渦流法と超音波法の併用による玉軸受の潤滑評価

システム工学群

医工先進検査システム研究室 1200179 吉田蒼樹

した.用いた超音波探触子の中心周波数は 5MHz, 渦流探触 子の励起周波数は 10kHz である.なお複合探触子は超音波 と渦流の二つの探触子を同時に使用した場合でも互いの測 定に影響を及ぼさないことが確認されている.⁽¹⁾⁽²⁾



Fig.2 Experimental device

4. 複合探触子の基礎特性

図3に複合探触子による観測波形の例を示す。回転速度は N=300rpm,荷重はW=4kNであり,探触子直下に玉が接近 して平均膜厚が薄くなると,Hと \angle Vは共に減少する。同図 右側には 0.5kN での結果も併せて示してあるが,荷重に対 する感度は渦流法の方が高い。

図 4 は例えば図 3 の各波形変動の最大点(谷底)の⊿ VmやHmと荷重 W の関係であり、いずれも、荷重の増大にほ ぼ比例して減少するため、同図は荷重推定時の較正曲線と して利用できる.

図5には,渦流法での励起周波数fと出力電圧差∠Vmの関係を,荷重Wをパラメーターにとり示している.それらの関係は全体として,山なりの形状を示すが,これは低周波域では周波数の増加に伴い誘起される渦電流の強度が増大する一方で,高周波数ほど渦電流の浸透深さが減少して,軸受外輪内面への漏れ磁束が弱くなるためである.ここでは,最大感度を示すf=20kHzより感度は劣るが,観測波形に含まれるノイズが小さな,f=10kHzを励起周波数に選んだ.



Fig.3 Observed waveform using composite probe

1. 諸言

各種機械装置に用いられる転がり軸受の潤滑面は、低コス ト化・高効率化のために、微量な低粘度油により潤滑される 傾向にある.しかし、運転条件によっては金属接触や焼き付 きの危険性もある.そのような状況下での、転がり軸受の安 全な運転に向けた寿命予測や潤滑状態の把握には、油膜厚さ や潤滑油の供給状態のその場観測に加え、異物の噛み込み の検出や軸受荷重の定量測定が重要になってくる.

本研究の目的は,超音波法と渦流法の二つの測定法を併用 して,転がり軸受における潤滑状態の評価を行うことにあ る.ここでは,超音波・渦流複合探触子を用い,荷重測定, 異物の噛み込みや潤滑油の枯渇検知の可能性を検討した.

2. 複合探触子での潤滑状態評価の原理

図 1 に超音波法による潤滑状態測定の原理と過流法での 潤滑状態評価の原理を示す.超音波法において,転がり軸受 外輪外周に設置した探触子から入射された超音波は,媒質の 境界で反射波と透過波に分かれる.透過波は潤滑膜内で多重 反射し,外輪内面で反射した波との干渉波(エコー)が探傷器 上で観測される.エコーの高さは油膜形成状態と玉の位置に よって増減する.ここでは玉と玉の中間に探触子がある場合 のエコー高さ h_0 で規格化したエコー比 $H = h/h_0$ によって 潤滑評価を行う.

一方, 渦流探触子は, 上記の超音波探触子の外周を囲うように配置されており, 探触子内のコイルに交流電圧を加えることで発生した磁束が外輪内周に漏れ出ると, 玉側に渦電流が発生し,それに伴い誘起される二次的な磁束によってコイルのインダクタンスLが変化する.Lは例えば膜厚の影響を受けて変化するが, ここでは, L によって決まるブリッジ電圧 V の変化∠V を評価指標として用いる.



Fig.1 Measurement principle for composite probe

3. 実験装置と実験方法

図 2 に超音波法と渦流法を転がり軸受の潤滑評価に適応 する際に用いた実験装置を示す.探触子を外輪外周に取り付 け,荷重を鉛直方向に負荷したときの H と ∠V の挙動を観測



Fig.4 Relationship between load and $H_m \cdot \bigtriangleup V_m$



Fig.5 Relationship between f and $\angle V_m$

5. 深溝玉軸受の潤滑診断

深溝玉軸受の潤滑状態評価を,超音波・渦流複合探触子を 用いて行った例を図 6,7に示す.例えば図 6 上段は充分な 量の給油がある場合と,給油量が少なく油不足が発生してい る場合の H と△V の各波形の代表例である.超音波照射領 域内の油の量が不十分になると,油膜破断領域が増大するた め H は高く現れる.一方,渦電流の場合,油と空気はともに 非導電物質であるため△V は給油状態の影響を受けない.実 働軸受での給油状態評価をそのような波形1つ1つの観測に より行うのは難しいが,同図下段のように△V と H の関係 をプロットすることで,視覚的に捉えることができる.

潤滑状態を悪化させる摩耗粉噛み込みの影響を図 7 に示 す.実験では厚さ $5\mu m$ 程度の鉄系摩耗粉を潤滑油に 3.2wt%混入させた油 1.2cc を噴射により供給した.摩耗粉噛み込み により、固体接触面積が大きくなるため玉側への音波の透過 割合が増えて反射波の H は低下する.一方、外輪内面の磁 束影響範囲での平均膜厚は厚く、摩耗粉の噛み込みによるわ ずかな膜厚変動の影響をほとんど受けないため、 ΔV の挙動 は噛み込みの前後でほぼ一致している.このときの ΔV_m の 観測値から図 4 の較正曲線を用いて軸受荷重 W を推定でき る.図 8 は、噛み込み時の観測波形の代表例を示してある.

6. 結言

超音波法と過流法の併用による潤滑評価(軸受荷重, 給油の良否, 摩耗粉の噛み込み)の可能性を検討した.

- (1)超音波法,過流法共に負荷により指示値(H や∠V)は低下 するが,荷重に対する感度は,過流法が高い.
- (2) 過流法での感度は、励起周波数により異なり、最適値(本 研究では 20kHz)が存在する.
- (3)超音波法は,鉄粉や給油の良否の影響を受けやすいため, それらの評価指標として有効になる.
- (4)一方, 過流法は、それらに影響されない(され難い)ため、
 観測される∠Vmによる荷重測定が可能になる。



Fig.6 Influence of oil supply condition on waveform



Fig.7 Waveform before and after particle injection



Fig.8 Waveform behavior before and after particle supply

7. 参考論文

- (1) 藤本悠希,"転がり軸受の運転状態評価のための超音 波・渦流複合探触子の開発"卒業論文(2019)
- (2) 田島和弥,"超音波・渦流複合探触子を用いた膜厚測定"卒業論文(2019)