 Neuenstadt, Germany

[www.ms-motorservice.com](http://www.ms-motorservice.com)

[www.rheinmetall.com](http://www.rheinmetall.com)

© MS Motorservice International GmbH – 50003 859-13 – PL – 05/17 (112022)

