

点接触近傍での超音波膜厚測定

トライボロジー研究室

福家 貴彦

1. 緒言

種々の摺動面間での膜厚は、例えば転がり軸受の EHL 部に代表されるように、しばしばサブミクロンに達する。このような薄膜の形成状態の把握は軸受の健全な運転の確保にとって重要となるが、実際の摺動面材質、例えば鋼やアルミについての計測例はほとんど見当たらない。

例えば、静電容量や渦電流式変位計の利用も考えられるが¹⁾、プローブ取り付け用の穴加工が必要であり、摺動面の材質や寸法によっては、適用に困難な場合も少なくない。摺動面に何らの加工も施さず、簡単に膜厚測定が出来ることが望ましい。

本研究では、超音波法による膜厚測定を試みており、 μm 領域での測定の可能性を明らかにしてきた。ここでは、さらに点接触近傍に生じる薄いサブミクロンの膜厚測定の可能性を高周波超音波探触子により検討した結果について述べる。

2. 超音波による油膜の測定原理

図 1 に膜厚の測定原理を示した。探触子から油膜が介在する 2 面間に入射された超音波は、その波長よりも薄い油膜中で多重反射する。そのため、物質 1 の裏面からの反射波はこれらの波の干渉の影響を受け、観測すべき第一反射波の波高値 h は、膜厚 L に依存して変化する。

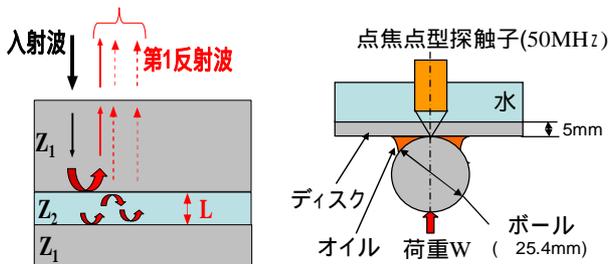


図 1 . 測定原理ならびに実験装置

3. 実験装置および条件

連続波を仮定した場合の膜厚 L とエコー高さ h との関係は (1) 式で与えられる。この関係が、サブミクロンの薄膜部にパルス波を入射させた場合も成立するか確認することは、超音波法での膜厚測定にとって重要となる。

$$h = \frac{Z_{12} - Z_{21}}{\sqrt{4 \cot^2 k_2 L + (Z_{12} + Z_{21})^2}} \quad (1)$$

ただし、 $k_2 = 2\pi / \lambda_2$ (添え字の 2 は油)

$$Z_{12} = Z_1 / Z_2, \quad Z_{21} = Z_2 / Z_1$$

$$Z_1 = \rho_1 \cdot c_1, \quad Z_2 = \rho_2 \cdot c_2$$

ところで、玉軸受の玉と転走面との接触のように、ヘルツ接触中心から半径方向に比較的急な膜厚変化がある場合は、観測する反射波に焦点内での膜厚変化の影響が現れることが予想される。

図 1 の右側に示したように実験装置の探触子は周波数 50MHz、振動子径 10mm、焦点距離 25mm、水中焦点径 0.2mm の収束型探触子を使用した。観測対象は、厚さ 5mm の鋼製平板と、ボール径 25.4mm 鋼球においておこなう。この場合、2N の荷重を負荷しているため、ヘルツ接触部の直径は約 0.1mm となり、超音波の焦点径と同程度となる。

エコー高さ h はその付近から増加し始めている。式 (1) より求めた h の挙動(一点鎖線)は、実測値と異なっているが、超音波の焦点径内でのエコーの平均値を考慮すると実線のように実験値とほぼ一致する。

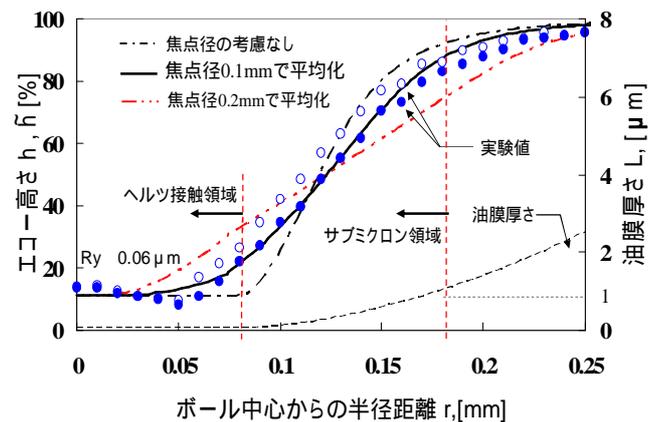


図 6 . 球/平板間の膜厚測定 (荷重 5N)

4. 結言

超音波法でのサブミクロンの膜厚測定を目的として、25.4mm と小径の鋼球と鋼製平板の組み合わせについて実験を行ない、超音波焦点径内でのエコー平均を考慮することによりその可能性をある程度明らかにすることができた。

参考文献

- [1] 竹内彰敏, 寺田聖一, 戸田聡, 三宅孝典, 日本トライボロジー会議新潟, p.203, 2003-11
- [2] 三宅孝典, 竹内彰敏, 寺田聖一, 戸田聡, 日本設計工学会平成16年度春季研究発表講演会講演論文集, No.35, p.107, 2004-5
- [3] 三宅孝典, 竹内彰敏, 寺田聖一, 戸田聡, 日本トライボロジー会議鳥取, p.307, 2004-11