



Wpływ przebiegu eksploatacyjnego płynu ATF na jakość pracy i trwałość automatycznych skrzyń biegów (ASB) samochodów osobowych

TADEUSZ DZIUBAK, PIOTR SZCZAWIŃSKI, PAWEŁ SZCZEPANIAK

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechaniczny,
Instytut Pojazdów Mechanicznych i Transportu,
ul. gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, tdziubak@wat.edu.pl

Streszczenie. Omówiono warunki pracy oraz funkcje płynu ATF w automatycznej skrzyni biegów (ASB). Przedstawiono właściwości oraz wymagania stawiane płynom ATF. Scharakteryzowano próbki płynów ATF użyte do badań. Przedstawiono metodykę oznaczania lepkości kinematycznej użytej podczas badań. Pokazano wyniki analizy mikroskopowej oraz wyniki badań metodą spektroskopii absorpcyjnej (widma FTIR) płynów ATF po eksploatacji. Zobrazowano i omówiono wyniki badań lepkości płynów ATF świeżych i po eksploatacji. Przedstawiono i przeanalizowano wyniki diagnostyki stacjonarnej i pokładowej niesprawnej automatycznej skrzyni biegów. Opisano możliwe skutki i wpływ spadku lepkości płynu ATF na pracę i stan techniczny połączeń ciernych automatycznych skrzyń biegów.

Słowa kluczowe: automatyczne skrzynie biegów (ASB), płyn ATF, lepkość kinematyczna, połączenia cierne w automatycznej skrzyni biegów

1. Wstęp

Współczesna automatyczna skrzynia biegów (ASB) jest zespołem skomplikowanym w budowie, wymagającym właściwego użytkowania i specjalistycznej obsługi. W przypadku większości popularnych skrzyń biegów obsługa polega na okresowym kontrolowaniu poziomu płynu ATF i ewentualnym jego uzupełnianiu [5, 6, 7, 10]. Z praktyki eksploatacyjnej wynika, że płyny ATF podlegają zużyciu, a ich okresowa wymiana wraz z filtrem ssawnym przedłuża przebieg eksploatacyjny do naprawy głównej oraz często pozwala przywrócić prawidłową pracę zespołu.

Bardzo istotnym aspektem ocenianym w wielu publikacjach dotyczących ASB jest płynność zmiany przełożeń, a więc proces zmiany biegu (*quality shift process*). Lepkość płynu ATF wpływa na parametry pracy skojarzeń ciernych skrzyń biegów (sprzęgieł i hamulców wielotarczowych mokrych) w określonych warunkach obciążenia: wielkość siły tarcia, zdolność przenoszenia momentu, przebieg poślizgu w czasie [4]. Przebieg eksploatacyjny płynu ATF może być tylko wstępną informacją o jego właściwościach. Płyn ATF pojazdu eksploatowanego w cyklu miejskim będzie podlegał intensywniejszemu obciążaniu termicznemu niż w cyklu pozamiejskim, chociażby ze względu na częstszą zmianę przełożeń i ruszanie z miejsca.

Właściwości płynu ATF ulegają pogorszeniu wraz z przebiegiem eksploatacyjnym i wpływają na jakość pracy automatycznej skrzyni biegów, co determinuje trwałość zespołu. W dostępnej literaturze brakuje danych dotyczących zmian lepkości płynów ATF wraz z przebiegiem eksploatacyjnym oraz informacji, jaki to może mieć wpływ na jakość pracy i stan techniczny podzespołów automatycznej skrzyni biegów. W dostępnych publikacjach spotyka się wyniki badań dla próbek postarzonych w warunkach laboratoryjnych [3]. W niniejszej publikacji rozpatrzono wpływ spadku lepkości płynu ATF na:

- działanie sprzęgieł i hamulców wielotarczowych mokrych,
- uszkodzenia połączeń ciernych sprzęgieł i hamulców wielotarczowych mokrych.

Nie rozważano wpływu na inne parametry, takie jak: ciśnienie zasilania, przecieki hydrauliczne. W praktyce warsztatowej spotyka się przypadki, gdzie przeprowadzono wymianę płynu ATF w automatycznej skrzyni biegów wykazującej usterki w działaniu, dla której wartości ciśnień oraz poślizgów przekroczyły zakresy tolerancji, przywracając w ten sposób poprawne działanie zespołu. W niniejszej publikacji nie rozpatrzono również wpływu zanieczyszczeń płynu ATF na pracę i trwałość elementów automatycznej skrzyni biegów.

2. Warunki pracy płynu ATF w automatycznej skrzyni biegów

W automatycznej skrzyni biegów czynnikiem roboczym jest płyn ATF, który pracuje w niesprzyjającym, utleniającym środowisku i jest poddawany intensywnemu ścinaniu [3]. Płyn ATF ze względu na stawiane przed nim zadania musi być jednocześnie płynem hydraulicznym, czynnikiem roboczym przekładni hydrokinetycznych olejem przekładniowym oraz olejem do sprzęgieł mokrych.

Płyn ATF w automatycznej skrzyni biegów spełnia następujące funkcje [10]:

- 1) przenosi moment obrotowy poprzez elementy przekładni hydrokinetycznej z wału korbowego silnika na podzespoły skrzyni biegów;
- 2) jest czynnikiem hydraulicznym siłowników, które poprzez elektrohydrauliczny układ sterowania uruchamiają sprzęgła i hamulce cierne, od

których wystawienia zależy przełożenie szeregu planetarnego, a w efekcie przełożenie skrzyni biegów;

- 3) jest czynnikiem smarującym elementy ASB: łożyska toczne i ślizgowe, koła zębate, sprzęgła i hamulce wielotarczowe mokre;
- 4) odpowiada za utrzymanie czystości wewnątrz zespołu (rozpuszcza osady, chroni przed korozją);
- 5) jest czynnikiem chłodzącym elementy skrzyni biegów (płyn ATF przekazuje ciepło płynowi chłodzącemu silnik poprzez wspólną chłodnicę z oddzielnymi przestrzeniami dla obu płynów).

Aby spełniać swoje funkcje, płyny ATF muszą mieć odpowiednie właściwości [1, 2]:

- duży wskaźnik lepkości — WL (określany według PN-79/C-04013),
- dużą odporność na ścinanie — S [mm^2/s] (definiowana przez lepkość kinematyczną w temperaturze 100°C po 30 cyklach ścinania według PN-EN ISO 20844:2009),
- małą ściśliwość — współczynnik ściśliwości β [GPa^{-1}],
- dużą odporność na utlenianie, która determinuje starzenie oleju (wysoka temperatura pracy w obszarze tarcia okładzin sprzęgieł i hamulców oraz kontakt z dużą ilością powietrza i duże prędkości przepływu sprzyjają utlenianiu) — liczba kwasowa LK (TAN) [mg KOH/g] (określana według PN-85/C-04066),
- przeciwkorozyjne i ochronne — stopień korozji elementów (według PN-85/C-04093), Liczba kwasowa LK (TAN) [mg KOH/g] (według PN-85/C-04066), liczba zasadowa LZ (TBN) [mg KOH/g] (według PN-76/C-04163),
- smarne (powinny zabezpieczać elementy przed zużyciem, minimalizować współczynnik tarcia i straty energii na pokonanie oporów tarcia) — d_s [mm] (dla aparatu czterokulowego średnica skaz Hertza według PN-76/C-04147),
- odporność na emulgowanie (powinny być stabilne wobec wody, od której powinny oddzielać się szybko i zupełnie) — t [min] (czas rozwarstwienia się emulsji „płyn-woda” według PN-86/C-04065),
- brak skłonności do pienienia (powietrze w układzie hydraulicznym powoduje błędną, niestabilną pracę oraz jest przyczyną uszkodzeń mechanicznych) — odporność na pienienie, trwałość piany (według PN-ISO 6247:2009),
- brak niszczącego działania na tworzywa, z którego wykonane są uszczelnienia, okładziny cierne sprzęgieł i hamulców wielotarczowych mokrych oraz inne elementy.

Temperatura eksploatacyjna płynu ATF utrzymywana jest w zakresie $80\text{-}90^\circ\text{C}$ przez około 80% czasu pracy automatycznej skrzyni biegów. Obok wykorzystywanych podczas ustalonych warunków pracy zespołu napędowego funkcji podstawowych,

sterownik skrzyni automatycznej korzysta również z funkcji specjalnych. Podstawę do generowania sygnału dla funkcji specjalnych stanowi informacja o stanie cieplnym silnika i płynu ATF. Funkcja specjalna szybkiego nagrzewania jest priorytetowa w przypadku rozruchu zimnego silnika. Zgodnie z zawartym w niej algorytmem sterownik skrzyni dokonuje zmian przełożeń przy wyższych prędkościach obrotowych silnika — szybsze nagrzewanie silnika oraz nie załącza sprzęgła „Lock-up” w przekładni hydrokinetycznej w celu zachowania ciągłego poślizgu przekładni (przekazywanie mocy poprzez płyn ATF sprzyja jego nagrzewaniu). W algorytmach sterowania można również odnaleźć funkcję zabezpieczenia przed przegrzaniem. W tym wypadku sprzęgło „Lock-up” będzie w miarę możliwości załączane, co będzie ograniczało nagrzewanie płynu ATF, a zmiana przełożeń będzie odbywać się przy niższych prędkościach obrotowych silnika. Dodatkowo sterownik skrzyni biegów może załączyć elektryczny wentylator chłodnicy silnika w celu zmniejszenia temperatury płynu ATF. W zależności od rodzaju automatycznej skrzyni biegów płyn ATF pracuje pod ciśnieniem 0,5-5 MPa. Realizacja procesu zmiany biegu odbywa się przez wysterowanie dopływu płynu ATF do określonych siłowników sprzęgieł i hamulców oraz kontrolowanie ciśnienia ich zasilania. Sterownik określa ciśnienie zasilania danych sekcji hydraulicznych oraz mierzy czas zmiany przełożenia i porównuje go z wartościami wzorcowymi. Jeżeli zmierzona wartość jest poza polem tolerancji, to sterownik moduluje ciśnienie z krokiem 0,01 MPa w zakresie przewidzianym dla danego sprzęgła lub hamulca i załączonego przełożenia. Adaptacja ciśnienia zasilania umożliwia kompensację zużycia elementów, jeśli parametry płynu ATF i stan techniczny elementów automatycznej skrzyni biegów to umożliwiają [10].

Zanieczyszczenia zawarte w płynie ATF wpływają bezpośrednio na działanie i zużycie elementów automatycznej skrzyni biegów oraz na starzenie samego płynu. Zanieczyszczenia płynów w układach hydraulicznych powodują zakłócenia poprawnej pracy oraz zmniejszenie ich trwałości i niezawodności. Duża ilość małych zanieczyszczeń, wielkości kilku μm , intensyfikuje procesy utleniania płynu ATF. Płyny ATF utleniają się wskutek działania tlenu zawartego w powietrzu. Tlen łatwo reaguje z pewnymi składnikami płynu ATF, dając w pierwszej fazie utleniania nadtlenki, które są związkami nietrwałymi i szybko się rozkładają. W dalszych fazach procesu utleniania powstaje wiele innych związków, takich jak: kwasy, żywice, asfalteny, karbeny, karboidy. Charakter tworzących się produktów i intensywność reakcji utleniania zależą od składu chemicznego płynu, od czasu stykania się z powietrzem oraz od temperatury. Zasadniczym czynnikiem decydującym o zapoczątkowaniu procesu utleniania jest temperatura. W miarę podwyższania się temperatury szybkość reakcji utleniania znacznie się zwiększa. W normalnych warunkach atmosferycznych oleje mineralne praktycznie nie utleniają się. W temperaturze do 300°C występują tylko reakcje utleniania. W wyższych temperaturach następuje rozkład termiczny połączony z koksowaniem i spalaniem oraz intensywnym

osadzaniem się osadów węglowych [1]. Wyższe temperatury występują lokalnie w obszarach tarcia pomiędzy tarczami sprzęgieł i hamulców wielotarczowych mokrych, zwłaszcza w przypadkach nadmiernego poślizgu. Wnioskować o tym można na podstawie przebarwień termicznych (aż do barw odpuszczania) oraz śladów punktowego przegrzania (*hot spots*) przekładek stalowych tarcz sprzęgieł mokrych z uszkodzonej automatycznej skrzyni biegów. Zwęglenie okładzin ciernych świadczy również o występowaniu w obszarze tarcia temperatur rzędu kilkuset stopni [11].

3. Badania eksperymentalne

Celem badań było określenie wpływu przebiegu eksploatacyjnego na lepkość kinematyczną płynów ATF. Przedmiotem badań były płyny ATF, których charakterystykę przedstawiono w tabeli 1. Komplet próbek do badań składał się z płynu ATF po określonym przebiegu oraz jego świeżego odpowiednika. Pobrano dwie próbki płynu ATF ze skrzyni sprawnych oraz z jednej w stanie niesprawności.

TABELA 1

Charakterystyka próbek płynów ATF

Nr próbki	Marka samochodu, model, rocznik	Marka skrzyni biegów	Model skrzyni biegów	Producent płynu ATF	Rodzaj płynu ATF/norma producenta	Przebieg samochodu [km]	Stan techniczny skrzyni biegów
1	Audi A4 3,0 V6 2004	AISIN	Multitronic 01J VL30 DZN	VW/Seat/Audi/Skoda	G052180/ATF A2	świeży	–
1a	Audi A4 3,0 V6 2004	AISIN	Multitronic 01J VL30 DZN	VW/Seat/Audi/Skoda	G052180/ATF A2	101322	sprawna
3	BMW E39 530D 3,0 1999	GM	5L40	ESSO LT 71141	ATF LT 71141 BMW 8322 9407807	świeży	–
3a	BMW E39 530D 3,0 1999	GM	5L40	ESSO LT 71141	ATF LT 71141 BMW 8322 9407807	102498	sprawna
7	BMW E38 750iL 5,4 V12 2001	ZF	5HP30 A5S 650Z	Ravenol	ATF 5/4 HP Fluid BMW 8322 9407765	świeży	–
7a	BMW E38 750iL 5,4 V12 2001	ZF	5HP30 A5S 650Z	Ravenol	ATF 5/4 HP Fluid BMW 8322 9407765	147770	niesprawna

Próbki płynu ATF do badań pobrano z misek olejowych dwóch typów automatycznych skrzyń biegów podczas ich obsługi polegającego na wymianie płynu ATF oraz filtra:

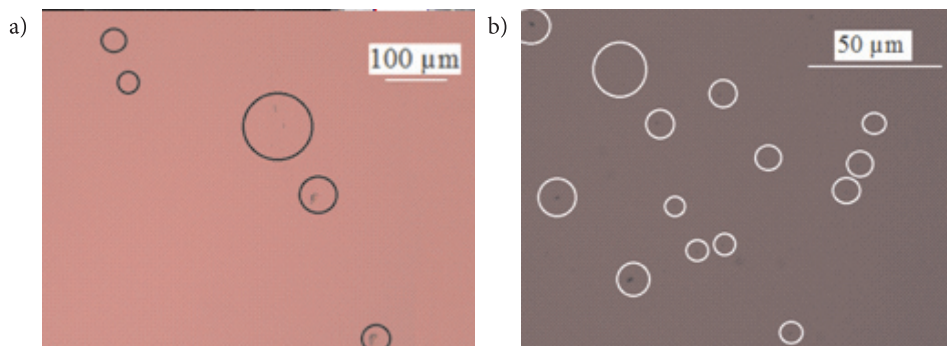
- bezstopniowej (CVT — Multitronic) — sprawnej (nr próbki 1, 1a) [11],
- konwencjonalnej automatycznej skrzyni biegów — sprawnej (nr próbki 3, 3a),
- konwencjonalnej automatycznej skrzyni biegów — niesprawnej (nr próbki 7, 7a).

Płyn ATF przed wykonywaniem obsługi był nagrzany do temperatury eksploatacyjnej: 80-90°C. Badania płynów ATF obejmowały:

- badania lepkości,
- badania mikroskopowe,
- badania metodą spektroskopii absorbcyjnej (FTIR).

Lepkość kinematyczną oznaczano za pomocą lepkościomierzy kapilarnych Ostwalda-Pinkevitcha [2] zgodnie z normą PN-EN ISO 3104 metodą właściwą dla płynów ATF [8, 9].

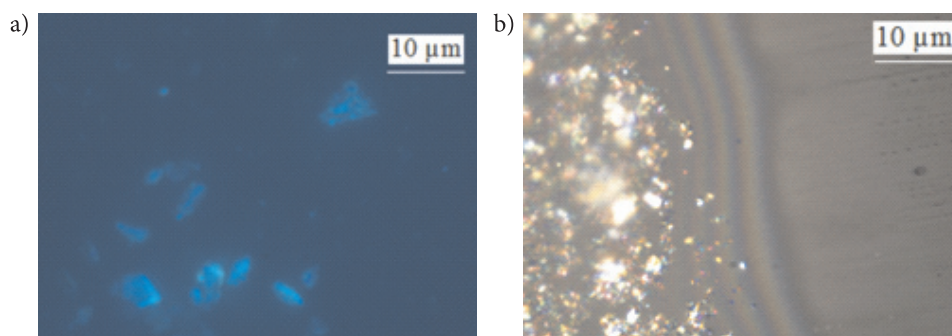
Badania mikroskopowe płynów ATF wykonano w celu rozpoznania rozmiarów zanieczyszczeń płynów ATF po eksploatacji. Przedmiotem analizy były preparaty do badań mikroskopowych przygotowane z próbek nr 3a i 7a.



Rys. 1. Obrazy mikroskopowe próbki nr 3a w powiększeniu: a) $\times 10$; b) $\times 50$

Na uzyskanych obrazach próbki 3a (rys. 1a i 1b) można zaobserwować pojedyncze cząstki zanieczyszczeń o rozmiarach kilku μm . Skupienia zanieczyszczeń są niewielkie i występują sporadycznie. Znacznie większą kontaminację płynu ATF stwierdzić można, analizując obrazy mikroskopowe dla próbki 7a (rys. 2a i 2b).

Na obrazach mikroskopowych dla próbki 7a zaobserwować można duże skupienia cząstek zanieczyszczeń o wymiarach mniejszych od $1 \mu\text{m}$ oraz dużą liczbę większych zanieczyszczeń $5\text{-}10 \mu\text{m}$. Jeden z preparatów przygotowano specjalnie z próbki szlamu osadzonego na króćcu ssącym filtra płynu ATF, gdzie skupienie

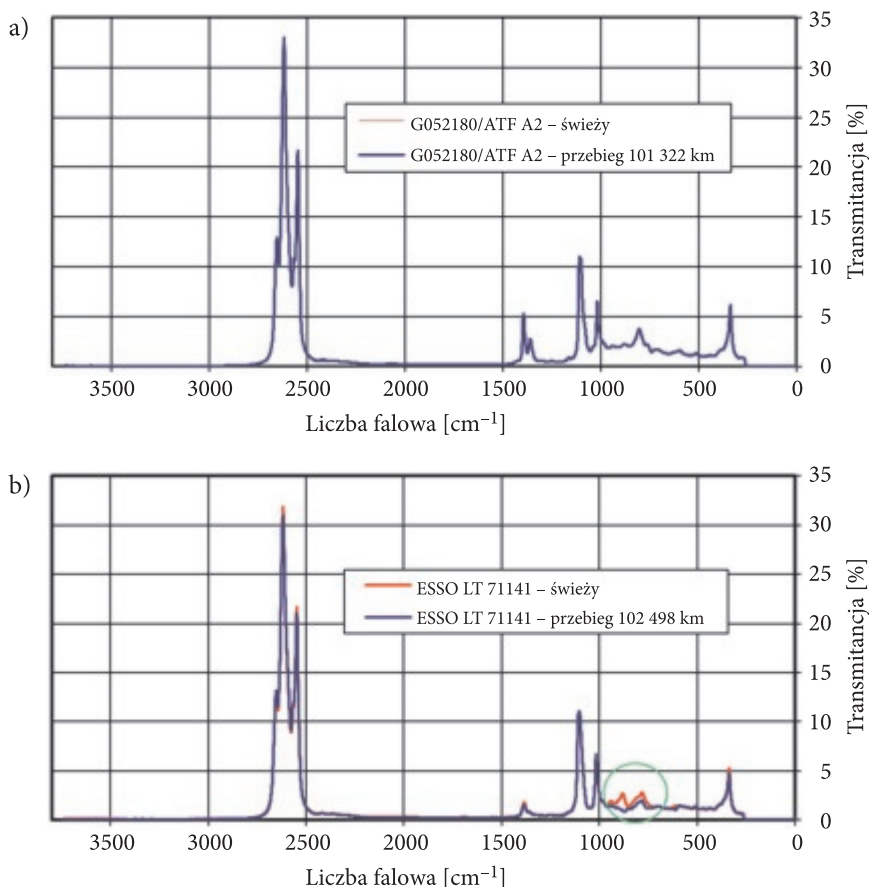


Rys. 2. Obrazy mikroskopowe próbki nr 7a w powiększeniu: a) $\times 150$; b) $\times 150$ — dla szlamu pobranego z króćca ssawnego filtra płynu ATF

cząstek zanieczyszczeń jest bardzo duże. Rozcierając próbkę na szkiełku mikroskopowym, porozdzielano „posklejane” cząstki zanieczyszczeń (rys. 2b). Na obrazie widoczne są cząstki wielkości 5-10 μm , skupiska mniejszych cząstek 1-5 μm oraz skupiska cząstek poniżej 1 μm .

Wyniki badania próbki 1 i 1a oraz 3 i 3a płynów ATF metodą spektroskopii absorpcyjnej przedstawiono na rysunku 3. Uzyskane widma dają pewność, że porównywane próbki to te same płyny ATF. Widma FTIR są bardzo złożone i niezwykle rzadko zdarza się, aby w dwóch różnych związkach chemicznych różniły się w całym zakresie.

Przebiegi widm dla próbek 1 i 1a różnią się nieznacznie w całym zakresie. Nie zaobserwowano też zmian składu chemicznego. Obserwując widma płynów ATF dla badanych płynów ATF stosowanych w dwóch różnych typach automatycznych skrzyń biegów samochodów osobowych, można dostrzec podobieństwa świadczące o zbliżonym składzie chemicznym. Niewielkie różnice widm dla próbek 3 i 3a można zaobserwować dla zakresu liczby falowej 685-920 [cm^{-1}]. Zmiany te mogą wynikać z degradacji dodatków lepkościowych oraz utleniania. Badanie spektroskopowe przeprowadzono również w celu wykluczenia zanieczyszczenia płynu ATF płynem chłodniczym, a tym samym awarii układu chłodzenia płynu ATF dla zespołu, z którego pobrano próbkę 3a. Zmieszanie płynu ATF z cieczą chłodzącą mogłoby spowodować spadek lepkości płynu ATF lub w przypadku emulgowania z wodą wzrost lepkości. Pasma alkoholu, do jakich należy glikol etylenowy (składnik płynu chłodzącego), występują w zakresie 2800-3300 cm^{-1} , a wody (jako drugiego składnika mieszaniny) około 3500 cm^{-1} . Zanieczyszczenie badanego płynu ATF płynem chłodzącym można więc wyeliminować.

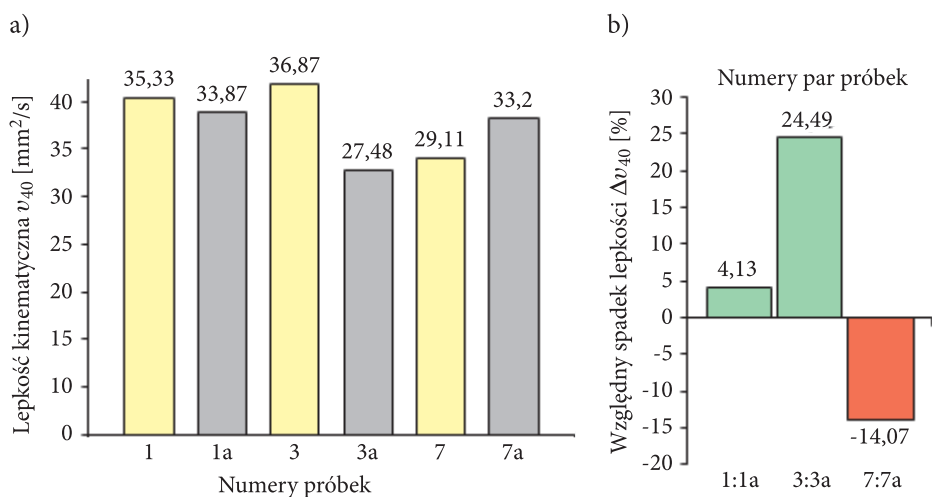


Rys. 3. Widma FTIR badanych płynów ATF: a) próbki 1 i 1a; b) próbki 3 i 3a

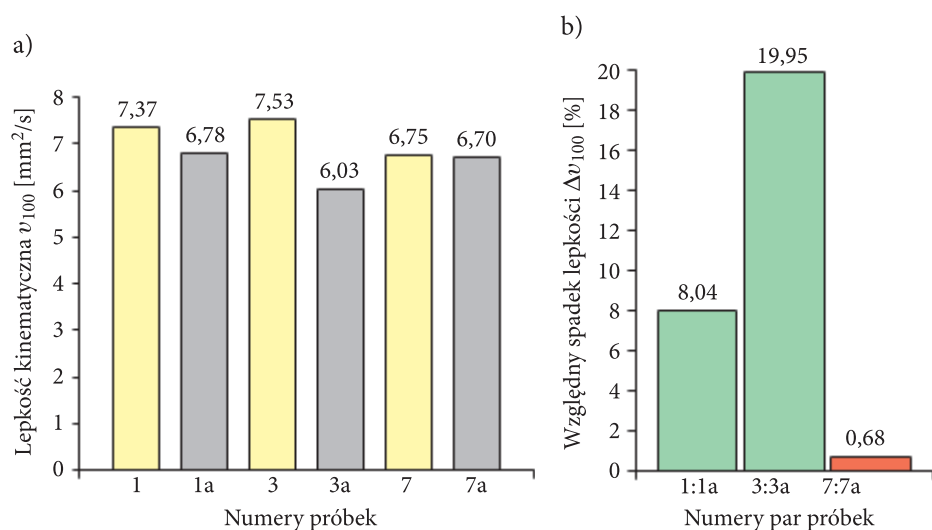
4. Analiza wyników badań lepkości płynów ATF

Wyniki badań lepkości płynów ATF przedstawiono na rysunkach 4 i 5. Dla skrzyni bezstopniowej spadek lepkości $\Delta\nu$ płynu ATF po przebiegu (względem świeżego) dla 40°C wynosi nieco ponad 4%, a dla skrzyni konwencjonalnej niespełna 25%.

Z punktu widzenia eksploatacji bardziej istotne jest badanie lepkości w 100°C, ponieważ temperatura eksploatacyjna płynu ATF wynosi około 80-90°C i jest utrzymywana przez około 80% czasu pracy automatycznej skrzyni biegów. W przypadkach niesprawności układu chłodzenia, dużego obciążenia, temperatura płynu ATF może przekraczać 100°C. Spadek lepkości $\Delta\nu$ w temperaturze 100°C dla skrzyni bezstopniowej przekracza 8%, a dla konwencjonalnej dochodzi do 20%. Analizując pracę sprzęgieł i hamulców wielotarczowych mokrych, należy



Rys. 4. Lepkość kinematyczna v_{40} badanych płynów ATF: a) lepkości kinematyczne w 40°C; b) względny spadek lepkości dla 40°C



Rys. 5. Lepkości kinematyczne v_{100} badanych płynów ATF: a) lepkości kinematyczne w 100°C; b) względny spadek lepkości dla 100°C

brać pod uwagę działanie całego skojarzenia ciernego. Parametry fizyczne płynu ATF determinują zdolność przenoszenia momentu oraz trwałość skojarzenia w zależności od zastosowanego materiału ciernego, co wykazano w badaniach stanowiskowych [4].

Warto dodać, że w ASB zestawionych w tabeli 1, producent nie przewiduje wymiany płynu ATF jako czynności obsługowej. Dopuszcza w razie potrzeby

uzupełnianie poziomu płynu [5, 6, 7]. Według producentów współczesnych automatycznych skrzyń biegów są to zespoły bezobsługowe, które nie wymagają okresowej wymiany płynu ATF — „napelnienie for life” w całym okresie eksploatacji [10, 11]. Odmienne wyniki badań lepkości uzyskano dla trzeciej pary próbek—płynu ATF pobranego z konwencjonalnej automatycznej skrzyni biegów po przebiegu około 150 000 km będącej w stanie niesprawności. Dla tego wariantu wzrost lepkości kinematycznej wyniósł: $\Delta v_{40} = 14\%$ i $\Delta v_{100} = 1\%$. Jest on wynikiem znacznego zanieczyszczenia płynu. Świeży płyn ma kolor żółty — słomkowy. W płynie o ciemnym zabarwieniu stwierdzono znaczną ilość drobnych produktów ścierania (o wymiarach 1-10 μm) w porównaniu z próbką pobraną ze sprawnego zespołu, co potwierdziła analiza mikroskopowa. Wzrost lepkości jest wynikiem obecności stałych produktów nadmiernego, awaryjnego ścierania elementów. Duża ilość produktów ścierania może skumulować się w bardzo krótkim czasie nieprawidłowej pracy zespołu. Wzrost lepkości nie oznacza, że nie doszło do degradacji dodatków lepkościowych. Występowanie intensywnego ścinania i utleniania podczas przenieszenia napędu doprowadza do niszczenia dodatków lepkościowych [3].

5. Wpływ zmian lepkości na trwałość podzespołów ASB

W automatycznych skrzyniach biegów (ASB) uszkodzeniom najczęściej ulegają połączenia cierne (sprzęgła i hamulce wielotarczowe mokre). Najistotniejszym czynnikiem prowadzącym do uszkodzeń jest przeciążenie termiczne [11], które może być również skutkiem spadku lepkości płynu ATF. Przeciążenie termiczne może być spowodowane:

- zbyt gwałtownym narastaniem siły tarcia pomiędzy powierzchniami roboczymi sprzęgieł i hamulców (szarpanie podczas zmiany przełożenia),
- zbyt wolnym narastaniem siły tarcia pomiędzy powierzchniami roboczymi sprzęgieł i hamulców (nadmierny poślizg podczas zmiany przełożenia),
- zbyt małą siłą na siłowniku hydraulicznym skutkującą zbyt małą wartością siły tarcia pomiędzy powierzchniami roboczymi sprzęgieł i hamulców (nadmierne ślizganie),
- przekroczeniem dopuszczalnej wartości temperatury płynu ATF (zbyt wolne odprowadzanie ciepła ze skojarzenia cierne).

Bardzo częstą przyczyną nagłych uszkodzeń automatycznych skrzyń biegów jest awaria układu chłodzenia silnika, którego zadaniem jest również utrzymywanie odpowiedniej temperatury płynu ATF. W efekcie może nastąpić przegrzanie płynu ATF. Pierwszym istotnym skutkiem zbyt wysokiej temperatury płynu ATF jest przede wszystkim znaczny spadek lepkości. Poniżej przedstawiono wyniki diagnostyki uszkodzonej skrzyni biegów, z której pobrano próbkę 7a.

Wyniki stacjonarnej diagnostyki komputerowej wykazały nieprawidłowe załączanie przełożeń: nieprawidłowy czas zmiany przełożenia, nadmierny poślizg (błąd nr 52 — Gangueberwachung) oraz zbyt mocne hamowanie skrzynią biegów (błąd nr 59 — Festbremsdrehzahl). Błąd nr 52 został zarejestrowany przy otwarciu przepustnicy 49,02% dla jazdy na drugim biegu. Błąd nr 59 został zapisany w sterowniku skrzyni biegów po przejechaniu 10 km od chwili zarejestrowania błędu nr 52 (przebieg 147760-147770 km) przy całkowicie zamkniętej przepustnicy. Wystąpienie błędu nr 59 zostało zasygnalizowane na wyświetlaczu głównym komunikatem „Getriebe Program”, co oznacza przejście skrzyni biegów w stan awaryjny (diagnostyka pokładowa). Obydwa błędy nie wynikają z usterek sporadycznych (w określonym stanie obciążenia, prędkości jazdy). Usterki występowały od chwili zaistnienia aż do unieruchomienia pojazdu. Układ diagnostyki sterownika skrzyni biegów posiada opcję, która informuje diagnostę, czy usterka występuje sporadycznie (*sporadische fehler*) czy stale (*fehler momentan vorhanden*). Błąd nr 59 oznaczający nadmierne hamowanie skrzynią biegów związany jest ze „spaleniem” jednego ze sprzęgieł

```

RESULT: 2 errors in error memory !
-----
52  Gangueberwachung 2

Error frequency : 1
Logistic counter: 0

kn-Stand          147760.00  km
Drosselklappenwinkel  49.02  %
Mittelwert Hinterraeder  240.00  1/min
Abtriebsdrehzahl    608.00  1/min

Plausibilitaet
Fehler momentan vorhanden
-----

59  Festbremsdrehzahl

Error frequency : 1
Logistic counter: 59

kn-Stand          147770.00  km
Schaltung laeuft    0.00  0/1
Gangeinlegen       1.00  0/1
Letzte Schaltung: unplausibel  0.00  0-n
Getriebeoeltemperatur  78.00  Grad C
Drosselklappenwinkel  0.00  %

Plausibilitaet
Fehler aktiviert Fehlerlampe
Fehler momentan vorhanden
-----

```

Rys. 6. Wyniki stacjonarnej diagnostyki komputerowej uszkodzonej automatycznej skrzyni biegów ZF 5HP-30

mokrych. Uszkodzenie spowodowane było przeciążeniem termicznym sprzęgła. Skutkiem tej usterki było niecałkowite rozprzęgnięcie, w wyniku czego nie nastąpiło całkowite rozłączenie przełożenia w chwili, gdy było załączone inne przełożenie.

Wyniki stacjonarnej diagnostyki nie wykazały usterek związanych ze sterowaniem elektrohydraulicznym ani nadmiernej temperatury płynu ATF (78°C — temperatura eksploatacyjna płynu ATF wynosi 80-90°C). Przed pojawieniem się na wyświetlaczu informacji o przejściu skrzyni biegów w stan awaryjny kierowca wyczuwał szarpnięcia, co jest związane z chwilowymi utratami zdolności do przenoszenia obciążenia przez elementy wykonawcze skrzyni biegów — sprzęgła i hamulce wielotarczowe. W analizowanym przypadku przebieg eksploatacyjny do usterki skutkującej koniecznością przeprowadzenia naprawy głównej wyniósł około 150 000 km. Zgodnie z zaleceniami producenta pojazdu nie przeprowadzono okresowej obsługi polegającej na wymianie płynu ATF i filtra ssawnego układu hydraulicznego skrzyni biegów [7].

6. Podsumowanie

Uzyskane wyniki badań lepkości przeprowadzonych z użyciem próbek pobranych z eksploatowanych ASB w warunkach rzeczywistych porównywalne są z wynikami uzyskanymi laboratoryjnie [3]. Intensywne ścinanie i silne utlenianie powodują degradację dodatków lepkościowych, co skutkuje spadkiem lepkości płynu ATF (o czym może świadczyć również zmiana widma płynu po eksploatacji względem świeżego w pewnym zakresie liczby falowej dla próbek płynu 3 i 3a).

Dla skrzyni bezstopniowej spadek lepkości Δv płynu ATF po przebiegu (względem świeżego) dla 40°C wyniósł nieco ponad 4%, dla skrzyni konwencjonalnej niespełna 25%. Spadek lepkości Δv w temperaturze 100°C dla skrzyni bezstopniowej przekracza 8%, a dla konwencjonalnej dochodzi do 20%. Odmienne wyniki uzyskano dla płynu ATF pobranego z konwencjonalnej automatycznej skrzyni biegów po przebiegu około 150 000 km będącej w stanie niesprawności (próbki 7 i 7a). Dla tego wariantu wzrost lepkości kinematycznej wyniósł: $\Delta v_{40} = 14\%$ i $\Delta v_{100} = 1\%$. Wzrost lepkości jest wynikiem znacznego zanieczyszczenia płynu, co potwierdziły badania mikroskopowe próbek płynów ATF — na obrazach mikroskopowych dla próbki 7a zaobserwować można było duże skupienia cząstek zanieczyszczeń o wymiarach mniejszych od 1 μm oraz dużą liczbę większych zanieczyszczeń 5-10 μm . Ponadto wyniki analizy mikroskopowej wykazały nieznaczną kontaminację płynu ATF w przypadku sprawnej skrzyni biegów. Sprzęgła i hamulce wielotarczowe mokre stosowane w automatycznych skrzyniach biegów z racji warunków pracy i stosowanych materiałów ciernych (prasowana celuloza oraz włókno aramidowe) wymagają płynu ATF o stabilnych i zaprojektowanych do konkretnego skojarzenia parametrach fizykochemicznych [4]. Przedstawione wyniki stacjonarnej diagnostyki komputerowej

niesprawnej automatycznej skrzyni biegów o przebiegu około 150 000 km bez obsługi wykazały nieprawidłowe załączanie przełożeń: nieprawidłowy czas zmiany przełożenia, nadmierny poślizg oraz zbyt mocne hamowanie skrzynią biegów. Uszkodzenie spowodowane było przeciążeniem termicznym sprzęgła wielotarczowego mokrego. Uznać za fakt można wpływ przebiegu eksploatacyjnego płynu ATF na lepkość oraz wpływ tych zmian na jakość pracy i trwałość automatycznej skrzyni biegów (ASB). Należy przedyskutować modyfikację procesów obsługowych automatycznych skrzyń biegów (ASB), dla których nie jest przewidziana wymiana płynu ATF wraz z filtrem ssawnym. Regularne obsługiwane polegające na wymianie płynu ATF wraz z filtrem ssawnym po określonym, ustalonym w wyniku analiz przebiegu eksploatacyjnym może pozwolić wydłużyć przebieg bezawaryjnej eksploatacji automatycznej skrzyni biegów (ASB). Taka modyfikacja procesów obsługowych może być uzasadniona ekonomicznie, biorąc pod uwagę przedwczesną naprawę główną lub wymianę zespołu.

LITERATURA

- [1] K. BACZEWSKI, M. HEBDA, *Filtracja płynów eksploatacyjnych*, MCNEMT, Radom, 1991/92.
- [2] K. BACZEWSKI, P. SZCZAWIŃSKI, W. ZIELNIK, *Płyny eksploatacyjne, Wstęp do zajęć laboratoryjnych*, Warszawa, 2010.
- [3] B.G. KINKER, J.T. GIBBS, Y. MURAKAMI, H. HAMAGUCHI, *Automatic transmission fluid viscosity index improver shear stability testing and oxidative stability*, 13th International Colloquium Tribology, Ostfildern, Germany, 15-17 Jan. 2002, 1915-1924.
- [4] H. MOROZUMI, Y. SHOUJI, *Development of test procedures for wet friction materials compatibility with automatic transmission fluid*, Materials Engineering Department, Nissan Motor Co., Ltd., Kanagawa, Japan, 2000.
- [5] *Zeszyty do samodzielnego kształcenia VW/AUDI*, AUDI AG, Ingolstadt, 2003.
- [6] *Technical service information, HYDRA-MATIC 4L40-E/5L40-E, AUTOMATIC TRANSMISSION SERVICE GROUP*, Miami, USA, 2002.
- [7] *Technical service information, ZF version 5HP-30, AUTOMATIC TRANSMISSION SERVICE GROUP*, Miami, USA, 1998.
- [8] PN-EN ISO 3104:2004 — Przetwory naftowe. Ciecze przezroczyste i nieprzezroczyste. Oznaczanie lepkości kinematycznej i obliczanie lepkości dynamicznej.
- [9] NO-91-A282:2008 — Materiały pędne i smary. Olej ATF do automatycznych przekładni samochodowych kod MPS O-9241.
- [10] W. SOBIERAJ, *Poradnik Serwisowy — automatyczne skrzynie biegów*, Instalator Polski, Warszawa, 2005.
- [11] W. MICKNASS, R. POPIOL, A. SPRENGER, *Sprzęgła, skrzynki biegów, wały i pólósie napędowe*, WKŁ, 2005.
- [12] K.L. KUO, *Simulation and Analysis of the Shift Process foran Automatic Transmission*, World Academy of Science, Engineering and Technology, 2011.

T. DZIUBAK, P. SZCZAWIŃSKI, P. SZCZEPANIAK

Effect of ATF operational run on shift quality and life of automatic transmission (AT) of cars

Abstract. Operating conditions and functions of ATF in an automatic transmission are described. Characteristics and requirements of ATF are presented. ATF samples used for testing were characterized. The methodology used for determining the kinematic viscosity testing is given. There are presented the results of microscopic analysis and Fourier Transform Infrared Spectroscopy of ATF samples after the operation. Also viscosity results of fresh and used ATF are illustrated and discussed. Results of stationary and on-board diagnostics in damaged automatic transmission are presented. Possible influence of the ATF viscosity decrease on operating and technical conditions in automatic transmissions friction connections were described.

Keywords: AT — automatic transmissions, ATF — automatic transmission fluid, kinematic viscosity, friction connections in automatic transmissions