

Waldemar TUSZYŃSKI*

**KLASYFIKOWANIE JAKOŚCI SAMOCHODOWYCH
OLEJÓW PRZEKŁADNIOWYCH METODĄ
SZOKOWEGO ZACIERANIA TESTOWEJ
PRZEKŁADNI ZĘBATEJ**

**PERFORMANCE CLASSIFICATION OF AUTOMOTIVE
GEAR OILS USING THE GEAR SCUFFING SHOCK TEST**

Słowa kluczowe:

metoda zacierania szokowego, samochodowy olej przekładniowy, klasyfikacja jakościowa API, stanowisko przekładniowe

Key-words:

gear scuffing shock test, automotive gear oil, API performance specifications, gear test rig

Streszczenie

Jednym z istotnych problemów współczesnej tribologii jest różnicowanie olejów smarowych o wysokich właściwościach przeciwwzatarciowych (EP – *extreme-pressure*). Przykładem takich olejów są samochodowe oleje przekładniowe wysokich klas jakości – API GL-3 do GL-5.

* Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy (ITeE – PIB), Zakład Tribologii, ul. Pułaskiego 6/10, 26-600 Radom, e-mail: waldemar.tuszynski@itee.radom.pl

W artykule przedstawiono nową metodę rozróżniania właściwości takich olejów, a przez to ich jakościowego klasyfikowania, zwaną „metodą zacierania szokowego” i oznaczoną symbolem S-A10/16,6R/120. Dotyczy badań z wykorzystaniem testowej przekładni zębatej i została opracowana w Gear Research Center (FZG) Uniwersytetu w Monachium. Nowa metoda wykonywana jest w znacznie zaostrzonych warunkach (mniejsza szerokość zębów, wyższa prędkość obrotowa i początkowa temperatura badanego oleju, odwrócony kierunek obrotów) niż najczęściej dotychczas stosowana testowa metoda zacierania przekładni, także opracowana przez FZG, oznaczona symbolem A/8,3/90. Dodatkowo, w odróżnieniu od innych przekładniowych testów zacierania, w metodzie zacierania szokowego obciążenia nie zwiększa się stopniowo od wartości najmniejszej, ale obciąża się testowe koła zębate od razu takim obciążeniem („szokowym”), pod którym spodziewane jest zatarcie. Unika się w ten sposób dotarcia kół, a przez to zwiększa ich podatność na zacieranie.

Dokonano weryfikacji nowej metody, badając wiele samochodowych olejów przekładniowych różnych klas jakości API: GL-3, GL-4, GL-4/5, GL-5 i GL-5(LS). Dla odniesienia wykonano badania także olejów najniższej klasy GL-1. Do badań wykorzystano stanowisko przekładniowe o symbolu T-12U, opracowane i wytwarzane w ITeE – PIB.

Stwierdzono, że metoda „szokowa” pozwala bez problemu rozróżnić oleje klasy GL-3 od olejów klas wyższych. Chociaż nie ma możliwości różnicowania olejów należących do najwyższych klas jakości – GL-4, GL-4/GL-5 i GL-5, to można różnicować oleje wewnątrz poszczególnych klas. Co bardzo istotne, żaden z badanych olejów nie pozwolił na osiągnięcie stopnia obciążenia niszczącego (będącego miarą właściwości EP badanych olejów) wyższego niż 11, co wskazuje, że wymuszenia w metodzie zacierania szokowego są wystarczające dla różnicowania współczesnych samochodowych olejów przekładniowych.

Metoda zacierania szokowego może znaleźć zastosowanie w laboratoriach przemysłu petrochemicznego, ale również w laboratoriach ośrodków zajmujących się pracami rozwojowymi z dziedziny inżynierii powierzchni i inżynierii materiałów na koła zębate.

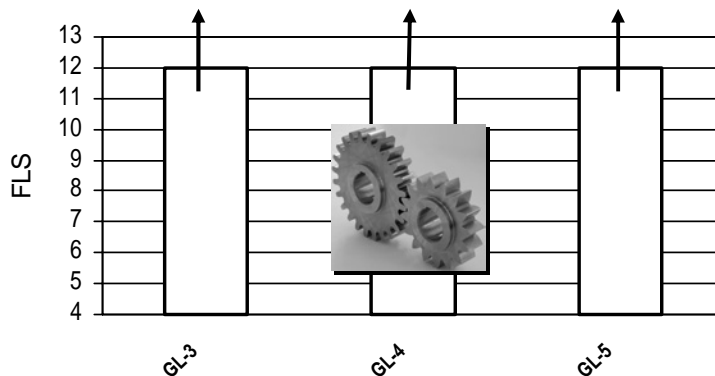
WPROWADZENIE

Weryfikacja jakości nowo opracowywanych olejów przekładniowych wymaga wykonywania badań z użyciem testowej przekładni zębatej.

Obecnie najpopularniejszą techniką testów przekładniowych jest technika opracowana przez Gear Research Center (FZG) Uniwersytetu w Monachium. Szacuje się, że na świecie pracuje obecnie ok. 500 stanowisk przekładniowych FZG.

Najczęściej wykonywane i najbardziej w kraju popularne testy FZG dotyczą zacierania metodą A/8,3/90. Polega ona na zastosowaniu badanego oleju do smarowania testowych kół zębatych, przy stałej prędkości obrotowej, wzrastającym stopniowo obciążeniu oraz przy temperaturze początkowej badania jednakowej na początku każdego biegu badawczego, aż do uzyskania stopnia obciążenia niszczącego (ang. *FLS* – *Failure Load Stage*), ocenianego poprzez pomiar pola powierzchni śladów zużycia na poszczególnych zębach małego koła. Omawiana metoda jest znormalizowana w wielu krajach; istnieją także normy międzynarodowe. Metodę tę ujmują następujące normy: PN-C-04169:1978, DIN 51 354, ASTM D 5182, IP 334, ISO 14635-1, CEC L-07-A-95. Do badań wykorzystywane są koła testowe typu A (szerokość zęba 20 mm). Koła testowe są nawęglane, hartowane i odpuszczane. Powierzchnia robocza zębów kół A jest szlifowana krzyżowo metodą Maaga.

Testy wykonywane metodą A/8,3/90 nie pozwalają jednak różnicować olejów smarowych o wysokich właściwościach EP, w szczególności współczesnych samochodowych olejów przekładniowych wysokich klas jakości – API GL-3 do GL-5 – dla których stopień obciążenia niszczącego będący miarą właściwości przeciwzatarciowych przekracza 12 (stopień najwyższy) – **Rys. 1.**



Rys. 1. Stopień obciążenia niszczącego (FLS) uzyskany dla poszczególnych klas jakości samochodowych olejów przekładniowych: metoda A/8,3/90

Fig. 1. Failure load stage (FLS) obtained for automotive gear oils of various API performance levels: A/8,3/90 test

Z podanych wyżej powodów zastosowanie metody A/8,3/90 ogranicza się obecnie do sprawdzania jakości wyprodukowanych olejów smarowych, tzn. czy stopień obciążenia niszczącego nie jest niższy niż określona wartość (np. 11).

Dlatego FZG opracowało metodę oceny właściwości przeciwzatarciowych olejów przekładniowych, do której używa się nowej generacji kół testowych typu A10 (szerokość zęba wynosi 10 mm). Jest to metoda o oznaczeniu A10/16,6R/120. Ujmują ją następujące dokumenty: normy ISO 14635-2 i CEC L-84-02, procedura FVA No. 243, June 2000 [L. 1] oraz publikacje w literaturze przedmiotowej [L. 2–5]. Metodę opisano także w artykule [L. 6].

Nowa metoda wykonywana jest w znacznie bardziej zaokrąglonych warunkach. Wynika to ze zmniejszenia szerokości małego koła, zwiększenia prędkości obrotowej i początkowej temperatury badanego oleju oraz odwrócenia kierunku obrotów. Wyniki badań weryfikacyjnych [L. 2–6] wykazują nieco lepszą rozdzielczość nowej metody A10/16,6R/120 niż A/8,3/90. Niemniej jednak także w metodzie A10/16,6R/120 wymuszenia są niewystarczające dla różnicowania współczesnych samochodowych olejów przekładniowych klas najwyższych (GL-4 i GL-5), a także innych olejów o wysokich właściwościach EP.

Z wyżej podanych powodów FZG opracowało „metodę zacierania szokowego”, oznaczoną symbolem S-A10/16,6R/90 lub S-A10/16,6R/110 (S – ang. *shock*), w zależności od początkowej temperatury badanego oleju (90 lub 110°C). Jest ona przedmiotem niniejszego artykułu.

METODYKA BADAWCZA

Metodę zacierania szokowego opisano w procedurze FVA No. 243, June 2000 [L. 1]. Brak na razie norm dotyczących tej metody.

Test polega na zastosowaniu danego oleju do smarowania testowych kół zębatych pracujących w warunkach podanych poniżej, przy stałej prędkości obrotowej oraz przy temperaturze początkowej badania jednokowej na początku każdego biegu, aż do określenia stopnia obciążenia niszczącego, ocenianego poprzez pomiar pola powierzchni śladów zużycia na poszczególnych zębach małego koła. W przeciwieństwie do dotychczas stosowanych metod przekładniowych testów zacierania opracowanych w FZG, w metodzie zacierania szokowego obciążenia nie zwiększa się stopniowo od wartości najmniejszej, ale obciąża się testowe koła

zębate od razu takim obciążeniem („szokowym”), pod którym spodziewane jest zatarcie. Unika się w ten sposób dotarcia kół, a przez to zwiększa ich podatność na zacieranie.

Należy w tym miejscu wyjaśnić, że procedura FVA No. 243, June 2000 [L. 1] dotyczy metod zacierania szokowego S-A10/16,6R/90 i S-A10/16,6R/110. W badaniach własnych zdecydowano się na przyjęcie wyższej wartości początkowej temperatury oleju (120°C), stąd symbol metody S-A10/16,6R/120.

Warunki przeprowadzenia testów metodą S-A10/16,6R/120:

- | | |
|---------------------------------------|--|
| – typ kół testowych | ZG, typ A10 (szerokość zębów małego koła 10 mm) |
| – prędkość obrotowa silnika | 3000 obr./min |
| – prędkość obwodowa toczna | 16,6 m/s |
| – kierunek obrotów silnika | „odwrotowy” (stąd w symbolu metody R – ang. <i>reverse</i>) |
| – czas biegu | 7 min 30 s |
| – maks. stopień obciążenia | 12 |
| – maks. moment obciążający | 535 Nm |
| – maks. naciski Hertza | 2,6 GPa |
| – początk. temp. w komorze. badawczej | 120°C (niekontrolowana po rozpoczęciu biegu) |
| – rodzaj smarowania | zanurzeniowe (ilość oleju ok. 1,5 dm ³) |





Badania prowadzi się do momentu określenia stopnia obciążenia niszczącego (FLS). Uważa się go za osiągnięty, jeżeli powoduje on powstanie uszkodzeń zębów małego koła testowego zajmujących obszar o powierzchni większej niż 100 mm² i jednocześnie dla stopnia obciążenia niższego o 1 kryterium zatarcia nie zostaje osiągnięte. W razie stwierdzenia dostrzegalnego zużycia także dużego koła w postaci „wyżłobienia”, należy je zdemontować i zważyć. Jeżeli ubytek masy jest większy niż 20 mg, bieg uznaje się za nieważny. Także w przypadku osiągnięcia maksymalnego, 12 stopnia obciążenia bez osiągnięcia kryterium zatarcia, duże koło należy zważyć. Wynik przyjmuje się za ważny, jeśli ubytek masy dużego koła nie przekroczy 20 mg. Jeśli osiągnięte kryterium zatarcia (pole zużycia > 100 mm²), to wynik jest ważny bez względu na zużycie dużego koła.

Pomimo że zalecana liczba powtórzeń dla danego stopnia obciążenia wynosi minimum 2, ze względu na bardzo wysokie koszty badań ograniczono się do jednego powtórzenia.

Do opisu uszkodzeń małego koła stosuje się symbole podane w **Tab. 1**.

Tabela 1. Skala oceny uszkodzeń zębów małego koła

Table 1. Modes of wear of the test gear (pinion)

Uszkodzenie	Symbol	Wygląd
Wybłyszczenia	W	
Rysy	R	
Bruzdy	B	
Zacieranie	Z	

Fotografię kół testowych FZG, typu A10, stosowanych w metodzie S-A10/16,6R/120 przedstawiono na **Rys. 2**.



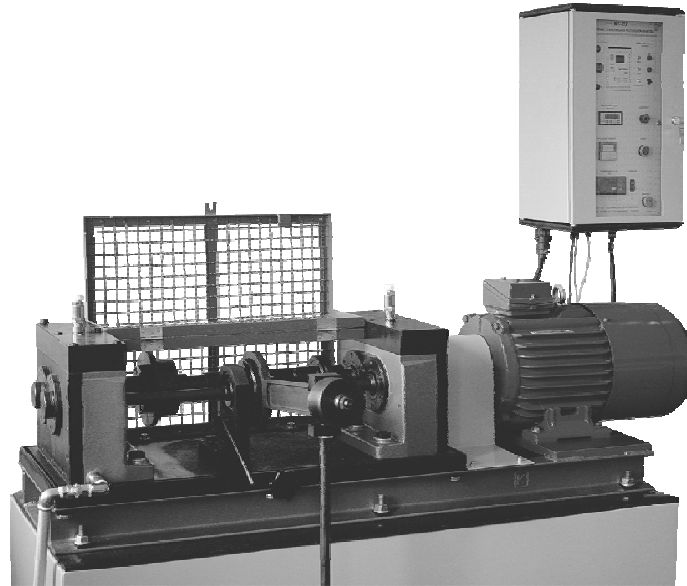
Rys. 2. Zdjęcie pary kół testowych FZG typu A10 do badania zacierania

Fig. 2. Photograph of the FZG A10 scuffing test gears

Koła testowe A10 są nawęglane, hartowane i odpuszczane. Powierzchnia robocza zębów jest szlifowana krzyżowo metodą Maaga. Szerokość zębów mniejszego koła (zębniaka) wynosi 10 mm, a dużego koła 20 mm.

APARATURA TESTOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

Do kompleksowych badań przekładni zębatej w Zakładzie Tribologii ITeE – PIB opracowano stanowisko przekładniowe pracujące w układzie mocy krążącej, o symbolu T-12U. Zdjęcie stanowiska przekładniowego T-12U przedstawiono na **Rys. 3**.



Rys. 3. Zdjęcie stanowiska przekładniowego T-12U

Fig. 3. Photograph of the T-12U gear test rig

Stanowisko T-12U wyposażone jest w system pomiarowo-sterujący, w skład którego wchodzi zestaw przetworników pomiarowych oraz sterownik.

W czasie biegu badawczego mierzone są: prędkość obrotowa, temperatura badanego oleju (obciążenie prądowe silnika), czas i liczba obrotów silnika. Mierzone wartości wyświetlane są na bieżąco na wyświetlaczach sterownika. Silnik urządzenia jest automatycznie zatrzymywany po upływie zadanego czasu. Istnieje możliwość zmiany prędkości obrotowej oraz odwrócenia kierunku obrotów silnika stanowiska T-12U (do realizacji nowych testów zacierania).

Aparaturę uzupełniającą stanowi urządzenie do wyznaczania zużycia dużego koła zębatego; ze względu na wymaganą bardzo wysoką rozdzielczość ważenia wykorzystano tzw. komparator masy.

BADANE OLEJE SMAROWE

Do badań zastosowano oleje do samochodowych przekładni mechanicznych. Były to oleje klasy jakości API: GL-3, GL-4, GL-4/GL-5, GL-5, GL-5(LS). Oleje klasy GL-5(LS) zawierają specjalne dodatki (modyfikatory tarcia) przeciwdziałające występowaniu w mechanizmie różnicowym zjawiska *stick-slip* w warunkach ograniczonego poślizgu (ang. *limited slip* – LS). Producentami wybranych do badań olejów są uznani wytwórcy, zarówno krajowi, jak i zagraniczni. Charakterystykę olejów zestawiono w **Tab. 2**.

Tabela 2. Charakterystyka badanych samochodowych olejów przekładniowych

Table 2. Characteristics of the tested automotive gear oils

Lp.	Klasa jakości API	Klasa lepkości SAE	Lepkość w 100°C [mm ² /s]	WL	Rodzaj oleju bazowego	Oznaczenie	Zastosowanie*
1	GL-1	90	14,6	96	Mineralny	GL-1-min_1	SB
2	GL-1	110	21,0	103	Mineralny	GL-1-min_2	SB
3	GL-3	80W/90	13,6	100	Mineralny	GL-3-min_1	SB
4	GL-3	80W/90	15,0	90	Mineralny	GL-3-min_2	SB
5	GL-4	80W	10,0	104	Mineralny	GL-4-min_1	SB, TM
6	GL-4	80W/90	15,6	104	Mineralny	GL-4-min_2	SB, TM
7	GL-4	140	30,7	95	Mineralny	GL-4-min_3	SB
8	GL-4	75W/85	15,7	203	Syntetyczny	GL-4-synt	SB, TM
9	GL-4/ GL-5	85W/140	29,9	99	Mineralny	GL-4/5-min	SB, TM
10	GL-4/ GL-5	75W/90	14,4	210	Syntetyczny	GL-4/5-synt_1	SB
11	GL-4/ GL-5/ MT-1	75W/90	15,1	156	Syntetyczny	GL-4/5-synt_2	SB, TM
12	GL-5	80W/90	15,0	95	Mineralny	GL-5-min_1	SB, TM
13	GL-5	85W/140	26,5	98	Mineralny	GL-5-min_2	SB, TM
14	GL-5	75W/140	25,8	171	Syntetyczny	GL-5-synt	TM
15	GL-5(LS)	85W/90	15,3	100	Mineralny	GL-5(LS)-min	TM(LS)
16	GL-5(LS)	75W/90	10,7	149	Syntetyczny	GL-5(LS)-synt	TM(LS)

* Symbole oznaczają:

SB – skrzynia biegów,

TM – tylny most, tj. przekładnia główna hipoidalna + mechanizm różnicowy,

TM(LS) – tylny most, tj. przekładnia główna hipoidalna + mechanizm różnicowy z blokadą o ograniczonym poślizgu.

Ilość oleju niezbędna do wykonania jednego biegu badawczego wynosi ok. 1,5 dm³.









WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

























Kryterium oceny właściwości przeciwzatarciowych olejów smarowych według metody S-A10/16,6R/120 jest stopień obciążenia niszczącego (FLS). Wspomniano wcześniej, że wyznacza się go analizując uszkodzenia roboczej powierzchni zęba małego koła testowego dla poszczególnych stopni obciążenia.

W **Tab. 3** symbolicznie przedstawiono uszkodzenia roboczej powierzchni zęba małego koła dla poszczególnych stopni obciążenia i badanych olejów. Pod uwagę wzięto ten rodzaj uszkodzeń, który występował na powierzchni większości zębów. Zacięniowano pola tabeli, oznaczające stopień obciążenia niszczącego dla danego oleju. Pod symbolami podano sumaryczne pole powierzchni uszkodzeń zębów małego koła wyrażone w mm². Znaczenie poszczególnych symboli zużycia podano w **Tab. 1**.

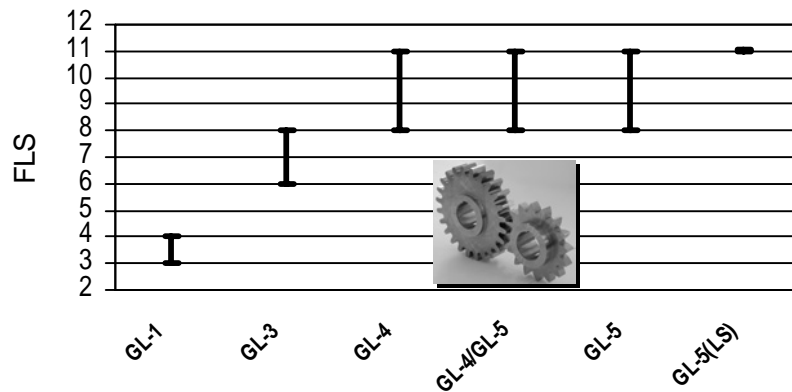
Tabela 3. Metoda S-A10/16,6R/120: uszkodzenia roboczej powierzchni zęba małego koła dla poszczególnych stopni obciążenia i badanych olejów wraz z sumarycznym polem powierzchni uszkodzeń zębów małego koła [mm²]; pola zacięniowane – stopień obciążenia niszczącego

Table 3. S-A10/16,6R/120 shock test: failures identified for the tested oils on the pinion teeth at particular load stages; total area [mm²] of failures on the pinion is given; grey cells in the table denote failure load stages

Lp.	Oznaczenie	st. 2	st. 3	st. 4	st. 5	st. 6	st. 7	st. 8	st. 9	st. 10	st. 11
1	GL-1-min_1	 39	 1017								
2	GL-1-min_2		 ≈ 0	 1280							
3	GL-3-min_1				 50	 450					
4	GL-3-min_2						 ≈ 0	 1150			

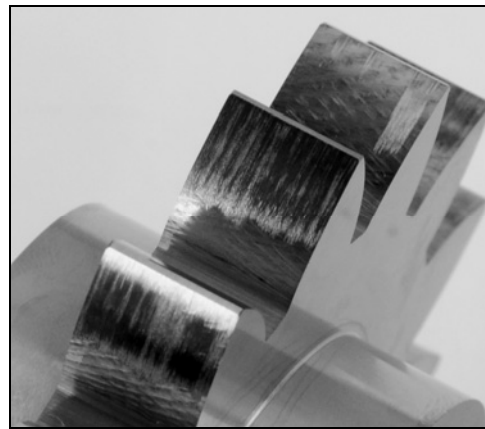
Lp.	Oznaczenie	st. 2	st. 3	st. 4	st. 5	st. 6	st. 7	st. 8	st. 9	st. 10	st. 11
5	GL-4-min_1								 21	 228	
6	GL-4-min_2							 40	 1304		
7	GL-4-min_3									 22	 197
8	GL-4-synt						 ≈ 0	 149			
9	GL-4/5-min									 91	 121
10	GL-4/5-synt_1						 ≈ 0	 109			
11	GL-4/5-synt_2							 ≈ 0	 455		
12	GL-5-min_1						 26	 703			
13	GL-5-min_2									 66	 137
14	GL-5-synt									 65	 450
15	GL-5(LS)-min									 73	 198
16	GL-5(LS)-synt									 ≈ 0	 327

Otrzymane wyniki przedstawiono graficznie na **Rys. 4**. Natomiast na **Rys. 5** pokazano zdjęcie zębów małego koła ze strefami zacierania.



Rys. 4. Granice stopnia obciążenia niszcącego (FLS) uzyskanego dla poszczególnych klas jakości badanych olejów: metoda S-A10/16,6R/120

Fig. 4. Ranges of the failure load stage (FLS) obtained for automotive gear oils of various API performance levels: S-A10/16,6R/120 shock test



Rys. 5. Fotografia małego testowego koła zębatego ze strefami uszkodzeń przez zacieranie

Fig. 5. Photograph of the test gear (pinion) with the teeth damaged by scuffing

Z **Rys. 4** wynika, że metoda zacierania szokowego pozwala bez problemu rozróżnić oleje klasy GL-3 od olejów klas wyższych. Nie ma jednak możliwości różnicowania olejów należących do klas najwyższych – GL-4, GL-4/GL-5 i GL-5. Jednakże, co bardzo istotne, istnieje możliwość różnicowania olejów wewnątrz danej klasy. Tak więc oleje klasy GL-3 charakteryzują się stopniami obciążenia niszcącego w granicach 6 do 8, a oleje GL-4, GL-4/5 i GL-5 w granicach 8 do 11. Oleje GL-5(LS)

dają stopień obciążenia niszczącego wyłącznie 11. Dla porównania oleje najniższej klasy GL-1 pozwalają uzyskać stopień obciążenia niszczącego w zakresie jedynie 3 do 4.

Najwyższy, 11 stopień obciążenia niszczącego pozwalają osiągnąć:

- oleje klasy GL-4, GL-4/5 oraz GL-5, ale tylko te, które mają największą lepkość w wysokiej temperaturze (powyżej 25 mm²/s); rodzaj oleju bazowego i wskaźnik lepkości nie mają tu znaczenia; pozytywny wpływ lepkości można tłumaczyć grubszym filmem smarowym, co się przekłada na zwiększoną odporność na zacieranie,
- oleje klasy GL-5(LS) bez względu na rodzaj oleju bazowego i wskaźnik lepkości; oleje takie przeznaczone są do smarowania przekładni hipoidalnych (napęd główny) oraz mechanizmów różnicowych z blokadą o ograniczonym poślizgu; zawierają specjalne dodatki (modyfikatory tarcia) przeciwdziałające występowaniu w takich mechanizmach zjawiska *stick-slip*.

Zaden z badanych olejów nie pozwolił na osiągnięcie stopnia obciążenia niszczącego wyższego niż 11, a więc wymuszenia w metodzie „szokowej” S-A10/16,6R/120 są wystarczające dla badania współczesnych samochodowych olejów przekładniowych; maksymalny przewidywany w metodzie stopień obciążenia wynosi 12.

Ostatnim krokiem weryfikacji metody zacierania szokowego była analiza czasochłonności i kosztów badań. Dane te porównano do pozostałych przekładniowych metod badania zacierania opracowanych przez FZG. Informacje te zebrano w **Tab. 4**.

Tab. 4. Czas niezbędny do wykonania badań jednego oleju oraz szacunkowy koszt; uwzględniono czas związany z pracami przygotowawczo-zakończeniowymi

Tab. 4. Time consumption and approximate costs of testing one oil; time needed for preparation of the gear test rig, its cleaning after tests and analysis of results is included

Nazwa metody testowej	Symbol metody testowej FZG	Czasochłonność	Koszt kół testowych	Cena netto testu
Zacieranie „normalne”	A/8,3/90	16 h	2 000 zł	3 000 zł
Zacieranie „zaostrzone”	A10/16,6R/120	16 h	2 300 zł	3 700 zł
Zacieranie „szokowe”	S-A10/16,6R/120	40 h	9 200 zł	13 000 zł

Uwagę zwracają wręcz „szokowe” koszty oraz znacznie dłuższy czas realizacji metody zacierania szokowego w porównaniu z innymi metodami badania zacierania testowej przekładni zębatej, które jednakże mają znacznie gorszą rozdzielczość od testów „szokowych”.

Ze względu na bardzo wysokie koszty realizacji metody zacierania szokowego, w ITeE-PIB podjęto próby poszukiwania ekwiwalentnych metod różnicowania olejów smarowych o wysokich właściwościach EP, w szczególności klasyfikowania samochodowych olejów przekładniowych. Pod uwagę wzięto najczęściej stosowane, znormalizowane metody realizowane za pomocą aparatu czterokulowego, jak też własną metodę badania zacierania w warunkach liniowo narastającego obciążenia, opisywaną wielokrotnie, np. w pracy [L. 7]. Metody te są znacznie mniej czasochłonne i nieporównywalnie tańsze. Uzyskiwane wyniki są bardzo obiecujące i będą przedmiotem publikacji w najbliższej przyszłości. Podobne podejście obserwuje się od pewnego czasu także w pracach innych autorów [L. 8–11].

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Analiza uzyskanych wartości stopnia obciążenia niszczącego, świadczących o właściwościach przeciwtarciowych badanych olejów, wskazuje, że metoda „szokowa” pozwala bez problemu rozróżnić samochodowe oleje przekładniowe klasy jakości API GL-3 od olejów klas wyższych. Nie ma jednak możliwości różnicowania pomiędzy sobą olejów w klasach GL-4, GL-4/GL-5 i GL-5, choć, co bardzo istotne, można różnicować oleje wewnątrz danej klasy jakości. Tak więc oleje klasy GL-3 charakteryzują się stopniami obciążenia niszczącego w granicach 6 do 8, a oleje GL-4, GL-4/5 i GL-5 w granicach 8 do 11. Oleje GL-5(LS) dają stopień obciążenia niszczącego wyłącznie 11. Dla porównania oleje najniższej klasy GL-1 pozwalają uzyskać stopień obciążenia niszczącego w zakresie jedynie 3 do 4.

Żaden z badanych olejów nie pozwolił na osiągnięcie stopnia obciążenia niszczącego wyższego niż 11, a więc wymuszenia w metodzie „szokowej” S-A10/16,6R/120 są wystarczające dla badania współczesnych samochodowych olejów przekładniowych; maksymalny stopień obciążenia przewidziany w metodzie wynosi 12.

W najwyższych klasach jakości (GL-4, GL-4/GL-5 i GL-5) najwyższy stopień obciążenia niszczącego (11-ty) dają tylko oleje o największej

lepkości (grubszy film smarowy). Ten sam stopień obciążenia niszczącego pozwalają osiągnąć także oleje klasy GL-5(LS), które zawierają specjalne dodatki (modyfikatory tarcia) przeciwdziałające występowaniu zjawiska *stick-slip* w mechanizmach różnicowych z blokadą o ograniczonym poślizgu.

Oceniając koszty i czasochłonność metody zacierania szokowego, stwierdza się, że są znacznie wyższe w porównaniu z innymi metodami badania zacierania przekładni zębatej (które jednakże mają znacznie gorszą rozdzielczość).

Można zatem wyciągnąć następujące wnioski:

1. Metoda oceny olejów smarowych w warunkach „zacierania szokowego”, choć jest znacznie droższa i bardziej czasochłonna, ma lepszą rozdzielczość od metod dotychczasowych – A10/16,6R/120 i A/8,3/90.
2. Używając metody zacierania szokowego, można nie tylko rozróżnić samochodowe oleje przekładniowe klasy jakościowej API GL-3 od olejów klas wyższych (GL-4, GL-4/GL-5, GL-5), ale także różnicować oleje wewnątrz danej klasy jakości.
3. Metoda zacierania szokowego może znaleźć zastosowanie w laboratoriach przemysłu petrochemicznego, ale również w laboratoriach ośrodków zajmujących się pracami rozwojowymi z dziedziny inżynierii powierzchni i inżynierii materiałów na koła zębate.

Pracę badawczą sfinansowano z następujących źródeł:

- międzynarodowego projektu badawczego COST 532 Action,
- projektu wieloletniego PW-004, koordynowanego przez ITeE – PIB,
- projektu badawczego GRANT nr 3 T09B 074 28,
- działalności statutowej ITeE – PIB w latach 2006–2008.

LITERATURA

1. FVA Information Sheet No. 243 Status June 2000. Method to assess the scuffing load capacity of lubricants with high EP performance using an FZG gear test rig.
2. Hoehn B.-R. i inni: A scuffing load capacity test with the FZG gear test rig for gear lubricants with high EP performance. Tribotest journal. 1999, t. 5, nr 4, s. 383–390.
3. Michaelis K., Hoehn B.-R., Graswald C.: Scuffing tests for API GL-1 to GL-5 gear lubricants. Materiały 13 Międzynarodowego Kolokwium Tribologicznego w Ostfildern/Nellingen (Niemcy). 2002, t. II, s. 1133–1137.

4. 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.
5. Hoehn B.-R. i inni: Test methods for gear lubricants. Goriva i maziva. 2008, t. 47, nr 2, s. 141–152.
6. Tuszyński W., Wulczyński J.: Nowe metody badania wpływu olejów smarowych na zacieranie, pitting i mikropitting kół zębatych. Tribologia. 2007, nr 3, s. 303–317.
7. Szczerek M., Tuszyński W.: Badania tribologiczne. Zacieranie. Wyd. ITeE. Radom 2000, s. 142.
8. F. van de Velde i inni: Substitution of inexpensive bench tests for the FZG scuffing test – Part I: Calculations. Tribology Trans. 1999, t. 42, s. 63–70.
9. F. van de Velde i inni: Substitution of inexpensive bench tests for the FZG scuffing test – Part II: Oil tests. Tribology Trans. 1999, t. 42, s. 71–75.
10. Lacey P.I.: Development of a gear oil scuff test (GOST) procedure to predict adhesive wear resistance of turbine engine lubricants. Tribology Trans. 1998, t. 41, s. 307–316.
11. Bisht R.P.S., Singhal S.: A laboratory technique for the evaluation of automotive gear oils of API GL-4 level. Tribotest. 1999, t. 6, nr 1, s. 69–77.

Recenzent:
Jan GUZIK

Summary

Nowadays, one of the important current problems of tribology is differentiating between oils of high EP (extreme-pressure) properties. Examples of such oils are automotive gear oils of high performance levels API GL-3 to GL-5.

The author presents a new test method intended for differentiating between such oils from the point of view of their API performance level. The method is called “scuffing shock test” and denoted as S-A10/16,6R/120. It concerns gear testing and has been developed in the Gear Research Centre (FZG) at the Technical University of Munich. The shock test is carried out under much severer conditions (reduced face width, double rotational speed, higher initial temperature of the tested oil, reverse sense of rotations) than the most often employed FZG gear scuffing test denoted as A/8,3/90. Unlike the other FZG gear scuffing tests, in which the load is increased in stages

from the lowest value, in S-A10/16,6R/120 test the expected failure load is applied to an unused gear flank, hence the name “shock test”. This prevents the test gears from running-in and in turn increases their susceptibility to scuffing.

The shock test has been verified using a series of automotive gear oils of the following API performance levels: GL-3, GL-4, GL-4/5, GL-5 and GL-5(LS). For reference, API GL-1 gear oils, showing the poorest performance, were also tested. A test rig denoted as T-12U, designed and manufactured by ITeE-PIB in Radom, was used.

It has been shown that the shock test makes it possible to differentiate between automotive gear oils of API GL-3 performance level and oils of higher levels. Although it is impossible to differentiate between automotive gear oils of the highest specifications (GL-4, GL-4/GL-5, GL-5), one can distinguish between oils belonging to the same performance level. What is particularly important is that none of the tested oil exhibited the failure load stage (being a measure of EP properties of oils tested) higher than 11. This implies that the test conditions in the shock test are severe enough to differentiate between modern automotive gear oils.

The presented gear scuffing shock test can be implemented in the R&D laboratories of the petroleum industry, but also in the laboratories of the R&D centres devoted to surface engineering and engineering of advanced materials intended for modern toothed gears.