

アルキルジフェニルエーテル油の転がり疲れ寿命試験

Rolling contact fatigue life test with Alkyldiphenyl ether oil

九大（正）*田中 宏昌 (株)MORESCO（正）畑 雅幸 (株)MORESCO（正）眞野 和人

九大（正）杉村 丈一

Hiroyoshi Tanaka*, Masayuki Hata **, Kazuhito Mano **, Joichi Sugimura*

*Kyushu University, **MORESCO Corporation

1. はじめに

アルキルジフェニルエーテル合成油は、高温領域での潤滑油およびグリースの基油として幅広く使用されている。また、転がり軸受の水素起因早期はく離現象への対策として、特定のはく離防止剤を処方して耐水素脆化潤滑グリースとして用いられる。本稿では、アルキルジフェニルエーテル合成油の物理特性、および化学的安定性が、転動疲労はく離寿命に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。比較対象としてポリ α オレフィンを用い、アルキルジフェニルエーテル合成油の疲労寿命への影響を評価した。潤滑油の酸化劣化の影響、その他の雰囲気依存する現象をとらえるため雰囲気気体を制御した。水素脆性的な軸受寿命低下を評価するため、表面分析その他の分析結果と照らし合わせて疲労損傷プロセスの理解を試みた。

2. 実験

試験装置はスラスト軸受タイプの転がり試験機を用いた。ディスク試験片は市販のスラスト玉軸受#51107 を使用し、ボール試験片は、同軸受と同じ規格の軸受球を使用した。トラック直径は 43mm、ボール直径は 6.35mm である。潤滑油をボール試験片の半分が浸るように供給し、試験中は再供給しない。用いた潤滑油は無添加アルキルジフェニルエーテル ADE100、無添加ポリ α オレフィン PAO100 の 2 種で、ほぼ同等の 40℃粘度、100℃粘度を持つ(Table 2 参照)。試験中は試験ガスを 100ml/min 吹き込み続けることで試験雰囲気純度を保持した。試験条件を Table 1 に示す。試験条件に従い、423K における PAO100 の物性から得られる油膜パラメータ Λ は 2 程度であり、ADE100 も同等と仮定した。寿命は試験軸受表面に一つフレーキング損傷が生じるまでとした。試験後は、速やかに昇温脱離分析(TDS)を行い、水素脆性的寿命低下に関係が深いと考えられる鋼中水素濃度を測定した。

3. 実験結果

3.1 疲労寿命に及ぼす雰囲気の影響

Figure 2 に 150℃空気中における 2 種の供試油を用いた疲労寿命試験の結果をワイブルプロットで示す。高温空気中においては、ADE100 の方が PAO100 に比べて有意に寿命が高いことが分かる。一般的にアルキルジフェニルエーテルは酸化安定性が高い油と位置付けられており、2 種の供試油の寿命差の原因と考えられる。空気中の試験終了後供試油の粘度測定や IR 測定を行った。Table 2 によると PAO100 が顕著に粘度増加しており、また IR 測定によってカルボニルの生成が確認されたため、高温空気中における寿命差の発現は 2 種の油の高温酸化安定性の差によるものと考えられる。

120℃水素中の試験においては、ほとんど供試油による寿命差は現れなかった。TDS による鋼への水素侵入を水素濃度で確認すると、空気中の試験に比べてボール試験片で水素濃度が顕著に増加していることが分かり(Fig. 3)、ボール試験片の水素脆性的な強度低下が懸念される。ただし、供試油による寿命差がないのと同様、供試油による水素濃度の差も現れておらず、アルキルジフェニルエーテルのポリ α オレ

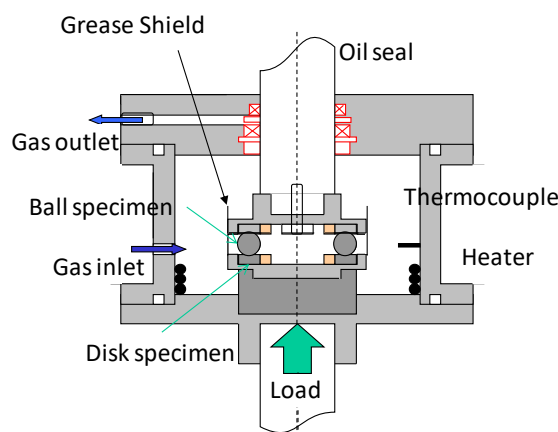


Fig. 1 Schematic illustration of experimental part

Table 1 Test conditions

Material	SUJ2
Maximum Hertzian Pressure	4.8GPa
Rotational speed (Sliding speed)	1500rpm (3.4m/s)
Experimental environment	Air, N ₂ , H ₂
Temperature	393K, 423K

Table 2 Viscosities of tested oils in Air

Viscosity, mm ² /s	ADE100		PAO100	
	Intact	Tested	Intact	Tested
40C	104.4	115.4	108	134.4
100C	13.4	14.5	15.2	16.2
150C	5.2	5.6	6.4	6.2

フィンに対する優位性を水素環境下で示す結果は得られなかった。

室素中 150℃の試験においては、ADE100 の方が PAO100 に比べわずかに長寿命であることが示された。一方で試験後の鋼中水素濃度には 2 種の供試油において有意な差があるとはいえない。

3.2 転がり試験における供試油の量の影響

転がり接触における潤滑油の攪拌や、蒸発などの影響を考え、潤滑油の供給レベルをボール試験片の高さのちょうど半分であったものを上部回転ディスクすれすれの高さに上昇させた。このことにより、潤滑状態の改善や軸受球の雰囲気ガスとの接触機会の減少などが期待される。転がり疲労寿命の結果を Fig. 4 に示す。潤滑油の供給レベルが増加すると寿命が著しく改善していること、特に ADE100 について顕著であることが示された。鋼の水素濃度を Fig. 5 に示す。あきらかにボール試験片への水素侵入が抑制されていることが分かる。また、細かく寿命の結果を見ると、球の中ごろの油供給においては油によらず 4/5 の損傷がボール試験片に生じているのに対して、高いレベルでは 1/5 である。ボール試験片にフレーキング損傷が生じる時は必ずボール試験片への水素侵入が顕著で、そのことが軸受の低寿命化につながっていると考えられ、潤滑状態の改善が水素脆性的疲労損傷を抑制することが分かった。

3.3 油膜厚さ計測

わずかな潤滑状態の改善が疲労寿命の差に顕著に表れる事実を踏まえ、原因となりうる因子を精査した。油膜厚さを予測するには粘度圧力係数 α が与えられる必要があるが、ADE100 の α は未知であったため、膜厚比 Λ 算出の際、 α の値を PAO100 とかわらないと仮定していた。本節においてはボールオンディスク型転がり試験機摩擦を用いて実際に 2 種の油の油膜厚さ測定を行った。転がり速度 2~3.4m/s、油温 30~80℃、Hertz 面圧 1GPa の純転がり接触における膜厚測定によると ADE100 の中心油膜厚さは、PAO100 に比べて 30℃の場合 19%、50℃の場合 9.3%、80℃の場合 9.0%程度大きくなることが確かめられた。膜厚が大きい分、ADE100 の方が直接接触を回避し、表面の突起間干渉による応力集中を緩和したことが寿命延長につながったと考えられる。

4. アルキルジフェニルエーテルの潤滑特性の優位性

転がり疲労に及ぼす因子として、空気中では油の酸化劣化を想定した。また、油の酸化劣化以外の影響因子を抽出する目的で水素中、窒素中の試験を行い、そこで生じる水素の鋼への侵入を水素脆性的強度低下の指標ととらえた。水素脆性的強度低下には、1. 水素の発生・鋼への侵入と、2. 粗さを持つ表面の突起間干渉が応力集中によるき裂発生・進展を促進するプロセスに分けることができる。本稿においては、1 のプロセスに差が現れなかったため、2 のプロセスに潤滑油起因の差異が生じたと考えることが妥当である。2 のプロセスに大きな影響を持つ因子のひとつとして、2 種の油において油膜厚さに差が生じた可能性を示し、突起間干渉を緩和したことがアルキルジフェニルエーテルの耐水素脆化性向上に寄与した可能性を示した。

5. おわりに

軸受鋼の転がり疲労は多くの因子が複合的に作用する現象であるため、軸受の損傷の原因を特定することは容易でない。本研究においては、影響因子を注意深く抽出することで、本実験条件のもとで疲労寿命に与える主たる原因を特定した。

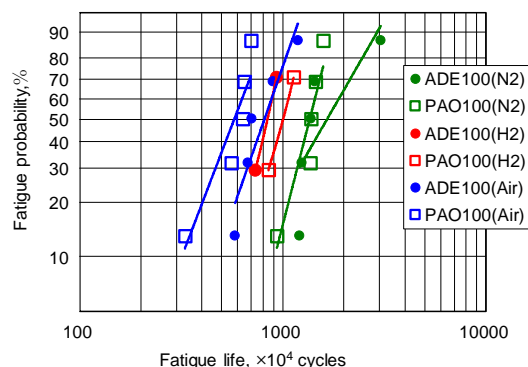


Fig. 2 Changes in fatigue life with environmental gas and lubricant

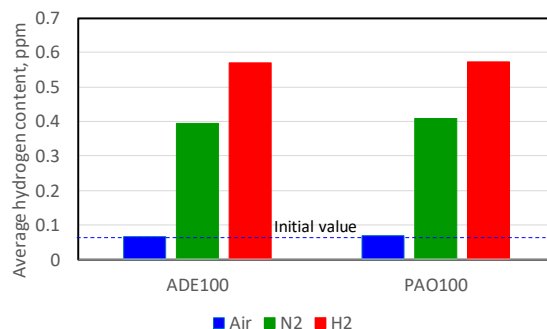


Fig. 3 Average concentrations of hydrogen in ball specimens

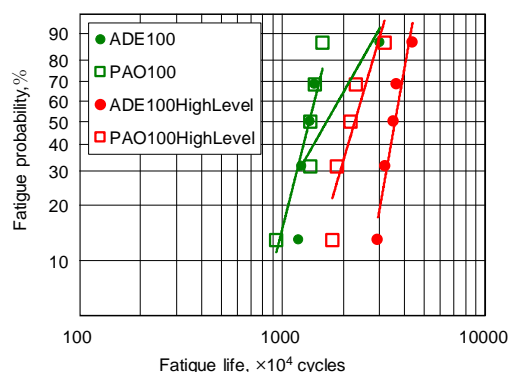


Fig. 4 Changes in fatigue life with oil level

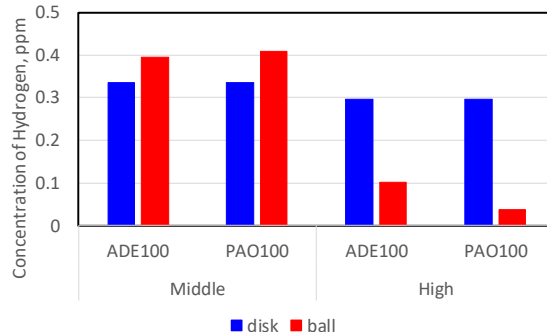


Fig. 5 Changes in hydrogen concentration with oil level