

Waldemar TUSZYŃSKI*, **Marek KALBARCZYK***,
Michał MICHALAK*

BADANIE WPŁYWU SAMOCHODOWYCH I PRZEMYSŁOWYCH OLEJÓW PRZEKŁADNIOWYCH NA MIKROPITTING KÓŁ ZĘBATYCH

**TESTING OF AN EFFECT OF AUTOMOTIVE
AND INDUSTRIAL GEAR OILS ON GEAR MICROPITTING**

Słowa kluczowe:

mikropitting, samochodowy olej przekładniowy, olej przekładniowy przemysłowy, stanowisko do badań przekładniowych

Key words:

micropitting, automotive gear oil, industrial gear oil, gear test rig

Streszczenie

Celem pracy była ocena wpływu właściwości samochodowych olejów przekładniowych (przeznaczonych do ręcznych skrzyń biegów oraz do tylnych mostów) na przeciwdziałanie mikropittingowi kół zębatych. Badania wykonano za pomocą stanowiska przekładniowego T-12U, metodą

* Instytut Technologii Eksploatacji – PIB, ul. K. Pułaskiego 6/10, 26-600 Radom.

FZG GT-C/8,3/90. Zbadano trzy samochodowe oleje przekładniowe z bazą mineralną – klasy API GL-3, GL-4 i GL-5, a także olej z bazą syntetyczną (PAO) klasy GL-5. Punktem odniesienia były wyniki badań dwóch olejów przekładniowych przemysłowych; jeden z nich miał bazę biodegradowalną.

Nie stwierdzono wpływu klasy jakościowej API GL samochodowych olejów przekładniowych na mikropitting. Olej przekładniowy przemysłowy z bazą biodegradowalną pozwala osiągnąć wysoką odporność na mikropitting, podobnie jak najlepsze oleje przekładniowe samochodowe.

Nie stwierdzono korelacji pomiędzy oporami ruchu, właściwościami przeciwdzierciowymi oraz właściwościami związanymi z przeciwdziałaniem pittingowi a odpornością na mikropitting. Natomiast lepkość oleju, a co za tym idzie, grubość filmu smarowego, ma korzystny wpływ na przeciwdziałanie mikropittingowi. Badania nad tą formą zużywania będą kontynuowane.

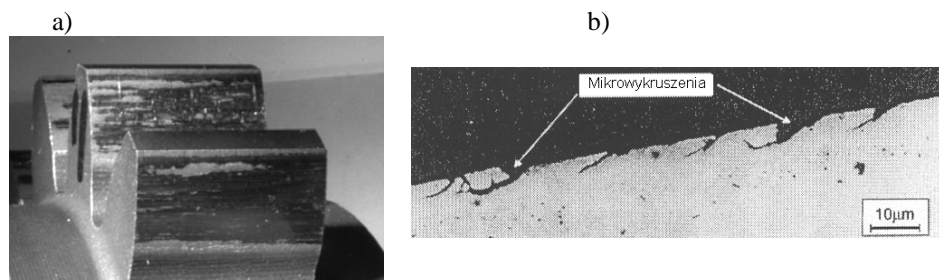
WPROWADZENIE – PROBLEMY BADANIA MIKROPITTINGU

Oprócz zacierania i powierzchniowego zużycia zmęczeniowego, robocza powierzchnia zębów kół zębatych narażona jest także na inną, groźną formę zużywania zwaną mikropittingiem. W języku angielskim forma ta występuje pod nazwą *MICROPITTING* ~~OR~~ *STAINING*, *FROSTING* oraz rzadziej *PITTING*.

Ponieważ mikropitting występuje w postaci szarych pasm (**Rys. 1a**), początkowo sądzono, że jest to jedynie nieszkodliwe odbarwienie powierzchni, swoista „szara korozja”. Obecnie wiadomo, że mikropitting jest groźną formą niszczenia powierzchni roboczej zębów. Zmniejsza on dokładność geometrii zęba, zwiększa hałas i drgania przekładni [**L. 1, 2**]. Szczególnie istotne jest to, że mikropitting można zaobserwować już po stosunkowo niewielkiej liczbie obrotów kół zębatych (nawet po mniej niż 1 mln), po czym na skutek wzrostu drgań i hałasu (zmiana zarysu zęba) koła często nie nadają się do dalszej pracy [**L. 3**]. Groźne jest także to, że mikropitting może zainicjować pitting [**L. 4, 5**]; prowadzi też do znaczącego osłabienia zęba, co może skutkować nawet jego złamaniem [**L. 4**].

Mikropitting związany jest z powierzchniowym zmęczeniem materiału, w wyniku czego powstają liczne mikropeknięcia rozchodzące się tuż pod powierzchnią. W efekcie powstają liczne, płytkie mikrowykruszenia, o głębokości najczęściej do 10 μm [**L. 5–7**]. Mikropeknięcia propagują

pod łagodnym kątem, zazwyczaj mniejszym od 30° [L. 3]. Na **Rys. 1b)** pokazano zgląd poprzeczny części roboczej zęba uszkodzonej w wyniku wystąpienia mikropittingu.



Rys. 1. Fotografie mikropittingu: a) uszkodzony ząb – strefy mikropittingu widoczne w postaci szarych pasm u stopy i głowy zęba [L. 8], b) mikropęknięcia i mikrowykruszenia widoczne na zglądzie poprzecznym części roboczej zęba [L. 2]

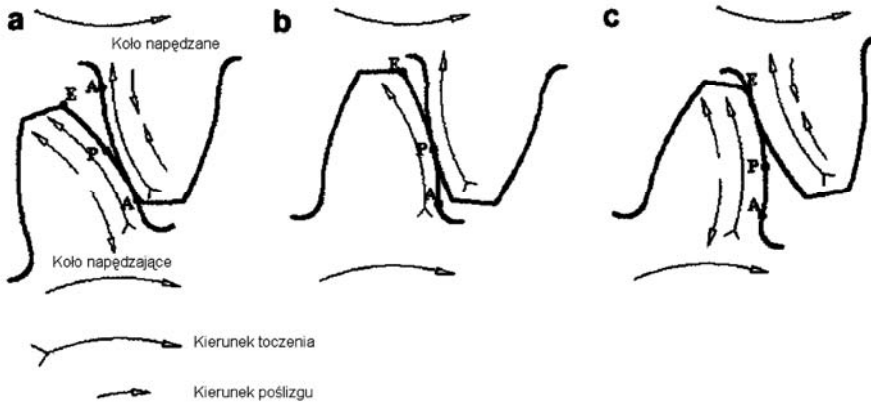
Fig. 1. Photographs of micropitting: a) damaged tooth – micropitting in a form of grey stripes at tooth dedendum and addendum [L. 8], b) cross-section picture of microcracks and micropits in the gear tooth flank [L. 2]

Niektórzy badacze podają, że mikropitting może występować u wierzchołka zęba, gdzie poślizgi są największe i w miejscach nierówności powierzchni, gdzie występuje lokalna koncentracja nacisków [L. 5]. Najczęściej jednak przyjmuje się, że największe prawdopodobieństwo wystąpienia mikropittingu ma miejsce w obszarach poniżej średnicy toczonej, gdzie wektor prędkości poślizgu ma zwrot przeciwny do prędkości toczenia [L. 9, 10]. Wyjaśniono to graficznie na **Rys. 2**, pokazującym schematycznie przemieszczenie się punktu styku wzdłuż odcinka przyporu.

Na odcinku AP zwroty wektorów obu prędkości dla koła napędzającego są przeciwne (**Rys. 2a**); w tym miejscu występuje tendencja do mikropittingu. W punkcie P (**Rys. 2b**) występuje czyste toczenie. Na odcinku PE (**Rys. 2c**) dla koła napędzającego zwroty wektorów prędkości są zgodne, natomiast dla koła napędzanego są przeciwne, co naraża koło napędzane na mikropitting w tym miejscu.

Najczęściej przyjmuje się, że mikropitting występuje w węzłach pracujących w ruchu toczo-ślizgowym w warunkach smarowania EHD lub mieszanego [L. 5], przy czym dotyczy to zarówno kół zębatych, jak i łożysk tocznych [L. 3]. Niektórzy badacze zawężają pojawianie się mi-

kropittingu do wysokoobciążonych, nawęglanych kół zębatych [L. 12]. Inni sądzą, że ta forma zużycia może pojawić się niezależnie od sposobu obróbki cieplnej czy cieplno-chemicznej kół zębatych [L. 3, 7].



Rys. 2. Przeszczanie się styku koła napędzającego i napędzanego wzdłuż od-cinka przyporu; objaśnienia w tekście [L. 11]

Fig. 2. Kinematics of gear tooth contact; explanation in the text [L. 11]

Do tej pory nie ma zgody na temat wpływu poszczególnych czynników na mikropitting, nie wiadomo także, który z nich ma wpływ decydujący. Stwierdzono jednak, że istotną rolę odgrywają: materiał (obróbka cieplno-chemiczna, przemiany austenitu szcążkowego, modyfikacja powierzchni poprzez nałożenie powłoki DLC), geometria kół zębatych, chropowatość powierzchni, warunki pracy (prędkość poślizgu, obciążenie, temperatura oleju, poziom zanurzenia kół zębatych w oleju), właściwości fizykochemiczne środka smarowego (lepkość oleju, rodzaj bazy, dodatki uszlachetniające) oraz współczynnik tarcia [L. 3, 5, 7, 10, 13, 14].

W eksperymentalnych badaniach mikropittingu wykorzystuje się różne typy aparatury. Najtańsze i najbardziej wydajne są badania za pomocą urządzeń z węzłami tarcia symulującymi pracę zębów kół zębatych (ruch toczno-ślizgowy). Są to tribotestery typu rolka-rolka [L. 3, 14]. Istnieją także specjalne stanowiska przekładniowe [L. 6]. Najbardziej popularnymi są jednak stanowiska przekładniowe pracujące w układzie mocy krążącej, za pomocą których można wykonywać badania według procedur opracowanych przez Centrum Badań Przekładniowych (FZG) Politechniki Monachijskiej. Szacuje się, że przekładniowe urządzenia badawcze typu FZG pracują w ponad 500 laboratoriach na świecie [L. 15].

Najbardziej znana metoda eksperymentalnego badania mikropittingu ma oznaczenie GT-C/8,3/90. Została opisana w arkuszu roboczym FVA No. 54/7 Status July 1993 [L. 16] oraz publikacjach w literaturze przedmiotowej [L. 9, 12, 17, 18]. Ze względu na jej dużą czasochłonność (6–8 tygodni) opracowano także nową, znacznie skróconą wersję metody, oznaczoną symbolem GFKT-C/8,3/90 [L. 12,18].

W literaturze dotyczącej mikropittingu najczęściej spotykanymi obiektami badań są oleje przekładniowe przemysłowe [L. 5, 10]. Bada się także oleje modelowe z różnymi bazami i dodatkami typu AW (przeciwzużyciowymi) lub EP (przeciwzatarciowymi) [L. 1, 3, 4, 14]. Rzadziej bada się samochodowe oleje przekładniowe [L. 12, 18].

Głównym celem pracy była ocena wpływu właściwości olejów do ręcznych skrzyń biegów samochodów oraz do tylnych mostów na przeciwdziałanie mikropittingowi kół zębatach, przy wykorzystaniu metody GT-C/8,3/90. Dla odniesienia wykonano badania handlowego oleju przekładniowego przemysłowego i jego ekologicznego odpowiednika, opracowanego w ITeE – PIB.

Celem dodatkowym pracy była weryfikacja posiadanej aparatury badawczej z punktu widzenia kompleksowego badania mikropittingu kół zębatach.

BADANE OLEJE PRZEKŁADNIOWE

Badaniom poddano handlowe oleje do mechanicznych przekładni samochodowych, klasy jakościowej API GL-3, GL-4 i GL-5, a także dwa oleje przekładniowe przemysłowe. Badane oleje opisano w **Tab. 1**.

Tabela 1. Zastosowane w badaniach oleje przekładniowe

Table 1. Gear oils tested

Symbol oleju	Klasa jakości	Klasa lepkości	Rodzaj oleju bazowego	Lepkość ¹⁰⁰ [mm ² /s]
Samochodowe oleje przekładniowe				
S1-miner	API GL-3	SAE 80W/90	Mineralny	13,6
S2-miner	API GL-4	SAE 80W/90	Mineralny	15,6
S3-miner	API GL-5	SAE 80W/90	Mineralny	15,0
S4-syntet	API GL-5	SAE 75W/140	Syntetyczny	25,8
Oleje przekładniowe przemysłowe				
P1-miner	–	ISO VG 220	Mineralny	20,3
P2-natur	–	ISO VG 220	Naturalny	19,2

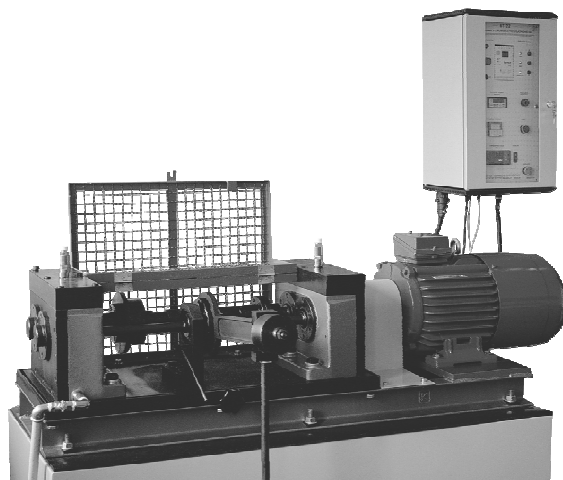
Olej S1-miner posiada pakiet dodatków smarowościowych znanych jako dodatki przeciwzużyciowe (AW). Pakiet ten oparty jest na ditiofosforanach cynku. Pozostałe oleje samochodowe posiadają dodatki przeciwzatarciowe (EP) z grupy organicznych związków siarki i fosforu.

Olej P1-miner jest handlowym olejem przekładniowym przemysłowym. Olej P2-natur posiada bazę biodegradowalną – mieszaninę oleju rzepakowego i rycynowego. Zawiera dodatki typu AW i EP, antyoksydant oraz dodatek przeciwpienny.

METODYKA BADAŃ

Aparatura badawcza

Użyto opracowanego w ITeE – PIB stanowiska do badań przekładniowych, o symbolu T-12U, pracującego w układzie mocy krążącej. Zdjęcie stanowiska T-12U przedstawiono na **Rys. 3**.



Rys. 3. Zdjęcie stanowiska przekładniowego T-12U

Fig. 3. T-12U gear test rig

Stanowisko T-12U wyposażone jest w system pomiarowo-sterujący, w skład którego wchodzi zestaw czujników pomiarowych oraz skrzynka sterownicza. Aparaturę uzupełniającą stanowiska T-12U stanowi obiegowy układ smarowania badanym olejem oraz komparator masy do wyznaczania zużycia kół zębatach.

Za pomocą stanowiska T-12U zbadano także opory ruchu (w czasie badań mikropittingu) oraz właściwości związane z przeciwdziałaniem pittingowi (wykonano badania pittingu metodą PT C/10/90).

Do badań dodatkowych wykorzystano aparat czterokulowy o symbolu T-02, opracowany w ITeE – PIB. Za jego pomocą oznaczono graniczny nacisk zatarcia (p_{oz}) oraz wskaźnik zużycia pod obciążeniem (I_h). Pierwszy wskaźnik wyznaczono metodą własną [L. 19–21], a drugi wg PN-76/C-04147. Oba wskaźniki charakteryzują właściwości przeciwzarciove badanych olejów.

Metoda GT-C/8,3/90

Wykorzystano metodę badawczą o symbolu GT-C/8,3/90 z kryteriami oceny wyników zwanymi GF-CLASS i GRAV/PLAN. Metoda badawcza jest opisana w arkuszu roboczym FVA No. 54/7 Status July 1993 [L. 16]. Metodę zmodyfikowano poprzez rezygnację z czasochłonnych badań trwałościowych wykonywanych po badaniach mikropittingu.

Badanie polegało na zastosowaniu danego oleju do obiegowego smarowania testowych kół zębatych pracujących w warunkach podanych poniżej, przy stałej prędkości obrotowej, wzrastającym stopniowo obciążeniu oraz przy stałej temperaturze badanego oleju smarowego, aż do uzyskania stopnia obciążenia niszczącego (FLS). Przed badaniem właściwym wykonywano bieg docierający.

Warunki przeprowadzenia badań metodą GT-C/8,3/90:

- typ kół testowych FZG, typ GF-C
(szerokość zębów 14 mm);
- prędkość obrotowa silnika 500 obr./min;
- prędkość obwodowa toczna 8,3 m/s;
- czas biegu 16 h (wykonywano 2 biegi po 8 h);
- obciążenie zmieniane od 5. do 10. stopnia
(70 do 265 Nm);
- maks. naciski Hertza 0,8 do 1,5 GPa;
- rodzaj smarowania obiegowo (ilość oleju 25 l), filtr 10 μ m;
- przepływ oleju 2 l/min;
- temp. oleju 90°C – stabilizowana.

Osiągnięcie stopnia obciążenia niszczącego identyfikowano na podstawie procentowej powierzchni uszkodzeń (GF) zębów małego koła oraz zużycia masowego małego koła (W) mierzonego od początku testu.

Uzyskanemu stopniowi obciążenia niszczącego przyporządkowano klasę przeciwdziałania mikropittingowi GFT. Wyróżnia się trzy klasy: GFT-*LOW* (niska), GFT-*MEDIUM* (średnia) i GFT-*HIGH* (wysoka).

Testowe koła zębate

Skojarzenie testowe składało się z pary specjalnych kół zębatych, znanych jako koła FZG typu GF-C. Fotografie kół testowych przedstawiono na **Rys. 4**.



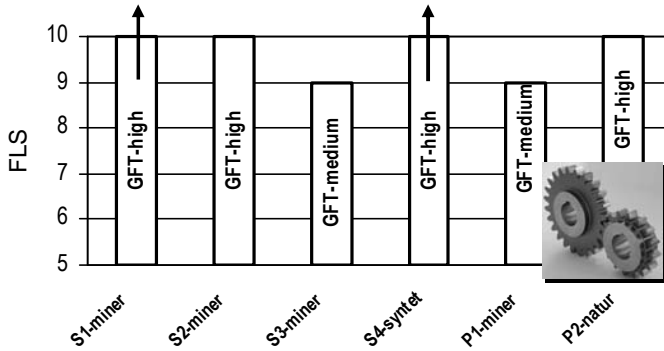
Rys. 4. Para kół testowych FZG typu GF-C

Fig. 4. GF-C micropitting test gears

Koła GF-C są nawęglane, hartowane i odpuszczane. Powierzchnia robocza zębów jest szlifowana wzdłużnie. Szerokość zębów obu kół wynosi 14 mm. Chropowatość powierzchni roboczej zęba, wyrażona parametrem R_a , wynosi od 0,4 do 0,6 μm .

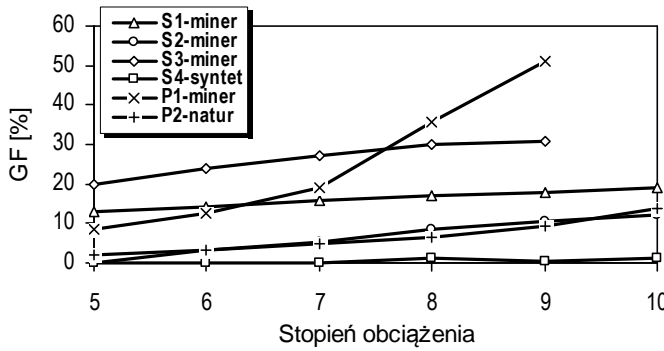
WYNIKI BADAŃ

Odporność na mikropitting scharakteryzowano za pomocą klasy przeciwdziałania mikropittingowi (GFT) – **Rys. 5**. Klasę tę określono stosując kryteria zwane GF-CLASS i GRAV/PLAN na podstawie progresji procentowego pola powierzchni mikropittingu na zębach małego koła (GF) oraz zużycia masowego małego koła (W) – **Rys. 6 i 7**. Zastosowane symbole olejów opisano wcześniej w **Tab. 1**.



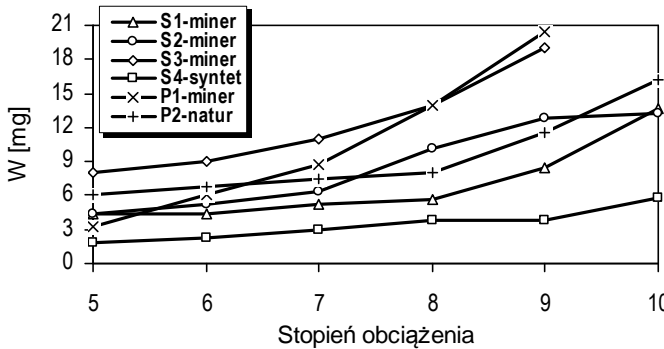
Rys. 5. Stopień obciążenia niszczącego (FLS) oraz klasa przeciwdziałania mikropittingowi GFT dla badanych olejów

Fig. 5. Failure load stage (FLS) and GFT class for the tested oils



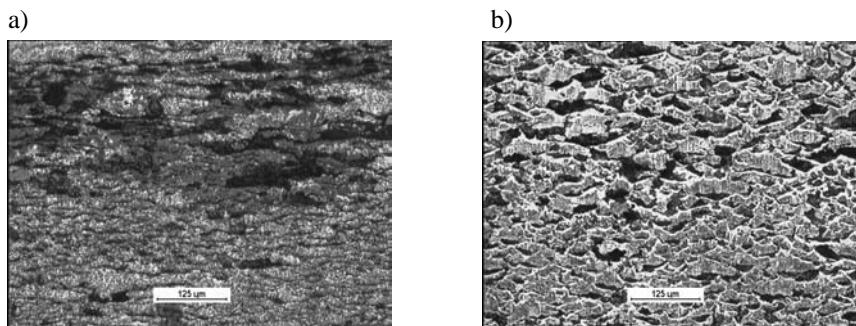
Rys. 6. Procentowe pole powierzchni zębów małego koła uszkodzonej mikropittingiem (GF) dla badanych olejów

Fig. 6. Micropitted area on the pinion (GF) for the tested oils



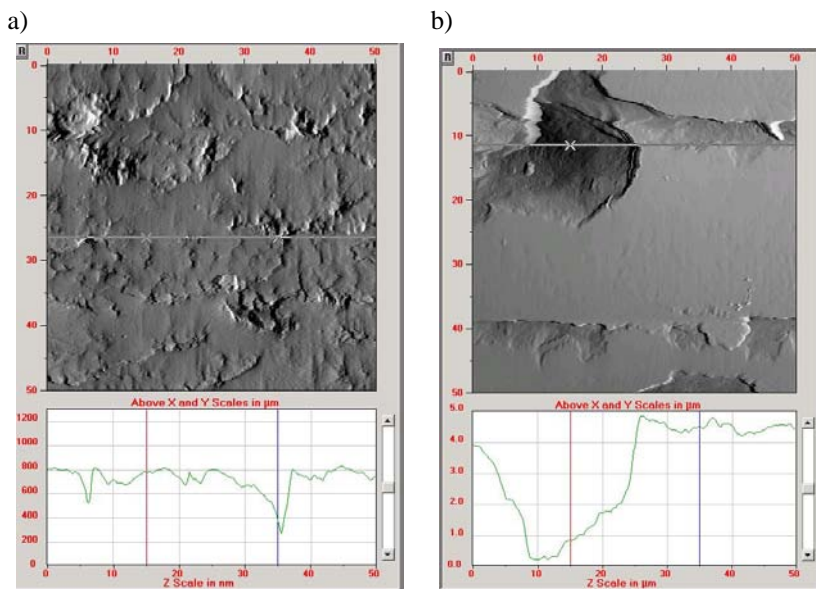
Rys. 7. Zużycie masowe małego koła (W) dla badanych olejów

Fig. 7. Weight loss of the pinion (W) for the tested oils



Rys. 8. Obrazy strefy mikropittingu uzyskane mikroskopem optycznym: a) olej S1-miner, b) olej S3-miner

Fig. 8. Optical microscopic images of the micropitted area: a) S1-miner oil, b) S3-miner oil



Rys. 9. Uzyskane mikroskopem AFM obrazy strefy mikropittingu wraz z profilem mikrowykruszenia wzdłuż zaznaczonej, poziomej linii: a) olej S1-miner, b) olej S3-miner

Fig. 9. AFM pictures of the micropitted area with the cross-section profiles of the micropit along the drawn, horizontal line: a) S1-miner oil, b) S3-miner oil

Zaobserwować można, że uszkodzenia mikropittingiem i zużycie masowe zębów małego koła są najwyższe dla olejów o symbolach S3-miner oraz P1-miner (obu przyporządkowano klasę GFT-medium), a najniższe dla S4-syntet oraz S1-miner (klasa GFT-high).

Nie stwierdzono wpływu klasy jakościowej API GL samochodowych olejów przekładniowych na mikropitting. Co istotne, olej przekładniowy przemysłowy z bazą biodegradowalną (P2-natur), opracowany w ITeE – PIB, pozwala osiągnąć wysoką odporność na mikropitting, podobnie jak najlepsze oleje przekładniowe samochodowe.

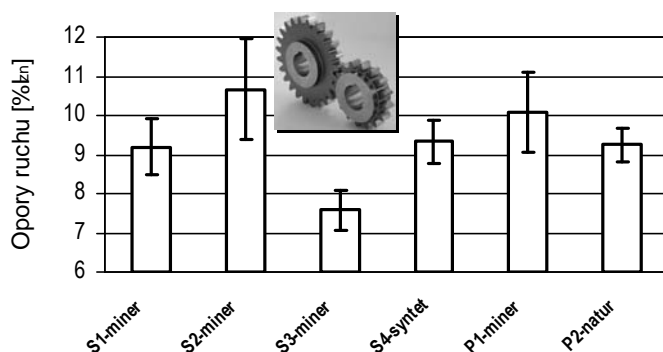
Na **Rys. 8** pokazano obrazy uzyskane mikroskopem optycznym, a na **Rys. 9** obrazy z mikroskopu sił atomowych (AFM) strefy mikropittingu dla dwóch wybranych olejów w różnych klasach GFT.

Z obrazów mikropittingu zaobserwować można różną jego strukturę dla obu badanych olejów. Olej S3-miner daje rzadsze, ale za to głębsze mikrowykruszenia (ok. 5 μm) w porównaniu z mikropittingiem dla oleju S1-miner (głębokość mikrowykruszeń ok. 600 nm, czyli 0,6 μm).

DYSKUSJA WYNIKÓW

Interpretacji uzyskanych wyników dokonano w oparciu o badania oporów ruchu, właściwości przeciwzatarciowych, właściwości związanych z przeciwdziałaniem pittingowi oraz lepkości oleju.

Opory ruchu scharakteryzowano w sposób pośredni – poprzez pomiar procentowej wartości prądu znamionowego silnika ($\%I_{zn}$) w czasie badań mikropittingu; prąd (obciążenie) silnika jest wprost proporcjonalny do oporów ruchu. Pomiarów dokonano w czasie wykonywania biegu pod 9. stopniem obciążenia – **Rys. 10**.

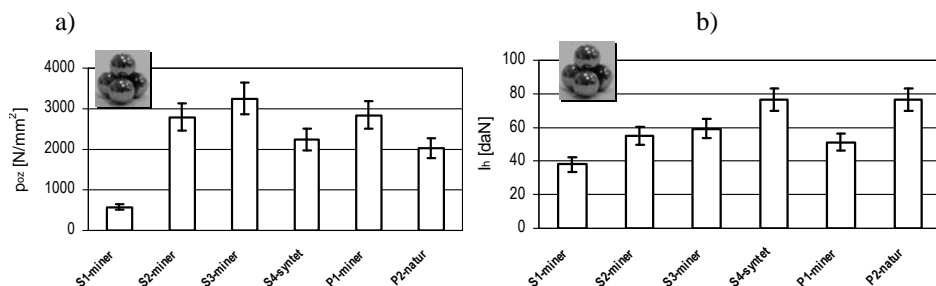


Rys. 10. Opory ruchu scharakteryzowane za pomocą procentowego obciążenia silnika ($\%I_{zn}$), podczas badań mikropittingu

Fig. 10. Friction characterised by the percentage of the motor load ($\%I_{zn}$) during micropitting tests

Nie stwierdzono korelacji pomiędzy oporami ruchu a odpornością na mikropitting.

Właściwości przeciwwzarciove scharakteryzowano granicznym naciskiem zatarcia (p_{oz}) oraz wskaźnikiem zużycia pod obciążeniem (I_h), wyznaczonymi za pomocą aparatu czterokulowego – **Rys. 11**.

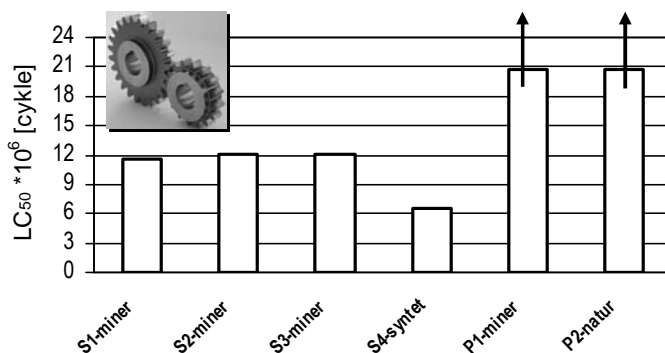


Rys. 11. Właściwości przeciwwzarciove: a) graniczny nacisk zatarcia (p_{oz}), b) wskaźnik zużycia pod obciążeniem (I_h); badania czterokulowe

Fig. 11. EP properties: a) limiting pressure of seizure (p_{oz}), b) load-wear index (I_h); four-ball tests

Podobnie jak w przypadku badania oporów ruchu, także w tym przypadku nie stwierdzono korelacji pomiędzy właściwościami przeciwwzarciove a odpornością na mikropitting.

Właściwości związane z przeciwdziałaniem pittingowi scharakteryzowano za pomocą trwałości zmęczeniowej 50% (LC_{50}) – **Rys. 12**.



Rys. 12. Trwałość zmęczeniowa 50% (LC_{50}); przekładniowe badania pittingu metodą PT C/10/90

Fig. 12. 50% fatigue life (LC_{50}); PT C/10/90 gear pitting tests

Podobnie jak poprzednio, także w tym przypadku nie stwierdzono korelacji pomiędzy właściwościami związanymi z przeciwdziałaniem pittingowi a odpornością na mikropitting.

Ostatnim czynnikiem, którego wpływ na mikropitting zbadano, była lepkość kinematyczna oleju w temperaturze zbliżonej do temperatury stosowanej w czasie badań mikropittingu. Z **Rys. 6 i 7** wynika, że progresja wartości procentowego pola powierzchni mikropittingu na zębach małego koła (GF) oraz zużycia masowego małego koła (W) jest najniższa dla oleju S4-syntet. Może to wynikać z najwyższej lepkości tego oleju (**Tab. 1**), znacznie przekraczającej lepkości innych olejów, a co za tym idzie z najgrubszego filmu smarowego, separującego trące się powierzchnie. Jest to zgodne z wynikami podawanymi w literaturze [**L. 9**].

PODSUMOWANIE

Nie stwierdzono wpływu klasy jakościowej API GL samochodowych olejów przekładniowych na mikropitting. Olej przekładniowy przemysłowy z bazą biodegradowalną pozwala osiągnąć wysoką odporność na mikropitting, podobnie jak najlepsze samochodowe oleje przekładniowe.

Nie stwierdzono korelacji pomiędzy oporami ruchu, właściwościami przeciwwzartarciovymi oraz właściwościami związanymi z przeciwdziałaniem pittingowi a odpornością na mikropitting. Natomiast lepkość oleju, a co za tym idzie grubość filmu smarowego, ma korzystny wpływ na odporność na mikropitting.

Prowadzone w ITeE – PIB eksperymentalne badania mikropittingu mają charakter pionierski w skali kraju. Ponieważ uzyskane wyniki można traktować jedynie jako rozpoznawcze, badania wymagają kontynuacji. Będzie ona prowadzona w kierunkach podejmowanych obecnie na świecie, np. oceny wpływu ekologicznych baz olejowych na mikropitting, czy oceny efektywności technologii modyfikacji powierzchni roboczej zęba poprzez nakładanie cienkich, twardych powłok w przeciwdziałaniu mikropittingowi.

Stanowisko przekładniowe T-12U w pełni wykazało swą przydatność w spełnianiu znormalizowanych wymogów badania mikropittingu. Poza-normatywne rozszerzenie możliwości badawczych stanowiska wymaga jednak opracowania jego nowej wersji. Powinna ona posiadać możliwość pomiaru momentu tarcia, a także komputerowej rejestracji wybranych parametrów badawczych. Nowa wersja stanowiska przekładniowego opracowywana jest w ramach realizowanego w ITeE – PIB Programu

Strategicznego, a planowany termin zakończenia prac upływa z końcem 2012 r.

LITERATURA

1. O'Connor B.: The influence of additive chemistry on micropitting. *Gear Technology*. May/June 2005, s. 34–41.
2. Ren Z. i inni: Surface initiated crack growth simulation in moving lubricated contact. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*. 2002, t. 38, s. 141–149.
3. Oila A., Bull S.J.: Assessment of the factors influencing micropitting in rolling/sliding contacts. *Wear*. 2005, t. 258, s. 1510–1524.
4. Jao T.C. i inni: Influence of surface roughness on gear pitting behavior. *Gear Technology*. May/June 2006, s. 31–38.
5. Martins R., Seabra J.: Micropitting performance of mineral and biodegradable ester gear oils. *Industrial Lubrication and Tribology*. 2008, t. 60/6, s. 286–292.
6. Ding Y., Rieger N.F.: Spalling formation mechanism for gears. *Wear*. 2003, t. 254, s. 1307–1317.
7. Duzcukoglu H., Imrek H.: A new method for preventing premature pitting formation on spur gears. *Engineering Fracture Mechanics*. 2008, t. 75, s. 4431–4438.
8. Michaelis K.: Gear failures. Micropitting. *Materiały z wykładów na Uniwersytecie w Ljublanie (Słowenia)*.
9. Hoehn B.-R., Michaelis K.: Influence of oil temperature on gear failures. *Tribology International*. 2004, t. 37, s. 103–109.
10. Hoehn B.-R., Michaelis K., Otto H.-P.: Dip lubrication of gears with low immersion depth. *Materiały 15. Międzynarodowego Kolokwium Tribologicznego w Ostfildern k. Stuttgartu (Niemcy)*. 2006 (referat zamieszczono na płycie CD).
11. Walton D., Goodwin A.J.: The wear of unlubricated metallic spur gears. *Wear*. 1998, t. 222, s. 103–113.
12. Hoehn B.-R. i inni: Improvement of standardized test methods for evaluating the lubricant influence on micropitting and pitting resistance of case carburized gears. *AGMA Technical Paper*. 2006, nr 06FTM07.
13. Winter H., Oster P.: Influence of the lubricant on pitting and micro pitting (gray staining, frosted areas). Resistance of case carburized gears test procedures. *AGMA Technical Paper*. 1987, nr 87FTM9.
14. Ahlroos T. i inni: Improvement of micropitting performance of power transmission gears. *Materiały 13 Nordyckiego Sympozjum Tribologicznego Nordtrib 2008 w Tampere (Finlandia)*. 2008 (referat w postaci elektronicznej, nr referatu NT20081-42-13).

15. Hoehn B.-R., Oster P., Schedl U.: Pitting load capacity test on the FZG gear test rig with load–spectra and one-stage investigations. Tribotest journal. 1999, t. 5, nr 4, s. 417–430.
16. FVA Information Sheet No. 54/7 Status July 1993. Test procedure for the investigation of the micro–pitting capacity of gear lubricants.
17. Michaelis K., Hoehn B.-R., Oster P.: Influence of lubricant on gear failures – test methods and application to gearboxes in practice. Tribotest journal. 2004, t. 11, nr 1, s. 43–56.
18. Hoehn B.-R. i inni: Test methods for gear lubricants. Goriva i Maziva. 2008, t. 47, nr 2, s. 141–152.
19. Szczerek M., Tuszyński W.: Badania tribologiczne. Zacieranie. Wyd. ITeE, Radom 2000.
20. Piekoszewski W., Szczerek M., Tuszyński W.: The action of lubricants under extreme pressure conditions in a modified four-ball tester. Wear. 2001, t. 249, s. 188–193.
21. Szczerek M., Tuszyński W.: A method for testing lubricants under conditions of scuffing. Part I. Presentation of the method. Tribotest. 2002, t. 8, nr 4, s. 273–284.

Recenzent:
Wiesław OLSZEWSKI

„PRACA NAUKOWA WYKONANA W RAMACH REALIZACJI ~~PROGRAMU~~ STRATEGICZNEGO PN. „INNOWACYJNE SYSTEMY WSPOMAGANIA TECHNICZNEGO ZIWAŁNEGO ROZWOJU GOSPODARKI” W PROGRAMIE OPERACYJNYM INNOW GOSPODARKA”

Summary

The aim of the work was to assess the influence of the properties of manual transmission fluids (also called automotive gear oils) on the resistance to micropitting of gears. The FZG GT-C/8,3/90 micropitting test method was performed using a T-12U gear test rig. Three mineral, automotive gear oils of different performance levels were tested – API GL-3, GL-4 and GL-5 oils, as well as a synthetic (PAO) GL-5 oil. For reference, two industrial gear oils were also tested, and one of them was biodegradable oil.

The results show that there is no influence of API GL performance levels of automotive gear oils on micropitting. The biodegradable industrial gear oil gives a high resistance to micropitting like the best automotive gear oils.

There is no correlation between friction, EP properties, and fatigue (pitting) life and the resistance to micropitting. However, concerning oil viscosity and lubricating film thickness, it exerts a beneficial influence on the resistance to micropitting. The research on micropitting will be continued.