Machine Translated by Google

16FFL-0058

Motorreibungs- und Verschleißverhalten mit Polyalkylenglykol-Motorölen

John Cuthbert, Dow Chemical Company; Ellen D. Hock, Dow Chemical Company;

Arup Gangopadhyay, Larry Elie, Z. Liu, Douglas McWatt, Ford Motor Company;

Ali Erdemir, Argonne National Laboratory

Abstrakt

Die Verwendung von Polyalkylenglykol (PAG) als Grundstoff für Motorölformulierungen wurde untersucht, um im Vergleich zu herkömmlichen Formulierungen mit Mineralölen eine erhebliche Kraftstoffeinsparung zu erzielen. Abhängig vom für die Herstellung verwendeten Ausgangsmaterial wurden verschiedene PAG-Chemikalien untersucht. Alle Formulierungen bis auf eine haben das gleiche Additivpaket. Die Reibungsleistung dieser Öle wurde in einem angetriebenen Einzylindermotor mit aktueller Serienmotorhardware im Temperaturbereich von 40 °C bis 120 °C und im Drehzahlbereich bewertet

von 500 U/min-2500 U/min. PAG-Formulierungen zeigten je nach Temperatur, Geschwindigkeit und Ölchemie eine Reibungsreduzierung von bis zu 50 % gegenüber GF-5 SAE 5W-20-Öl. Die Reibungsbewertung in einem angetriebenen I-4-Motor ergab eine Reibungsreduzierung von bis zu 11 % im Temperaturbereich von 40 °C bis 100 °C gegenüber GF-5-Öl. In dem Beitrag werden Ergebnisse zu ASTM Sequence VID-Kraftstoffverbrauchstests, Sequence IVA-Verschleißtests und Sequence VG-Schlamm- und Lacktests vorgestellt. Es werden auch Daten zum Kraftstoffverbrauch des Fahrgestells weitergegeben.

Einführung

Motoröle spielen eine entscheidende Rolle bei der Reduzierung der Motorreibung. Es ist wichtig, die Auswirkungen der Schmiersysteme eines Motors zu verstehen zum Thema Kraftstoffverbrauch. Das Nocken- und Stößelsystem in einem Motorventiltrieb arbeitet unter Grenz- und/oder Mischschmierbedingungen. Die Lager (Haupt- und Pleuellager) arbeiten größtenteils im hydrodynamischen Bereich, außer in Start-/Stopp-Situationen. Der Kolbenring-/Zylinderbohrungskontakt funktioniert bei Grenzschmierung, Mischschmierung und hydrodynamischer Schmierung. Die Anteile jedes dieser Schmiersysteme variieren je nach Motorkonstruktion, aber bei einem Automobilmotor dominiert das hydrodynamische Schmiersystem, gefolgt vom gemischten Schmiersystem. Die Reibungsverluste im hydrodynamischen Bereich können durch die Steuerung der viskometrischen Eigenschaften von Motorölen reduziert werden. In Motortests zeigten SAE 0W-20-Motoröle bei unterschiedlichen Öltemperaturen und Motordrehzahlen eine geringere Reibung als SAE 5W-30 (1). Damen et al. Basierend auf einer Flottenstudie wurde eine Verbesserung des Kraftstoffverbrauchs um 0,2 % für SAE 0W-20-Öl im Vergleich zu SAE 5W-20-Öl geschätzt, wobei beide die GF-4-Spezifikation erfüllen (2).

Koyamaishi et al. untersuchten das Potenzial zur Reduzierung der Motorreibung bei abnehmender Hochtemperatur-Hochscherviskosität (HTHS) von Motorölen. Die Reduzierung des HTHS von 2,9 MPa.s (typische Werte für SAE 5W-30-Öle) auf 1,7 MPa.s verbesserte den Kraftstoffverbrauch im NEFZ (Neue Europäische Fahrzyklen) um etwa 2,5 % (3). Andere Untersuchungen ergaben jedoch, dass die Verbesserung des Kraftstoffverbrauchs bei etwa 2,6 MPa.s ein Plateau erreichen kann, bei dessen Überschreitung der Kraftstoffverbrauch aufgrund des erhöhten Beitrags der Grenzreibung ansteigen kann (4, 5). Cockbill und Bennet (6) zeigten eine geringere Motorreibung mit Motorölen niedrigerer Viskosität bei niedrigen Motoröltemperaturen (-20 °C bis -35 °C). Eine weitere Möglichkeit zur Reduzierung der Reibung in Motoren ist die Verwendung von Ölen mit hohem Viskositätsindex (VI), da Motoröle mit hohem Viskositätsindex eine geringere Abhängigkeit der Ölviskosität von der Temperatur aufweisen und dadurch eine geringere Viskosität bei niedrigen Temperaturen bieten. Dies führt zu einer geringeren Reibung bei warmem Motor hoch. Nagashima et al. (7) zeigte bei motorisierten Ventiltriebstests eine Reibungsreduzierung von etwa 15 % und auch eine geringere Motorreibung bei Verwendung von Motoröl mit hohem VI (137) im Vergleich zu Öl mit niedrigerem VI (123). Der fortschrittliche VI-Verbesserer auf Basis der Kammpolymerarchitektur zeigte eine Verbesserung des Kraftstoffverbrauchs um etwa 1,5 % im NEFZ-Zyklus (8). Der Zusatz von Reibungsmodifikatoren spielt eine wichtige Rolle bei der Reibungsreduzierung. Glycerinmonooleat ist einer der heute am häufigsten in Motorölen verwendeten organischen Reibungsmodifikatoren, obwohl es noch andere gibt. Molybdändithiocarbamat (9) ist ein weiterer Reibungsmodifikator, der die Reibung unter Grenzschmierbedingungen sehr wirksam reduziert. SAE 5W-20-Motoröl mit Molybdändithiocarbamat-Reibungsmodifikator kann den Kraftstoffverbrauch gegenüber SAE 5W-30-Motorölen ohne Reibungsmodifikator um 1–2 % verbessern, je nach Fahrzyklus und Motorkonstruktion (10).

Seine Verwendung auf dem nordamerikanischen Ölmarkt ist jedoch aufgrund (a) der Kosten, (b) der Unfähigkeit, den Reibungsvorteil bei Ölalterung (11, 12) (6400-10000 km) beizubehalten, und (c) Bedenken hinsichtlich Turboladerablagerungen eingeschränkt (13). Die richtige Auswahl der Kombination aus Reibungsmodifikator und Viskositätsmodifikator kann bei längerer Ölwechselzeit zu einer Kraftstoffeinsparung führen (14).

In jeder aufeinanderfolgenden Motorölspezifikation, GF-1 bis GF-5, wurde ein kleiner, aber erheblicher Kraftstoffverbrauchsvorteil erzielt. Die Verbesserung war durch Änderungen in der Grundöl- und Additivchemie möglich. Es wird erwartet, dass die zusätzliche Verbesserung des Kraftstoffverbrauchs durch Motoröl gering ausfällt und daher möglicherweise der Schwerpunkt auf nicht-traditionellen Grundölen liegen muss. In den letzten Jahren wurden Polyalkylenglykolöle als Grundstoff für Motorölformulierungen untersucht und erste Daten zeigten ermutigende Ergebnisse (15-16). Polyalkylenglykole sind
sind als synthetische Grundstoffe der API-Gruppe V (23) eingestuft und werden derzeit als feuerbeständige Hydraulikflüssigkeiten, Kühlschmierstoffe usw. verwendet.
Bereits in den 1970er Jahren wurden sie auch zur Schmierung von Zweitaktmotoren eingesetzt. Polyalkylenglykole bieten mehrere Vorteile bei der Anwendung in Motorölen, darunter einen niedrigeren Grenzreibungskoeffizienten aufgrund ihrer polaren Natur, eine geringe Flüchtigkeit (5 %) für einen potenziell geringeren Ölverbrauch, eine saubere Verbrennung, die zu weniger Ablagerungen im Motor führt, und eine höhere oxidative Stabilität (17), die zu einem erhöhten Ölverbrauch führt Ölwechselintervalle. Kürzlich wurde über das Reibungsminderungspotenzial und die Verschleißleistung von Motorölen berichtet, die auf Basis von Polyalkylenglykolen formuliert sind. Die Ziele des Papiers bestehen darin, das Potenzial zur Reibungsreduzierung von Motorölformulierungen auf Polyalkylenglykolbasis in Motor- und Feuermotortests zusammen mit der Verschleißschutzfähigkeit und der Tendenz zur Schlamm- und Lackbildung zu bewerten.

Schmiermittelformulierung

Die für diese Untersuchung berücksichtigten Schmierstoffe sind in Tabelle 1 (S. 9) zusammen mit einigen Daten zu den physikalischen Eigenschaften beschrieben. Verschiedene Arten von PAGs wurden bewertet, um den Einfluss der Struktur auf die tribologischen Eigenschaften zu bestimmen. Die allgemeinen Strukturen der untersuchten PAGs sind in Abbildung 1 dargestellt.

Machine Translated by Google

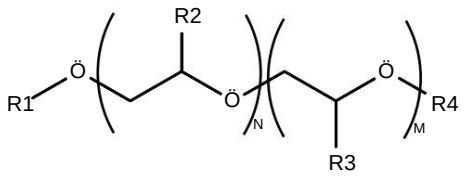

Abbildung 1: Allgemeine chemische Struktur von PAG

Die fünf verschiedenen Chemien wurden durch Variation des Ausgangsalkohols R1 geschaffen; die Oxidmonomere, wobei R2 und R3 entweder –H bei Ethylenoxid, -CH3-Propylenoxid oder –C2H5 bei Butylenoxid sind und R2 dasselbe wie R3 ist , wenn es sich um ein Homopolymer handelt, oder R2 von R3 verschieden ist , wenn es sich um ein statistisches Copolymer handelt, und die Endgruppe R4 ändert . Wenn R4 eine Alkylgruppe ist, wird der PAG „gekappt" oder alternativ als Diether bezeichnet. Wenn R4 Wasserstoff ist, ist der PAG ein Monol oder wird einfach als „PAG" bezeichnet. Bei den fünf verschiedenen untersuchten Polymeren handelt es sich um verkappte statistische Copolymere aus Ethylenoxid und Propylenoxid mit Alkohol 1; verkapptes Homopolymer von Propylenoxid mit Alkohol 1; verkapptes Homopolymer von Propylenoxid mit Alkohol 2; Monol-Homopolymer von Propylenoxid mit Alkohol 1; und Monol-Copolymer aus Propylenoxid und Butylenoxid mit Alkohol 2. Die Viskosität des Polymers wird durch das Molekulargewicht bestimmt, das wiederum durch die Anzahl der Mol Oxid bestimmt wird, die dem Ausgangsalkohol zugesetzt werden (m und n in Abbildung 1). . Es ist daher möglich, durch Variation von m und n eine Reihe chemisch ähnlicher Polymere mit unterschiedlichen HTHS-Viskositäten zu erzeugen.

Durch das Mischen chemisch ähnlicher Polymere mit unterschiedlichen Viskositäten entstehen Flüssigkeiten mit Viskositäten zwischen den beiden Ausgangspolymeren. Alle Flüssigkeiten außer 17-1 wurden mit einem proprietären Additivpaket formuliert (18, 19), das auf einen niedrigen SAPS- und Aschegehalt sowie einen inhärent hohen Viskositätsindex (VI) ausgelegt ist. Keine der untersuchten Flüssigkeiten enthielt einen Viskositätsindexverbesserer oder ein überbasisches Reinigungsmittel. Zusätzlich zum proprietären Additivpaket enthielt 17-1 ZDDP für verbesserte Verschleißschutzeigenschaften und einen Reibungsmodifikator auf Molybdänbasis. Der hohe inhärente VI von Schmierstoffen auf PAG-Basis und das Fehlen eines VII ermöglichten es nicht, sowohl die HTHS-Viskosität bei 150 °C als auch die niedrige Scherviskosität bei 100 °C für einen XW-20-Schmierstoff zu erfüllen, wie in der Motorölviskositätsklassifizierung SAE J-300 gefordert . Die für verschiedene Arten von Bewertungen verwendeten Schmierstoffe sind in Tabelle 1 (S. 9) aufgeführt. Und ihre Viskosität-Temperatur-Beziehung ist in Abbildung 2 dargestellt.

Experimentelle Details

Das Reibungsminderungspotenzial der Öle wurde mithilfe eines (a) motorisierten, drucklosen Einzylindermotors, (b) eines motorisierten Motors und (c) Kraftstoffverbrauchstests gemäß ASTM Sequence VID bewertet. In einem Motor tragen die Reibungsverluste an Zylinderlaufbuchse, Kolbenschaft und Ringkontakten etwa 45 % zu den gesamten Reibungsverlusten bei (20). Diese Kontakte arbeiten im Grenzschmierbereich in der Nähe des oberen und unteren Totpunkts, im hydrodynamischen Schmierbereich in der Nähe der Hubmitte und im Mischschmierbereich auf dem verbleibenden Teil der Zylinderoberfläche. Die Bereiche der Grenzschmierung, der Mischschmierung und der hydrodynamischen Schmierung variieren je nach Motordrehzahl, Last und Öltemperatur. Es gibt Möglichkeiten, Reibungsverluste an diesen Kontakten durch reibungsarme und dünnflüssigere Motoröle zu reduzieren.

Allerdings sind Messungen der Reibung an diesen Kontakten gelinde gesagt eine Herausforderung. Ein angetriebener Einzylindermotor mit a

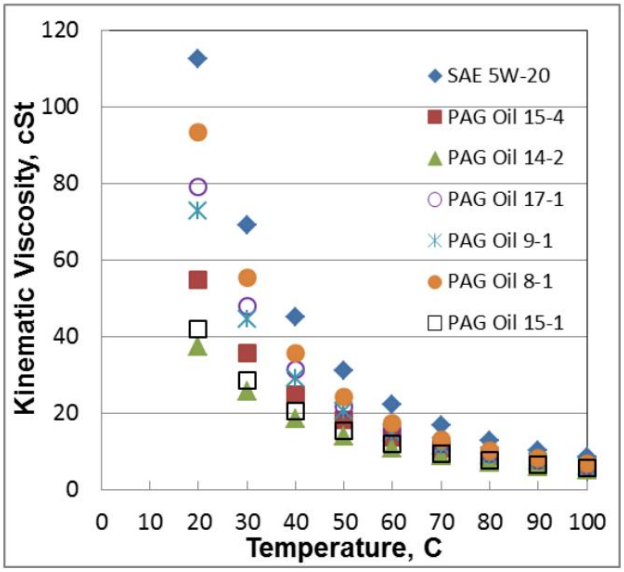

Abbildung 2. Viskosität-Temperatur-Beziehung für verschiedene getestete Öle.

Für die Reibungsmessungen wurde die „Floating-Liner"-Methode verwendet. Der Der Einzylindermotor wurde unter Verwendung aktueller Produktionsteile (Kolben, Kolbenringe, Kolbenbolzen und Pleuel) aus einem V-6-Motor konstruiert. Die Reibungskraft an der Schnittstelle zwischen Kolben und Laufbuchse wurde mithilfe von drei vorgespannten Kraftsensoren im Abstand von 120 Grad gemessen, die über einen Deckabstandshalter gegen die schwimmende Laufbuchse gedrückt wurden. Jede Abweichung der aufgezeichneten Reibungskraft vom voreingestellten Wert ist repräsentativ für die Reibungskraft, die an der Schnittstelle zwischen Kolben und Laufbuchse wirkt. Die Kurbelwelle wird über einen Satz Kupplungen und Lager von einem 56-kW-Motor angetrieben. Das Reibungsdrehmoment wurde mit einem Inline-Drehmomentmessgerät gemessen. Die Reibungsmessungen wurden bei Öltemperaturen von 40 °C bis 120 °C und im Kurbelwellendrehzahlbereich von 62 U/min bis 1750 U/min durchgeführt. Vor den Reibungsmessungen werden die Kolben-, Kolbenring- und Laufbuchsenoberflächen eingefahren, indem der Motor mehrere Stunden lang bei 100 °C und verschiedenen Geschwindigkeiten betrieben wird, bis bei jeder Geschwindigkeit eine stabile Reibungskraft beobachtet

Motorreibungstests wurden mit einem I-4-Motor durchgeführt.
Vor den Reibungsmessungen wurde der Motor nach einem Standardverfahren des Unternehmens eingefahren. Die Reibungsdaten wurden bei einer Motordrehzahl von 700 U/min bis 5000 U/min erfasst und dem Motor wurde Öl aus einem externen Sumpf zugeführt. Bei jeder Öltemperatur wurden drei Tests durchgeführt und der Durchschnitt der drei Tests angegeben. Die Tests wurden bei drei Motoröltemperaturen durchgeführt: 40 °C, 80 °C und 100 °C.

Es wurden ASTM Sequence VID-Tests durchgeführt, um eine Bewertung der Verbesserung des Kraftstoffverbrauchs unter Bedingungen mit befeuertem Motor zu erhalten. Der Test wird in zwei Schritten durchgeführt; Schritt 1 besteht aus der Messung des Kraftstoffverbrauchs nach 16-stündiger Alterung des Öls und wird als FEI 1 bezeichnet. Schritt 2 besteht aus der Messung des Kraftstoffverbrauchs nach weiteren 84 Stunden Alterung für insgesamt 100 Stunden Alterung und wird als FEI 2 bezeichnet . Die Summe aus FEI und FEI 2 wird als FEI SUM angegeben. Der Kraftstoffverbrauch wird unter spezifischer Motorlast, Drehzahl und Öltemperatur gemessen, wie in Tab (Seite 9) mit einem GM 3,6L-Motor. In der Tabelle ist das mit jeder Stufe verbundene Schmiersystem angegeben, was zum Verständnis der Stufen beiträgt, die sich positiv auf die Verbesserung des Kraftstoffverbrauchs auswirken (21). Der Test legt großen Wert auf Grenzschmierung (34,6 %) und Mischschmierung (61 %).

Machine Translated by Google

Zur Beurteilung der Verschleißschutzfähigkeit von PAG-Ölen wurde ein ASTM-Sequenz-IVA-Test durchgeführt. Dieser Test soll längere Leerlaufbedingungen und die Verschleißschutzfähigkeit bei niedrigen Temperaturen darstellen. Die Öltemperaturen werden bei 50 °C und 60 °C gehalten und spiegeln die typischen Fahrbedingungen im Taxi wider (22).
Die Testdauer beträgt 100 Stunden und ist eine Kombination aus zwei Fahrzyklen, die 100 Mal wiederholt werden: Der erste besteht darin, den Motor 50 Minuten lang bei 800 U/min bei 50 °C laufen zu lassen, gefolgt vom zweiten
1500 U/min bei 60 °C für 10 Minuten. Der Verschleiß der Nockennase wird am Ende des Tests gemeldet.

Es wurde eine ASTM-Sequenz-VG durchgeführt, um die Fähigkeit von PAG-Ölen zur Kontrolle der Ablagerungsbildung zu bewerten. Hierbei handelt es sich um einen 216-Stunden-Test zur Simulation von Taxi- und Lieferdiensten bei moderaten Temperaturen. Der Test wird in drei Phasen durchgeführt; Dabei läuft Stufe 1 120 Minuten lang mit 1200 U/min bei einer Öltemperatur von 68 °C, Stufe 2 läuft 75 Minuten lang mit 2900 U/min und einer Öltemperatur von 100 °C und Stufe 3 läuft 45 Minuten lang mit 700 U/min und einer Öltemperatur von 45 °C. Am Ende des Tests werden die Schlammablagerungen auf Kipphebelabdeckungen, Nockenleitblechen, Steuerkettenabdeckung, Ölwannenleitblech, Ölwanne und Ventildecks bewertet. Lackablagerungen werden auch auf Kolbenhemden (Schub) und Nockenleitblechen bewertet.

Mithilfe des Federal Test Procedure Cycle (FTP-75) und des Federal Highway Fuel Economy Test Cycle (HWFET) wurden Kraftstoffverbrauchstests auf dem Fahrgestell-Rollprüfstand durchgeführt, um die Fähigkeit zur Verbesserung des Kraftstoffverbrauchs zu bewerten. Die Tests wurden an einem Fahrzeug durchgeführt, das mit einem I-4-Motor ausgestattet war, dem gleichen Motor, der auch für motorisierte Motortests verwendet wurde. Das Fahrzeug hatte 40.000 km zurückgelegt, um sicherzustellen, dass der Motor eingefahren war. Das vorhandene Motoröl wurde abgelassen, mit dem Kandidatenöl gespült und anschließend frisches Öl nachgefüllt. Es wurden zwei Öle verwendet, GF-5 SAE 5W-20 und PAG-Öl 15-1. Nach 800, 8.000 und 16.100 km wurden drei bis fünf wiederholte Kraftstoffverbrauchstests durchgeführt, um die Verbesserung des Kraftstoffverbrauchs durch Ölalterung zu verstehen. Die Kilometerakkumulation erfolgte mithilfe von EPA SRC 2.5.2-Fahrzyklen, die für die Alterung des Katalysators verwendet wurden. Um den Einfluss von Reifenverschleiß und Alterung des Emissionssystems auf den Kraftstoffverbrauch zu vermeiden, wurde ein separater Satz Reifen und Emissionssysteme verwendet wurden benutzt. Nach jeder Fahrt wurde eine Ölprobe entnommen Akkumulation zur Analyse.

Resultate und Diskussion

Motorisierte Einzylinder-Kolbenring-Reibungstests

Abbildung 3 zeigt die hervorragende Wiederholbarkeit der Reibungskraftmessungen bei einer Öltemperatur von 100 °C mit GF-5 SAE 5W-30-Öl als Funktion der Motordrehzahl. Es ist zu erwarten, dass die Reibungskraft mit der Motordrehzahl aufgrund der zunehmenden Ölfilmdicke an der Schnittstelle zwischen Kolbenring und Laufbuchse abnimmt, was die Schwere der Unebenheitswechselwirkungen verringert. Abbildung 4 zeigt einen Vergleich der bei einer Öltemperatur von 120 °C gemessenen Reibungskraft als Funktion der Motordrehzahl zwischen GF-5 SAE 5W-20 und verschiedenen PAG-Ölformulierungen. PAG-Öle zeigen bei allen Geschwindigkeiten einen deutlichen Reibungsvorteil gegenüber GF-5 SAE 5W-20 (fast die Hälfte der Reibungskraft). PAG-Öl 15-4 und PAG-Öl 14-2 haben die gleiche Formulierung mit der Ausnahme, dass die Hochtemperatur- und Scherviskosität des ersteren 2,66 mPa·s beträgt, während das letztere 2,4 mPa·s beträgt. PAG-Öl 14-2

zeigte erwartungsgemäß eine geringere Reibungskraft als PAG-Öl 15-4, insbesondere bei höheren Geschwindigkeiten. Die Reibungsvorteile könnten auf die geringere Viskosität von PAG-Ölen im Vergleich zu SAE 5W-20-Öl und/oder auf Unterschiede in der Chemie der Grundöle zurückzuführen sein. Bei einer Temperatur von 80 °C werden die Vorteile erst bei niedrigeren Geschwindigkeiten beobachtet.

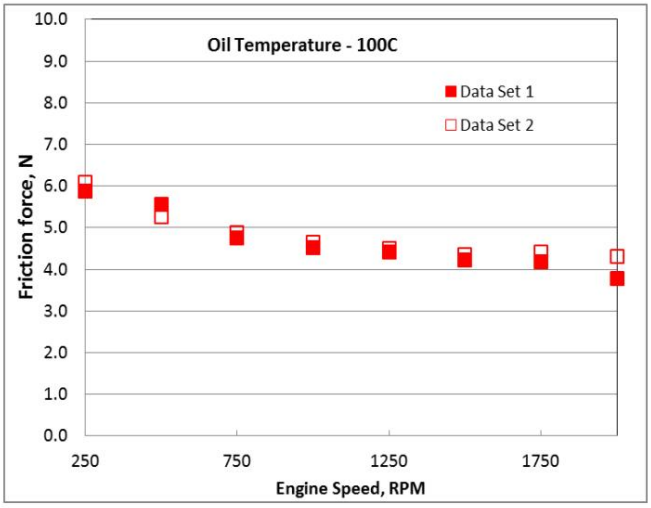

Abbildung 3. Variation der Reibungskraft als Funktion der Motordrehzahl bei einer Temperatur von 100 °C mit GF5 SAE 5W-30-Öl. Zeigt außerdem die Wiederholbarkeit der Daten an.

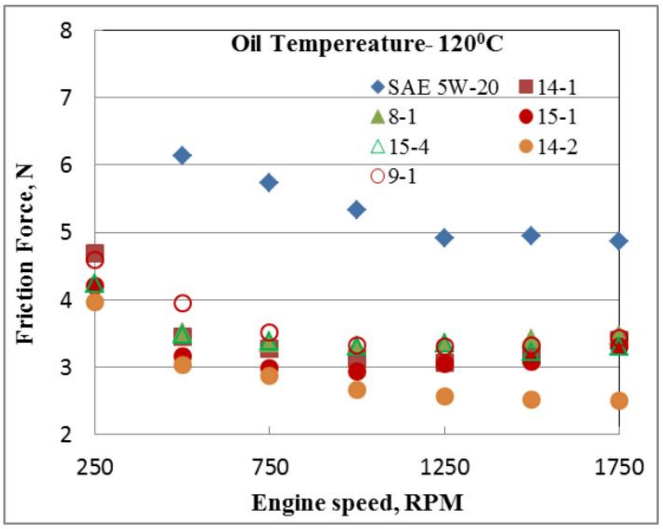

Abbildung 4. Ein Vergleich der Reibungskraft pro Zyklus als Funktion der Motordrehzahl verschiedener PAG-Motoröle mit SAE 5W-20-Öl bei einer Temperatur von 120 °C.

Um die Bedeutung von Chemie und Viskosität besser zu verstehen, sind die obigen Ergebnisse in Abbildung 5, die Isoviskositätsdiagramme zeigt, auf andere Weise dargestellt. Dies wird erreicht, indem die Reibungsdrehmomentdaten für GF-5 SAE 5W-20-Öldaten bei 120 °C mit denen der Kinematik verglichen werden

Die Viskosität betrug 7,1 mm2/s , bei PAG-Öl 14-2 bei 80 °C (kinematische Viskosität 6,8 mm2/s) und bei PAG-Öl 8-1 bei 100 °C (kinematische Viskosität 6,6 mm2 /s). Obwohl die Viskositätszahlen nicht genau gleich sind, liegen sie innerhalb von 0,5 mm2/s, nahe genug, um die Rolle der Grundölchemie auf die Reibung zu verstehen. Wie die Ergebnisse zeigen, liegt das Reibungsverhalten der beiden PAG-Öle nahe beieinander und ist deutlich geringer als das des GF-5 SAE 5W-20-Öls. Ähnliche Analysen, die bei anderen Viskositätsniveaus durchgeführt wurden, zeigten den gleichen Trend, was darauf hindeutet, dass die Chemie des PAG-Öls in erster Linie für die geringere Reibung verantwortlich ist.

Machine Translated by Google

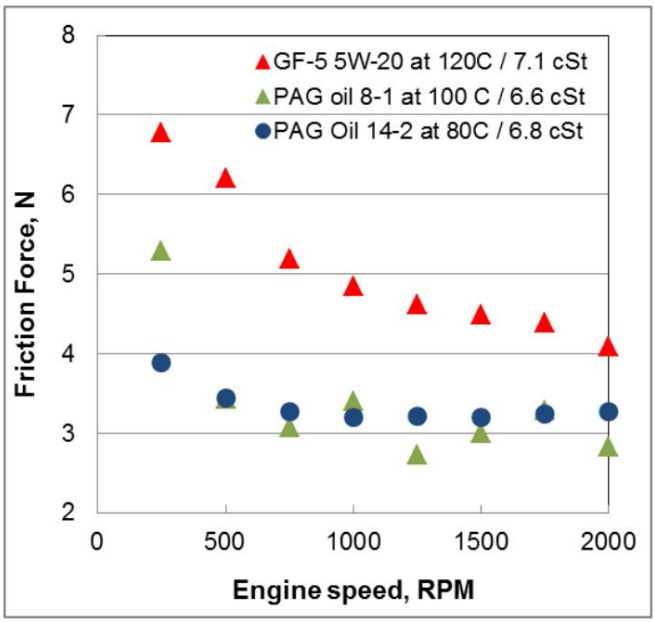

Abbildung 5. Ein Vergleich der Reibungskraft bei etwa gleichem Viskositätsniveau für verschiedene Motoröle.

Reibungstests für Motormotoren

Vor der Erfassung der Reibungsdaten wurden fünf Wiederholungstests durchgeführt, um die Wiederholbarkeit sicherzustellen. Abbildung 6 zeigt eine hervorragende Wiederholbarkeit bei 93 °C mit SAE 5W-20-Öl. Abbildung 7 zeigt Motorreibungsdaten als Funktion der Motordrehzahl. Obwohl Reibungsdaten bis zu einer Motordrehzahl von 5.000 U/min erfasst wurden, werden nur Reibungsdaten bis zu einer Motordrehzahl von 2.500 U/min angezeigt, da dies nicht der Fall ist Über diese Geschwindigkeit hinaus konnte ein signifikanter Unterschied zwischen den Ölen beobachtet werden. Bei 100 °C Öltemperatur und niedrigerer Motordrehzahl Mischschmierung vorherrschen, PAG-Öle zeigten signifikante Ergebnisse

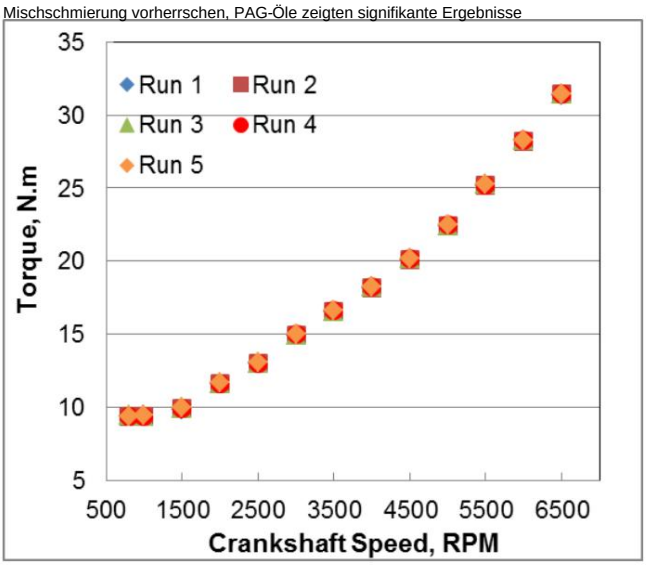

Abbildung 6. Wiederholbarkeit der Reibungsdaten von Motormotoren bei 93 °C mit GF-5 SAE 5W-20-Öl.

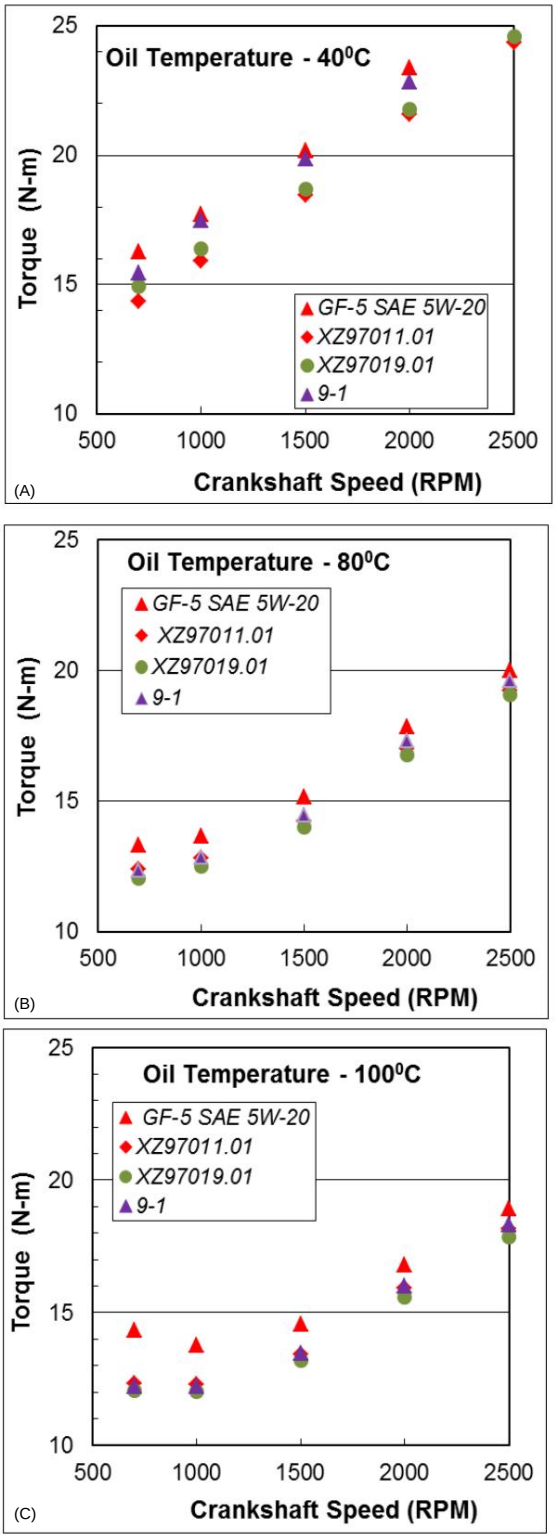

Abbildung 7. Motorreibung als Funktion der Drehzahl bei (a) 40 °C, (b) 80 °C und (c) 100 °C

Reibungsreduzierung im Vergleich zu GF-5 SAE 5W-20 Öl. Bei 700 U/min zeigte XZ97019.01 eine Reibungsreduzierung von 10,9 % im Vergleich zu GF-5 SAE 5W-20-Öl. Es konnte kein signifikanter Reibungsunterschied beobachtet werden zwischen PAG-Ölen, bis die Öltemperatur auf 40 °C gesunken ist. Tisch 3 (Seite 10) zeigt die prozentuale Reibungsreduzierung von PAG-Ölen gegenüber GF-5 SAE 5W-20.

bei 100°C. PAG-Öl 15-1 zeigte im Vergleich dazu die stärkste Reibungsreduzierung Geschwindigkeitsbereich untersucht. PAG-Öl 14-2 mit einer Hochtemperatur-Hochscherviskosität von 2,4 mPa·s bei 150 °C zeigte einen deutlichen Anstieg der Reibung bei 800 U/min, was auf einen Übergang vom hydrodynamischen zum gemischten Schmiersystem hindeutet

Machine Translated by Google

Sequenz-VID-Tests

Tabelle 4 (Seite 10) zeigt Sequence VID-Kraftstoffverbrauchsdaten für PAG-Öl XZ97011.01 und PAG-Öl XZ97019.01 sowie Referenzöl 1010

im Vergleich zu den Mindestanforderungen von SAE 5W-30. Beide PAG-Öle zeigten ermutigende Ergebnisse und zeigten keinen Rückgang der Kraftstoffeffizienz mit zunehmender Alterung. PAG-Öl XZ97019.01 zeigte bessere Kraftstoffverbrauchsvorteile als PAG-Öl XZ97011.01, wahrscheinlich aufgrund seines niedrigeren HTHS. Gemäß der Viskositätsklassifizierung SAE J300 können beide PAG-Öle als SAE 12-Öle betrachtet werden, für die noch keine Anforderungen an die Kraftstoffeffizienz festgelegt wurden. Eine weitere Analyse der Datenaufschlüsselung ergab Verbesserungen bei FEI 1 und FEI 2 für PAG-Öl XZ97019.01 und PAG-Öl XZ97011.01 in Stufe 2 und Stufe 5 (beide hydrodynamisches Schmiersystem). Die Tests wurden in der Reihenfolge PAG-Öl XZ97019.01, gefolgt von Referenzöl 1010 und anschließend PAG-Öl XZ97011.01 durchgeführt. Am Ende des Tests mit PAG-Öl XZ97011.01 wurde festgestellt, dass die Oberge-Filter verstopft waren. Es wurde angenommen, dass dies auf die Wechselwirkung von Reinigungsmittelresten aus früheren Tests mit Referenzöl 1010 und PAG-Öl XZ97011.01 zurückzuführen ist, was zur Bildung einer gelartigen Substanz führte.

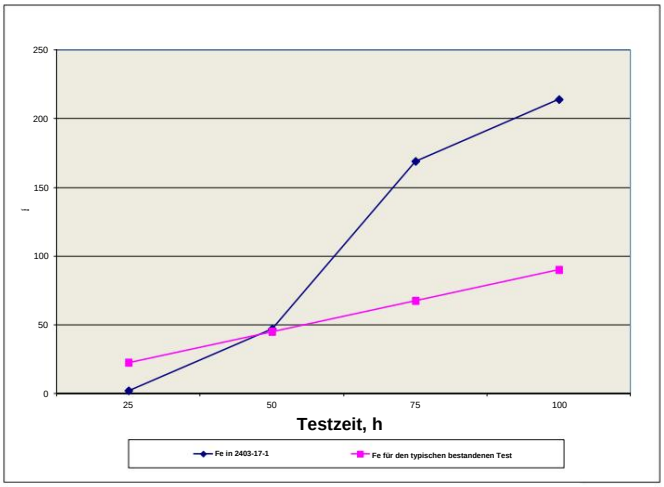

Abbildung 8: Eisenanstieg im Zeitverlauf für 17-1

Sequenz-IVA-Test

Ein Sequence-IVA-Test wurde mit PAG-Öl 17-1 durchgeführt, da dieses Öl in motorischen Ventiltriebstests eine ähnliche Verschleißleistung wie GF-5 SAE 5W-20-Öl zeigte (hier nicht berichtet). Der durchschnittliche Nockenwellenverschleiß wurde mit 1037,36 ÿm angegeben, was deutlich über dem in der GF-5-Spezifikation zulässigen Höchstwert von 90 ÿm lag. Zusätzliche Nockenwellenmessungen, Tabelle 5, zeigen, dass der Verschleiß sowohl an den Nocken der Einlass- als auch der Auslassnockenwelle gleichermaßen stark war.

Tabelle 5. Zusätzliche Messungen des Nockenwellenverschleißes

Aufnahme Lappen	Maximum, ÿm	1259
	Durchschnitt, ÿm	1047
Auspuff Lappen	Maximum, ÿm	1155
	Durchschnitt, ÿm	1016
Nase	Maximum, ÿm	214
	Durchschnitt, ÿm	179

Im Verlauf des Tests wurden alle 25 Stunden Schmierstoffproben entnommen und auf Metallgehalt analysiert. Die Eisenanalyse der Proben mittels induktiv gekoppeltem Plasma (ICP) zeigte, dass der Eisengehalt von 17-1 in den ersten etwa 50 Stunden des Tests relativ niedrig war, nach den ersten 50 Stunden jedoch schnell anstieg. Nach 100 Stunden wurde in der Flüssigkeit etwa doppelt so viel Eisen gefunden wie in einem typischen vorbeiströmenden Schmiermittel, Bild 8. Die nach 50 Stunden in der Flüssigkeit gefundenen hohen Eisenwerte korrelieren eindeutig mit dem an der Nockenwelle gemessenen Verschleiß.

Die ICP-Analyse für Zink, Schwefel, Phosphor und Molybdän gibt einige Hinweise auf die Konzentration der Anti-Verschleiß- und Reibungsmodifikator-Additive während des Tests,

Abbildung 9. Die Elementkonzentrationen werden durch ihre Ausgangskonzentrationen normiert, wobei die Messungen in Massenanteile (Zn(t)) umgewandelt werden)/Zn(t=0)). Es ist klar, dass die Zink- und Molybdänkonzentration im Laufe des 100-Stunden-Tests gleichmäßig und ungefähr im gleichen Tempo abnahm, wohingegen die Phosphor- und Schwefelkonzentration viel langsamer abnahm. Angesichts der Tatsache, dass die einzigen Phosphor- und Schwefelquellen im 17-1 die Verschleißschutz- und Reibungsmodifikatoradditive waren, ist nicht sofort klar, wie es zu den unterschiedlichen Abbauraten kommen kann.

Nach 50 Stunden lagen die Zink- und Molybdänkonzentrationen bei <50 % ihrer Ausgangswerte, was mit steigenden Eisengehalten in der Flüssigkeit korrespondiert. Dies weist darauf hin, dass die Anti-Verschleiß-Additive vorhanden waren

nach ca. 50 Stunden erschöpft oder unter eine wirksame Konzentration abgesunken, was zu einem erhöhten Verschleiß der Nockenwelle führt.

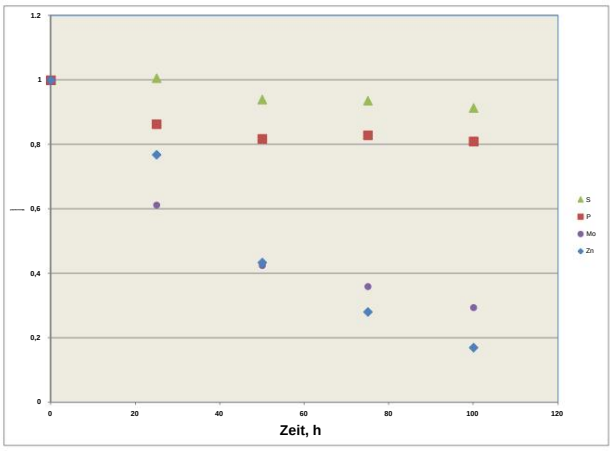

Abbildung 9: Additiverschöpfung im Laufe der Zeit für 17-1

Fotos eines Kipphebels mit einem optischen Mikroskop, Abbildung 10, zeigen Bereiche mit hohem Verschleiß. Das Foto links zeigt Bereiche mit möglicher Lochfraßbildung, das Foto rechts zeigt einen länglichen Bereich mit erhöhtem Verschleiß.

Die Verschleißergebnisse der Sequenz-IVA waren etwas überraschend, da das Fahrzeug nach 16.000 km mit PAG-Öl 15-1 einen geringen Verschleiß beobachtete und beim Ventiltrieb-Verschleißtest mit fahrzeuggealtertem PAG-Öl 15-1 ein geringer Verschleiß beobachtet wurde. PAG-Öl 17-1 war das einzige bewertete PAG-Öl, das ZDDP und einen Reibungsmodifikator auf Molybdänbasis enthielt. ZDDP wurde 17-1 zugesetzt, um seine Verschleißschutzleistung in den verschiedenen Prüfstandtests zu verbessern, die zum Screening der PAG-Öle vor Motortests verwendet wurden (24). 17-1 hatte in den Ventiltrieb-Verschleißtests ähnliche Verschleißeigenschaften wie 15-1 und die Basislinie SAE GF-5 5W-20. Es wurde beobachtet, dass die 40°C

Die EOT-Viskosität von 17-1 betrug 28,4 (mm2/s), was etwa 9 % niedriger war als die Ausgangsviskosität. Die EOT-Flüssigkeit enthielt etwa 7 % Kraftstoff, was zur Verringerung der Viskosität beitrug. Um festzustellen, ob die Kraftstoffverdünnung einen Einfluss auf die Verschleißschutzeigenschaften der Flüssigkeit durch Verringerung der Schmierfilmdicke hatte, wurden 4-Kugel-Verschleißnarben im frischen Zustand gemessen 17-1, EOT 17-1 und frischer 17-1 + 7 % Kraftstoff. Obwohl der 4-Kugel-Verschleißtest nicht mit der Sequenz IVA korreliert wurde, wurde angenommen, dass die 4-Kugel-Verschleißnarben einen Hinweis darauf geben könnten, ob der übermäßige Verschleiß auf eine verringerte Filmdicke zurückzuführen ist, die durch Kraftstoffverdünnung oder Erschöpfung des Antioxidans verursacht wurde -Verschleißzusätze. Die Verschleißnarben von frischem 17-1 und 17-1 Fresh + 7 %

Kraftstoffverdünnung (Tabelle 6) waren im Wesentlichen gleich, während die Verschleißnarben für EOT 17-1 deutlich größer waren, was ein weiterer Beweis ist

Machine Translated by Google

Dies stützt die Erschöpfung der Anti-Verschleiß-Additive als Schlüsselfaktor für den in diesem Test beobachteten übermäßigen Nockenwellenverschleiß.

Die Zusammensetzungsanalyse der Flüssigkeiten in Verbindung mit den Ergebnissen der 4-Kugel-Verschleißtests weist darauf hin, dass durch die Alterung des Öls in diesem Test das Anti-Verschleiß-Additiv aufgebraucht wird, was darauf hindeutet, dass ein robusteres Anti-Verschleiß-Additiv erforderlich ist.

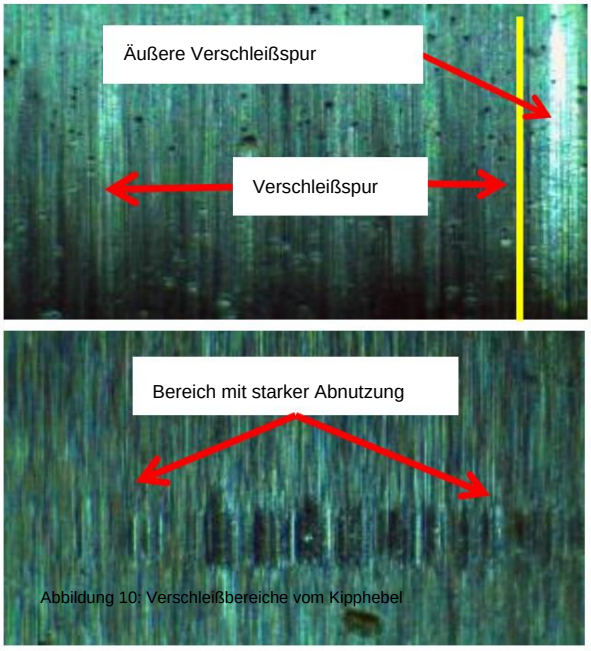

Abbildung 10: Verschleißbereiche vom Kipphebel

Abbildung 10: Verschleißbereiche vom Kipphebel

Tabelle 6: 4-Kugel-Verschleißnarben bei 17-1 40 kg Belastung für 1 Stunde bei 1200 U/min und 75 °C (ASTM D4172)

Flüssigkeit	4-Kugel-Verschleißnarbe, mm
17-1 Frisch	0,457
17-1 EOT	0,824
17-1 Frisch + 7 % Kraftstoffverdünnung	0,340

Sequenz-VG-Test

Ein Sequenz-VG-Test wurde mit PAG-Öl 17-1 durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 7 aufgeführt. PAG-Öl 17-1 zeigte gute Ergebnisse bei der Schlammbildung, jedoch nicht bei der Lackbildung. Keines der untersuchten PAG-Öle enthielt ein herkömmliches überbasisches Detergens. Überalkalisierte Reinigungsmittel mit hohem TBN waren in PAG-Flüssigkeiten unlöslich. Ein proprietärer Säurefänger wurde verwendet, um saure Materialien zu neutralisieren, die sich während des Gebrauchs in der Flüssigkeit bildeten (18,19). Prüfstandstests und einige Motortestdaten deuteten darauf hin, dass die nichtlackierenden Eigenschaften von PAG-Ölen ausreichen würden, um die Motorsauberkeit sicherzustellen (15,16).

Tabelle 7: Ergebnisse des Sequenz-VG-Tests

Parameter	17-1 GF-5-Grenzwerte	
Durchschnittlicher Motorschlamm, Vorzüge	8,76 8,0 Min	
Ventildeckelschlamm, Verdienste	9,32 8,3 Min	
Durchschnittlicher Motorlack, Vorzüge	8.19	8,9 Min
Durchschnittlicher Kolbenschaftlack, Verdienste	5.17	7,5 Min
Ölsiebschlamm, % Fläche	4,96	15 max
Anzahl der Hot-Stuck-Ringe	0	Keiner

Fahrgestell-Rollprüfstandstest

Fahrgestell-Rollprüfstandstests wurden mit PAG-Öl 15-1 durchgeführt, das im Motortest die stärkste Reibungsreduzierung zeigte. Die Tests wurden zunächst mit GF-5 SAE 5W-20-Öl und anschließend mit PAG-Öl 15-1 durchgeführt.
Einige der physikalischen Eigenschaften gealterter Öle sind in Tabelle 8 aufgeführt. Abbildung 11a zeigt Kraftstoffverbrauchsdaten für die beiden Öle nach 800 km im FTP-75-Stadtzyklus. Die Balken stellen ein 95 %-Konfidenzintervall dar.
Dort

Tabelle 8: Physikalische Eigenschaften von Ölen aus Chassis-Rollprüfstandstests

Eigenschaften	0 km 800 km		8.000 km	16.100 km
GF-5 SAE 5W-20 Öl				
Viskosität bei 40 °C, mm2/s	50,2	41,3 42,45	40,7	
Viskosität bei 100 °C, mm2/s 8,5		7.6	7.6	7.4
Gesamtsäurezahl, mg 2,31 KOH/g		1,78	2,85	2,95
Gesamtbasenzahl, mg KOH/g	7.05	7.29	1,85	4,77
Kraftstoffverdünnung,	0	2.1	1.7	2.5
Gew.-% Wassergehalt,	0,05	0,07	0,11	0,29
Gew.-% Fe, ppm	<1	6	11	17
15-1				
Viskosität bei 40 °C, mm2/s	20.3		21,91 22,93	
Viskosität bei 100 °C, mm2/s	5.5		5.51	5,73
Gesamtsäurezahl, mg KOH/g	0,1		1.04	2.28
Fe, ppm	Nicht nachweisbar			

Es wurde eine signifikante Variabilität von Test zu Test beobachtet. Die Daten wurden für jede Öl- und Antriebszykluskombination aus 3 bis 5 aufeinanderfolgenden Läufen mit einem Variationskoeffizienten (COV) < 0,5 % und FTP-gewichteten EER-Werten ÿ 1,5 % ausgewählt. Der Durchschnitt und die Konfidenzintervalle der Läufe, die diese Kriterien erfüllen, wurden angegeben.

PAG-Öl 15-1 zeigte eine Verbesserung des Kraftstoffverbrauchs um 1 %. Da Stadtzyklen aus drei Phasen bestehen, wurde der Kraftstoffverbrauchsbeitrag jeder Phase untersucht, um zu verstehen, welche Phase die dominierende Rolle spielt.
In Phase 1 der Stadtzyklen, als das Fahrzeug bei Umgebungstemperatur startete, zeigte PAG-Öl 15-1 einen Kraftstoffverbrauchsvorteil von 2,1 % gegenüber GF-5 SAE 5W-20-Öl, wie in Abbildung 11b dargestellt. Dies hängt möglicherweise mit der geringeren Viskosität des PAG-Öls 15-1 im Vergleich zum GF-5 SAE 5W-20-Öl zusammen.
In anderen Phasen des Stadtzyklus zeigte sich kein statistischer Unterschied zwischen den beiden Ölen. PAG-Öl 15-1 bot in Autobahnzyklen und den kombinierten Zyklen (Stadt und Autobahn) keine Vorteile gegenüber GF-5 SAE 5W-20-Öl.
Nach 8.000 km und 16.100 km konnten keine Kraftstoffverbrauchsvorteile festgestellt werden. Die Analyse von PAG-Öl 15-1-Proben bei 8.000 und 16.100 km Meilen ergab, dass das Antioxidanspaket nach 8.000 km im Wesentlichen verbraucht war, was durch die TAN von mehr als 1 mg KOH/g belegt wurde, Tabelle 10. Erschöpfung des Antioxidanspakets würde zu dem beobachteten erhöhten Ölverbrauch führen. Die Analyse des Altöls speziell auf Antioxidantien ergab, dass nach 8.000 km etwa 90 % und nach 16.100 km tatsächlich alles verbraucht waren.

Machine Translated by Google

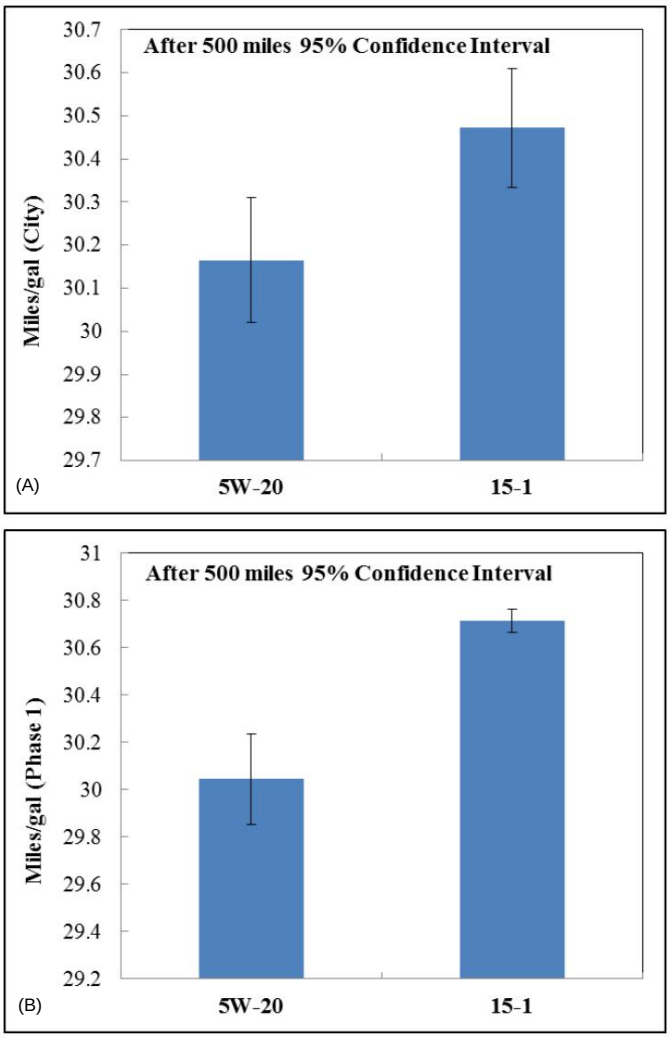

Abbildung 11: Verbesserung des Kraftstoffverbrauchs von PAG-Öl 15-1 gegenüber GF-5 SAE 5W-20-Öl in (a) FTP-75-Stadtfahrrädern und (b) Phase 1

Schlussfolgerungen

In Reibungstests an Kolbenringen an motorisierten Einzylindern zeigten PAG-Öle im Vergleich zu GF-5 SAE 5W-20-Öl je nach Geschwindigkeit und Öltemperatur eine Reibungsreduzierung um fast fünfzig Prozent. Die Reibungsreduzierung scheint mit der Chemie der PAG-Grundöle zusammenzuhängen und nicht auf deren niedrigere Viskosität zurückzuführen zu sein.

Bei Reibungstests an Motormotoren zeigte das PAG-Öl

Temperatur.

Bei leicht gealtertem PAG-Öl (15-1) (800 km Meilen) zeigten Fahrgestell-Rollprüfstandstests einen Kraftstoffverbrauchsvorteil von 1 % gegenüber GF-5 SAE 5W-20-Öl in EPA-Stadtzyklen und nicht in Autobahnzyklen. Der Vorteil verschwand mit der Ölalterung, was vermutlich auf eine starke Verschlechterung des Öls infolge des schnellen Verbrauchs des Additivpakets zurückzuführen ist.

Motorprüfstandstests zeigten Probleme mit Lackbildung (im ASTM Sequence VG-Test) und Verschleiß (im ASTM Sequence IVA-Test). Das Verschleißproblem hängt mit der Erschöpfung des Anti-Verschleiß-Additivs zusammen.

Verweise

1. Mufti, RA, und Priest, M., (2009) „Auswirkungen der Motorbetriebsbedingungen und der Schmiermittelrheologie auf die Verlustverteilung in einem Verbrennungsmotor“, Journal of Tribology, 131, Nr. 4, S. 1311–1325 .

2. Damen A., Broom, N, Hartley, R., Riley, M., (2005) „Evaluation of SAE 0W-20 GF-4 Prototyp Formula in Severity Taxi Fleet Service“, SAE Paper Nr. 2005-01- 3818.
3. Koyamaishi, N., Suzuki, T., Kamioka, R., Murakami, M., Yamashita, M., Ogawa, T., Komiya, K. und Moritani, H., (2007) „Studie zum zukünftigen Motoröl“, SAE Paper Nr. 2007-01-1977.
4. Manni, M. und Floriox, S., „Eine experimentelle Bewertung der Auswirkungen von Motorölen mit extrem niedriger Viskosität auf Kraftstoffverbrauch und CO2-Emissionen“, SAE-Papier Nr. 2013-01-2566.
5. Ushioda, N., Miller, TW, Sims, CB, Parsons, G. und Sztenderowicz, M., „Auswirkung von niedrigviskosen Pkw-Motorölen auf Kraftstoffeffizienz-Motortests“, SAE-Papier Nr. 2013-01-2606.
6. B. Cockbill und J. Bennet, (2000) „Die Auswirkungen der Kurbelgehäuseölviskosität auf die Motorreibung bei niedrigen Temperaturen“, SAE-Papier Nr. 2000-01-2052.
7. Nagashima, T., Saka, T., Tanaka, H., Satoh, T., Yaguchi, A., Tamoto, Y., (1995) „Forschung zu reibungsarmen Eigenschaften von Erdölgrundstoffen mit hohem Viskositätsindex und Entwicklung eines verbesserten Motoröls“, SAE-Papier Nr. 951036.
8. Lauterwasser, F., Bartels, T., Smolenski, D. und Seemann, M., „Megatrend Kraftstoffeffizienz: Wie man die Viskosität mit VI-Verbesserern optimiert“, SAE Technical Paper 2016-28-0030, 2016.
9. Stipanovis, AJ und Schoomaker, JP, (1993) „The Impact of Organomolybdenum Compounds on the Friction Characteristics of Crankcase Engine Oils“, SAE-Papier Nr. 932779.
10. Hoshino, K., Kawai, H. und Akiyama, K., (1998) „Fuel Effizienz von SAE 5W-20 reibungsmodifiziertem Benzinmotorenöl“, SAE Paper Nr. 982506, 1998.
11. Johnson, MD, Jensen, RK, Clausing, EM, Schriewer, K., Korcek, S., (1995) „Auswirkungen der Alterung auf die Reibungseigenschaften kraftstoffeffizienter Motoröle“, SAE-Papier Nr. 952532.
12. Hoshino, K., Kawai, H. und Akiyama, K., (1998) „Kraftstoffeffizienz von SAE 5W-20 reibungsmodifiziertem Benzinmotoröl“, SAE-Papier Nr. 982506.

13. Yoshida, S. und Naitoh, Y., (2008) „Analyse des Ablagerungsbildungsmechanismus von TEOST 33C durch Motoröl enthaltend MoDTC“, SAE-Papiernummer 2008-01-2480.
14. Fujimoto, K., Yamashita, M., Kaneko, T., Hirano S., Ito, Y, Nemoto, S. und Onodera, K., „Entwicklung des kraftstoffsparenden Benzinmotorenöls ILSAC GF-5 0W-20“. ”, SAE-Papiernummer 2012-01-1614.

15. Woydt, M., (2007) „No/Low SAP und alternative Motorölentwicklung und -tests“, Journal of ASTM International, vol. 4(10).

16. Merryweather, S., Zweifel, D., Woydt, M., (2012) „Kraftstoffverbrauch durch Motoröle auf Basis von Polyalkylenglykolen“, Proc. 18. Int. Slg. Tribologie, TAE Esslingen, 10.-12.
17. Fitamen, E, Tiquet, L. und Woydt, M., (2007) „Validierung der oxidativen Stabilität von Werksfüll- und alternativen Motorölen unter Verwendung der eisenkatalysierten Oxidation“, Journal of ASTM International, vol. 4(8).

18. Meertens, M., Van Voorst, R., Zweifel, D., „Schmierstoffzusammensetzungen aus Polylkylenglykoldiether mit geringer Noack-Volatilität“, PTO WO2012US28760A 2012-03-12.

Machine Translated by Google

19. Thoen, J. A., Woydt, M., Zweifel, D., Zweifel, D. F., “Polyalkylene glycol lubricant composition”, USPTO US8592357B2.

20. Benchaita, MT und Lockwood, FE, „Zuverlässiges Modell der schmiermittelbezogenen Reibung in Verbrennungsmotoren“, Lubrication Science, 5-4 (1993), S. 259-281.

21. ASTM-Methode D7589 „Standardtestmethode zur Messung der Auswirkungen von Automobilmotorenölen auf den Kraftstoffverbrauch von Personenkraftwagen und leichten Nutzfahrzeugen in Sequenz-VID-Funkenzündungsmotoren“.

22. Sagawa, T., Nakamura, Buscher, W. und Bendele, LM, „Development of the Sequence IVA Valve Train Wear Lubricant Test: Part 1“, SAE Paper Nr. 2000-01-1820.

23. API-Veröffentlichung 1509 Anhang E

24. Gangopadhyay, Arup, „Development Of Modified Pag (Polyalkylene Glycol) High Vi High Fuel Efficient Lubricant For LDV Applications“, US Department of Energy Award DE-EE0005388 1. Oktober 2011 – 30. September 2015

Kontaktinformationen

Arup Gangopadhyay, agangopa@ford.com

Danksagungen

Die Autoren danken dem Department of Energy für die Finanzierung der Arbeit (DE-EE0005388). Die Autoren danken außerdem Jeff Gover, Michael Loos und Richard Spankie für ihre Hilfe bei Tests zum Kraftstoffverbrauch von Fahrzeugen und Richard Rodriguez bei Tests zur Reibung von Motormotoren.

Haftungsausschluss: „Dieser Bericht wurde als Bericht über eine von einer Behörde der US-Regierung gesponserte Arbeit erstellt. Weder die Regierung der Vereinigten Staaten noch eine ihrer Behörden oder ihre Mitarbeiter geben eine Garantie, weder ausdrücklich noch stillschweigend, noch übernehmen sie eine rechtliche Haftung oder Verantwortung für die Richtigkeit, Vollständigkeit oder Nützlichkeit der offengelegten Informationen, Geräte, Produkte oder Prozesse oder versichert, dass seine Verwendung keine privaten Rechte verletzen würde. Verweise hierin auf ein bestimmtes kommerzielles Produkt, Verfahren oder eine bestimmte Dienstleistung durch den Handelsnamen, die Marke, den Hersteller oder auf andere Weise stellen nicht notwendigerweise eine Billigung, Empfehlung oder Begünstigung durch die Regierung der Vereinigten Staaten oder eine ihrer Behörden dar oder implizieren diese. Die hier geäußerten Ansichten und Meinungen der Autoren geben nicht unbedingt die Ansichten der Regierung der Vereinigten Staaten oder einer ihrer Behörden wieder.

Definitionen und Abkürzungen

ASTM American Society for Testing and Materials
EPA-Umweltschutzbehörde
FTP Bundestestverfahren
HWFET Highway Fuel Economy-Test
NEFZ Neue europäische Fahrzyklen
PAG Polyalkylenglykol
SAE Society of Automotive Engineers
SRC Standard-Straßenfahrrad

Machine Translated by Google

Tabelle 1. Zur Untersuchung in Betracht gezogene Schmierstoffe

Beschreibung des Grundöls	Flüssigkeits-ID	Basisflüssigkeit bzw Formuliert	HTHS KV 100 bei 150 °C mPa ·s1	C mm2/s	KV 40 C mm2/s	WIR	Noack2 Gew.-%
Mit Alkohol 1 initiiertes Copolymer aus Ethylenoxid und Propylenoxid – Verkappt	XZ97011.00	Basisflüssigkeit	2,66	5,55	20.26	239	
	XZ97011.01	Formuliert	2,83	5.6	22.49	233	10.1
	15-1	Formuliert	2,68	5.5	20.34	232	
	14-2	Formuliert	2.4	5.06	18.36	229	
	27-2	Formuliert	2.8	5.71	21.49		
Alkohol 1 initiiertes Homopolymer von Propylenoxid - Gedeckelt	XZ97019.00	Basisflüssigkeit	2.3	5.21	19.4	223	
	XZ97019.01	Formuliert	2.37	5.1	20.01	202	7.4
	24-1	Basisflüssigkeit	2,63	5,99	23.3	223	
	15-4	Formuliert	2,66	6.06	25.08	204	
Alkohol 2 initiiertes Homopolymer von Propylenoxid - Gedeckelt	XZ97038.01	Formuliert	2.28	5.19	19.8	214	
	24-2	Basisflüssigkeit	2.61	6.02	23.4	224	
	5-2	Formuliert	2.6	6.06	24.87	207	
Alkohol 1 initiiertes Homopolymer von Propylenoxid - monol	22-2	Basisflüssigkeit	3,57	8.54	42.15	186	
	14-1	Formuliert	3,58	8,79	46,57	171	3.9
	9-1	Formuliert	2,56	5,95	29.14	155	
	22-1	Formuliert	3,58	8,79	46,57	171	
	17-1	Formuliert	2.6	6.27	31.29	156	
Mit Alkohol 2 initiiertes Copolymer aus Propylenoxid und Butylenoxid – Monol	8-1	Formuliert	2.6	6.62	35,55	144	
Mineralöl der Gruppe II	Kommerzielles GF-5 5W-20	Formuliert	2.6	8.6	48	164	
	Kommerzielles GF-5 5W-20 Grundöl	Basis Öl					

[1] ASTM D4683 Standardtestmethode zur Messung der Viskosität von neuen und gebrauchten Motorölen bei hoher Scherrate und hoher Temperatur durch Tapered Lagersimulator-Viskosimeter bei 150 °C

2ASTM D5800 Standardtestmethode für Verdunstungsverlust von Schmierölen nach der Noack-Methode

Tabelle 2. ASTM Sequence VID-Testbedingungen

Bühne	Geschwindigkeit (U/min)	Drehmoment, Nm	Öltemperatur, C	Temperatur des Kühlmittelschmiersystems, C		Bühne Gewichtung, %
1	2000	105	115	109	Gemischt	30
2	2000	105	65	65	Hydrodynamisch	3.2
3	1500	105	115	109	Gemischt	31
4	695	20	115	109	Grenze	17.4
5	695	20	35	35	Hydrodynamisch	1.1
6	695	40	115	109	Grenze	17.2

Machine Translated by Google

Tabelle 3. Prozentuale Reibungsreduzierung von PAG-Ölen gegenüber GF-5 SAE 5W-20-Öl

Geschwindigkeit, U/min	17-1	15-4	15-1	8-1	14-2	XZ97011.01	XZ97019.01	8-1
700						8.9	10.9	9.7
800	5.7	7.1	8.3	0,5	-15.9			
1000	4.5	6.4	7.6	0,6	5.4	7.5	9.6	8.2
1500	2.7	5.1	6.9	0,7	5.3	5,0	6.8	4.7
2000	1.8	4.5	5.7	0,7	4.6	3.4	5.3	2.9
2500	1.3	3.8	5.5	0,9	4.5	2.7	4.4	1.7
3000	0,9	3.3	4.4	0	3.6	1.2	3,0	0,3
3500	0,8	2.7	3.6	0,1	2.9	1	3,0	0,6
4000	0,7	2.3	3	0,3	2.6	0,1	2.2	-0,1
4500	0,6	1.8	2.5	-0,2	1.9	-1	1.8	-0,9
5000	0,4	1.3	2	-0,5	1.3	-2	1.9	-1.1

Tabelle 4. Ergebnisse des Sequenz-VID-Kraftstoffverbrauchs

Öle	Vis. bei 100 °C, mm2 /s	HTHS bei 150 °C, mPa.s 5,3 2,4	FEI-SUMME	FEI 2
XZ97019.01			3,2 %	1,8 %
XZ97011.01	5.9	2,85	2,5 %	1,4 %
Referenzöl 1010		2.6	2,7 %	1,2 %
			GF-5-Grenzwerte	
xW-20	6,9 - <9,3	2.6	2,6 %	1,2 %
xW-30	9,3 - <12,5	2.9	1,9 %	0,9 %