

円すいころ軸受における表面起点はく離の進展に関する実験的検討

Experimental Study on Evolution of Surface Initiated Flaking in Tapered Roller Bearings

鉄道総研（正）*高橋 研

Ken Takahashi

Railway Technical Research Institute

1. はじめに

円すいころ軸受の疲労寿命の計算方法は、Lundberg と Palmgren¹⁾の理論に基づき ISO281²⁾に規定されており、動定格荷重と動等価荷重の比から求められる。しかし、実際の機械では上記の寿命に比べて短い期間ではく離損傷が発生する可能性がある。これは、潤滑剤の汚損による早期の表面起点はく離が発生することや、それが内部すきまによって変化する転動体荷重分布の影響を受けるためである。ISO/TS16281³⁾では、軸受に内部すきまと傾きが付与された際の力と変位の静的な釣り合いから求められる転動体荷重の分布から動等価転動体荷重を計算し、修正軸受寿命を計算する方法が示されているが、この方法は理論的な計算によるものであり、実物の軸受の寿命試験により検証された研究は少ない。また、例えば種々の内部すきまと最大転動体荷重および寿命係数を調べた Oswald らの研究⁴⁾のような先行研究のほとんどは、数値解析によって軸受寿命や転動体荷重を評価しており、内部すきまが軸受寿命に及ぼす影響については、実験的に検証されていないのが現状である。そのため、円すいころ軸受の信頼性を確保するためには、軸受の内部すきまが表面起点はく離に与える影響を実験的に検証することが重要である。

そこで、本研究では円すいころ軸受を用いた回転試験（寿命試験）により、いくつかの内部すきまの条件下で、表面起点はく離の発生や進展に及ぼす影響について調べた。

2. 試験装置

Figure 1 に試験装置を示す。本装置は、主軸の端部に 2 個の試験軸受を背面合わせで取り付け、その間に内輪間座と外輪間座を挿入して、モータで回転させる構造である。試験軸受の内輪は約 $10\mu\text{m}$ の締めりばめで軸に圧入し、外輪は約 $10\mu\text{m}$ のすきまばめでハウジングに取り付けた。重錘に作用する重力は、てこ機構を介して試験荷重（ラジアル荷重）として試験軸受に作用する。ハウジングには圧電型加速度計を取り付け、軸受の振動加速度を測定した。試験軸受の潤滑は、ISO VG68 に準拠したタービン油による循環給油とした。

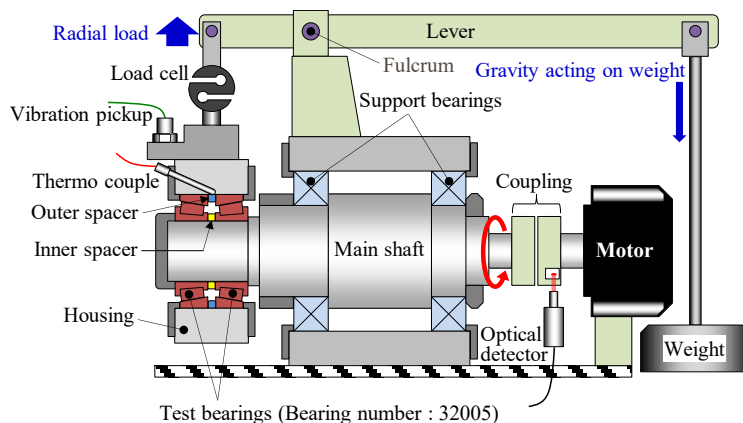


Fig. 1 Testing apparatus

3. 試験方法

試験軸受として呼び番号 32005 の円すいころ軸受（動定格荷重：27400N）を使用した。モータ側の軸受にははく離を誘発するために、外側軌道面にダイヤモンド圧子で 1470N の荷重を負荷して軸方向に 7 個のロックウェル圧痕を付与した。隣り合う圧痕間の距離は約 1mm である。Figure 2 に軌道面の圧痕の外観を示す。上述のモータ側軸受と圧痕のない軸端側軸受を組み合わせ、各圧痕の中心を結ぶ直線と負荷圈の中心が一致するように、Fig. 1 の試験装置に取り付けた。試験軸受には 7800N のラジアル荷重を負荷した。主軸の回転速度は 4000min^{-1} である。

寿命試験では、同一の外輪間座に対して幅寸法の異なる内輪間座を組み合わせることで、試験中のアキシアルすきまが $0.00\sim 0.04\text{mm}$ （中央値 0.02mm ）、 $0.07\sim 0.12\text{mm}$ （中央値 0.10mm ）、 $0.26\sim 0.33\text{mm}$ （中央値 0.30mm ）、および $0.45\sim 0.49\text{mm}$ （中央値 0.47mm ）の 4 集団となるようにした。これらの 4 集団それぞれについて、9 組の軸受で試験を行った。これ以降、アキシアルすきま A_a について各集団の中央値を各試験条件の代表値とする。

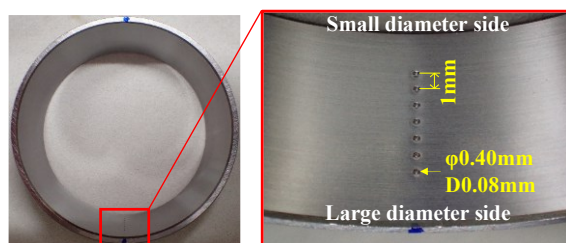


Fig. 2 Appearance of indents on outer raceway

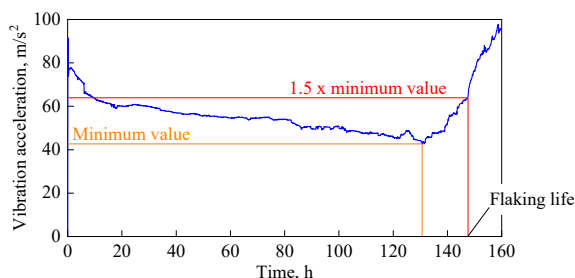


Fig. 3 Vibration acceleration of bearings

試験用軸受の振動加速度の変化の測定例を Fig. 3 に示す．初期には圧痕周辺の盛り上り部分をころが通過する衝撃により，比較的高い振動加速度が発生するが，盛り上り部分が摩耗すると振動加速度が減少する．その後，圧痕周辺ではく離の発生・進展により，再び振動加速度が増加する．本研究では，振動加速度が最小値の 1.5 倍を超えた時点ではく離発生とし，振動加速度が 100m/s^2 に達した時点で試験終了とした．

4. 試験結果および考察

4.1 はく離の状況

試験後のモータ側軸受の圧痕形成部の代表的な外観と形状を Fig. 4 に示す．なお，形状については触針式の表面荒さ計を用いて軸方向に 0.005mm ，円周方向に 0.05mm 刻みで高さ方向の変位を測定したうえで，軌道面の曲率の影響とクラウニング形状の影響を平面形状へ補正した．Figure 4 より，はく離が圧痕周囲の盛り上がり部分を起点に広がっていることがわかる．また，はく離部周辺の軌道面には，はく離片をかみ込んできたと考えられる微小な圧痕が多数確認される．

4.2 はく離寿命

軸受の回転開始からはく離発生までの時間をはく離寿命として，メジアンランク法に従ってワイブル解析を行った．はく離寿命のワイブルプロットを Fig. 5 に示す．図中の各直線はアキシャルすきま条件ごとのプロットについて最小二乗法により求めた回帰直線であり，推定母集団を示す．Figure 5 から寿命はアキシャルすきまの影響を明らかに受けており，アキシャルすきまが大きいほど寿命が短くなっていることがわかる．

4.3 はく離体積の検討

試験を実施したすべての軸受について，Fig. 4 に示した試験後の形状と試験前の形状の差分からはく離により軌道面から除去された軸受鋼の体積を求め，はく離発生から回転終了までの時間で整理したグラフを Fig. 6 に示す．はく離により除去された体積のばらつきは大きいものの，アキシャルすきま Δ_a が 0.02mm ， 0.10mm ，および 0.30mm のデータについては，概ねはく離発生から回転終了までの時間が長いほどはく離体積が大きくなる傾向が認められる．一方， Δ_a が 0.47mm の場合には，はく離発生から回転終了までの時間が短く，データのばらつきも大きいため，明確な傾向は認められない．また，アキシャルすきまの違いがはく離進展速度 (Figure 6 におけるデータの傾き) に与える影響は明瞭ではない．

5. おわりに

本研究により以下の知見を得た．

- (1) 回転開始からはく離発生までの時間は，アキシャルすきまが大きいほど短くなった．
- (2) アキシャルすきまの違いがはく離進展速度に与える影響は明瞭ではなかった．

文献

- 1) G. Lundberg & A. Palmgren: Dynamic Capacity of Rolling Bearings, Acta Polytech. Scand., Mech. Eng. Ser., 1, 3 (1947).
- 2) ISO, ISO 281:2007: Rolling Bearings – Dynamic load ratings and rating life, International Organization for Standardization, (2007).
- 3) ISO, ISO/TS 16281:2008: Rolling Bearings – Method for calculating the modified reference rating life for universally loaded bearings, International Organization for Standardization, (2008).
- 4) B. O. Fred, V. Z. Erwin, & V. P. Joseph: Effect of Internal Clearance on Load Distribution and Life of Radially Loaded Ball and Roller Bearings, Tribology Transactions, 55, 2 (2012) 245-265.

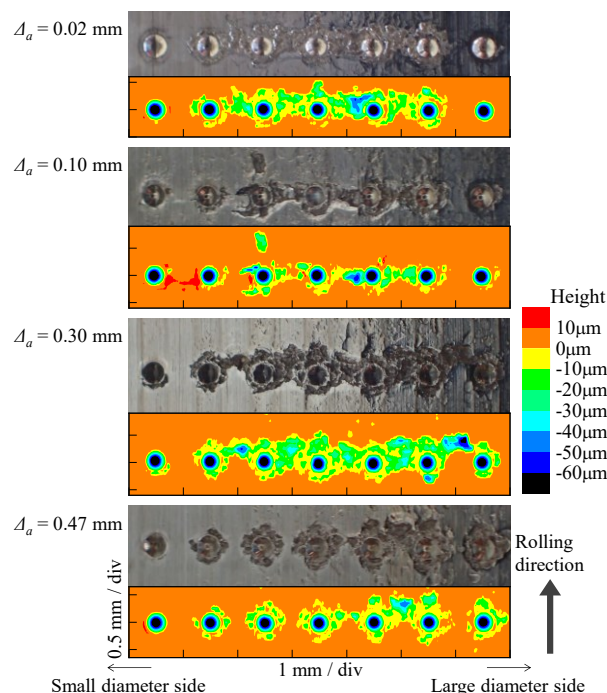


Fig. 4 Appearances and configurations around the dented area after the test

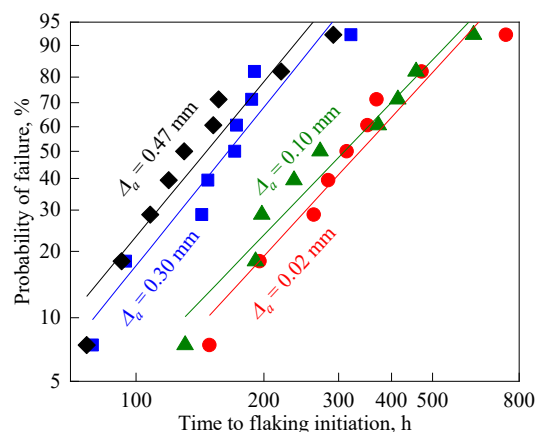


Fig. 5 Weibull plots for life test results

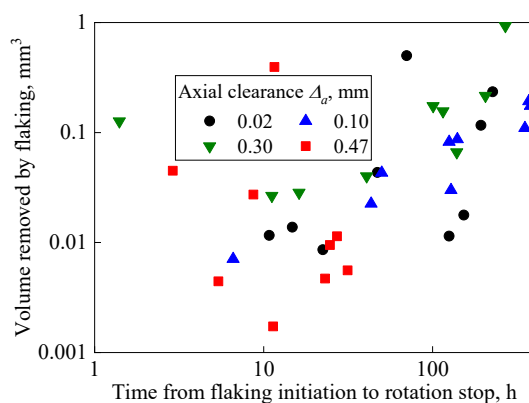


Fig. 6 Rate of progress of flaking