卒業論文要旨

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

システム工学群

極限ナノプロセス・トライボロジー研究室 1190145 藤本 悠希

1. 緒言

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。軸受内部では玉の回転により、玉の入口側と出口側の潤滑状態が双方で異なり、出口側で油膜破断や気泡が含まれる可能性が高くなる。高速回転になるにつれ、前の玉の出口側の油膜破断が次の玉の入口側にも広がり、かき出された油が戻らぬ内に次の玉が来る事があれば、外輪と玉の間で金属接触が起こる原因となる。

そのような状況下での、転がり軸受の安全な運転を保つためには正確で時間遅れのない運転状態評価が必須となってくる. 転がり軸受における運転状態の評価法の一つとして超音波法が挙げられるが、油膜内に存在する気泡の影響を受けるため正確な油膜厚さの測定は難しい. そこで気泡や油膜破断の影響を受けない運転状態評価法が求められている.

本研究の目的は、超音波法と気泡・油膜破断の影響を受けないとされる渦流法、二つの測定法を複合させ、転がり軸受の運転状態評価が可能か検討を行う。この複合探触子では油膜厚さと油膜破断の独立した評価が可能になると考えられる。ここでは、それら探触子を複合することによる、膜厚測定への影響を中心に検討した。

2. 測定原理と基礎特性

2.1 超音波探傷法

図1に超音波法による潤滑状態測定の原理を示す. 本測定法において、軸受外輪外周に設置した探触子から送信される超音波は、外輪と玉の境界で反射波と透過波に分かれる. 透過波は油膜内で多重反射し、先の境界で反射した波と干渉してエコー高さhの波として探傷器上で観測される. エコー高さhは油膜形成状態によって増減し、油膜内に気泡を含むとその境界でも反射するためエコー高さは連続油膜の場合と異なってくる. ここでは乾燥状態でのエコー高さ h_0 で規格化したエコー高さ比 $H=h/h_0$ によって評価を行う.

2.2 渦流探傷法

図 2 の左に過流探傷法での膜厚測定の原理を示す。本測定法では軸受外輪外周に設置した探触子がつくる磁束が、軸受外輪を通過し、玉側に漏れた磁束を利用する。玉が漏れ磁束場に近づくと、玉側に渦電流が発生し、それに伴って誘起される二次的な磁束により、コイル部のインダクタンス L_2 が変化して、ブリッジ回路のa, b 端子間に電圧V(電圧差 ΔV)が現れる。 L_2 は、漏れ磁束の影響範囲(面積)中での玉と外輪との平均隙間に依存するため、電圧V(電圧差 ΔV)により油膜厚さの測定が可能になる。

図2右に示された実験装置を用いて行った渦流探傷法による膜厚測定結果を図3に示す. SUJ2 平板と同鋼球との間の隙間が狭くなると電圧 V は大きくなる(左図). また, 軸受

外輪を模する SUJ2 の板厚が厚くなるほど出力電圧が小さくなり、より低周波側で励起周波数のピークを迎える(右図).

図4には、渦流探触子とSUJ2薄板(0.5mm)との間に、絶縁体のアクリル(PMMA:厚さ 1mm)を介在させた場合の結果(右図)を、介在物のない場合の結果(左図)と並べて示してある.PMMAの介在の有無による傾向の違いは、ほとんど無いものの、PMMA介在で感度は低くなる.PMMAを取り除いた場合でも結果(右図)は同じと考えられるので、その空隙に冷却剤を流すことでの探触子温度の上昇防止が可能となる.

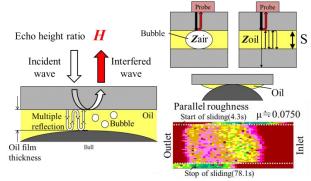


Fig. 1 Measurement principle of ultrasonic testing

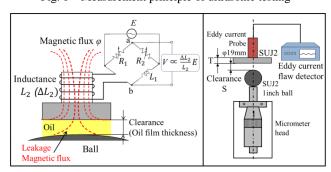


Fig. 2 Measurement principle of eddy current testing

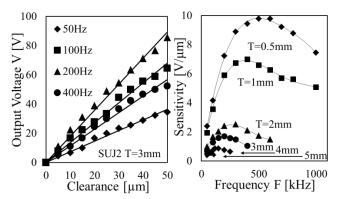


Fig. 3 Film thickness measurement by eddy current method

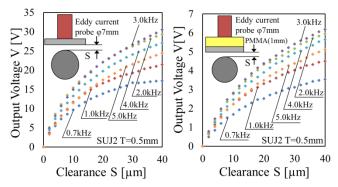


Fig. 4 Influence of nonconductive inclusions

3. 複合化の可能性

前述のように超音波法(膜厚と油膜破断に影響される)と 渦流法(膜厚のみに反応)を併用することで,膜厚と油膜破断 状況を個別に評価できる可能性がある.ただ,超音波の振動 素子ならびに導線には瞬間的(数 ns)に 100~400V の電圧が 印加されるため,渦流素子のインダクタンスに影響が現れる 可能性がある.また,その逆に渦流素子のコイルへの通電が, 超音波観測結果に影響を及ぼす懸念もある.

図 5 左側に、試作した複合探触子の模式図を示した。励振用と制御用コイルに挟まれるように φ 3mm 径の超音波探触子が配置されている複合探触子を、図 6 の膜厚可変装置用のSUJ2 板 (厚さ T=2 \sim 5mm)上に設置した。板裏面と相手面(SUJ2)の間の膜厚を変化させた時のエコー高さ比 H と出力電圧 V の関係を図 5 左側に示す。図から明らかなように、複合探触子を作動させた場合の特性は、各探触子を単独で用いた場合と一致しており、複合化の影響は無い事が明らかになった。

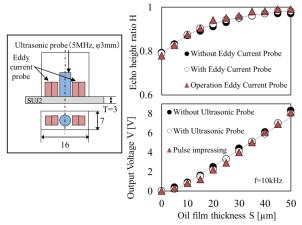


Fig. 5 Influence of composite on film thickness measurement

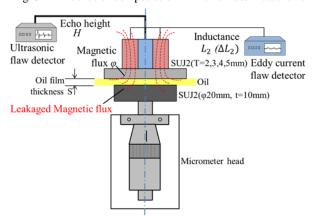


Fig. 6 Experiment equipment

4. 複合探触子の基礎特性

図 7 に渦流法での結果を示す。図 3 と同様,各周波数での出力電圧 V は,膜厚 S に比例して増加し,感度は板厚に応じてある周波数でピークを示している。その周波数のピークが厚板で低下する傾向も図 3 と同じである.

一方,図8には,超音波法での膜厚測定結果を示してある。使用した探触子(5MHz)の鋼中波長が約1~2mmであり,薄板の場合,数波(周期)の波を有するパルス波ではパルス電圧印加後の波が減衰しきらない所に薄板裏面からの反射波が重畳される。そのため,薄膜でのHはあまり低下しないが,厚板(例えばT=5mm)になると,減衰波と反射波が分離してくるため,膜厚に対する感度は上昇する。その板厚での渦流法の結果は図7右側に示したように(T=5mm),充分な感度を有している。

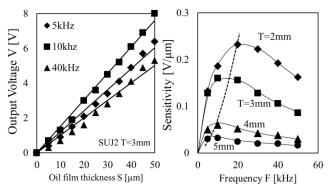


Fig. 7 Film thickness measurement by eddy current method

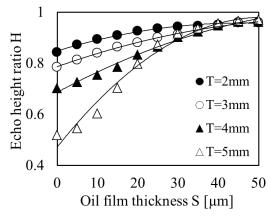


Fig. 8 Film thickness measurement by ultrasonic method

5. 結言

超音波探触子と渦流探触子を複合させても,互いの膜厚測 定結果に影響を及ぼさないことが確認された.

6. 参考文献

(1) 竹内彰敏, "転がり軸受面での供給不足と枯渇過程の 超音波観測",日本機械学会論文集,(2012)