

気体軸受の焼け付き現象に関する研究

Study on seizure phenomena in a hydrostatic gas bearing

鄭 穎 (理工学研究科・助教)

Zheng Ying (Graduate School of Science & Engineering・Assistant Professor)

1 研究目的

数多くの機械に用いられている軸受においては、潤滑された摩擦面が存在するが、機械の運転時において焼け付きが生じた場合、軸受の損傷が生じるため、修理のために長期にわたり稼働できなくなってしまう。また機械の駆動力を上回る摩擦抵抗力が発生することにより駆動系に過剰な負荷をもたらす、機械の運転停止に至り時として重大な事故に結びつく危険性を擁している。これら機械の信頼性を損なう現象の発生を避けるためにも、焼け付きの原因を突き止め、設計時に対策を講じておく必要がある。

これまでに行われてきた、焼け付き現象に関する実験的研究の結果、摩擦する二面間で直接接触が起こった際に発生する摩耗粉が両面間で移着を繰り返す、成長した移着粒子が二面を結合することにより焼け付きが発生するとされている。そして研究代表者らは、潤滑流体に油を用いず雰囲気体を用いるため、高速回転が可能となる一方で、焼け付き発生時の被害が甚大となる気体軸受における焼け付き現象に関する実験的研究において、軸受の回転数が高い場合ほど、また軸受の表面あらさや軸受すきまが小さい場合ほど摩擦力の急激な上昇と軸受の損傷が著しくなることを実験的に明らかにしている。しかし、焼け付き現象そのものが、極めて狭い軸受すきま内で起こる現象であるため、発生している面そのものをリアルタイムで観察することは不可能であり、このことが現象を明らかにする場合の障害となっている。

本研究は、気体軸受における発生する焼け付き現象において、軸受すきまで起こっている現象そのものを解明する糸口とするべく、接触時に生じる摩擦力および摩擦により発生する熱と、接触力の増大に起因する軸受表面からの軸受材料の脱落により生じる摩耗粉の凝集を考慮し、気体軸受における焼け付き現象のメカニズムを明らかにすることを目的とする。

2 研究経過

(1) SEM (走査型電子顕微鏡) による焼け付き面の観察

接触面で発生した現象を明らかにするために、SEM (走査型電子顕微鏡) を用いて焼け付いた軸受表面と回転軸表面を観察した。SEM で表面を観察すると、白く浮き上がったように見える部分がある。これはSEM の特性から、薄く扁平状になっているものが表面に付着しているため、焼け付き面では摩耗粉あるいは塑性的に引き延ばされた極薄い表面層であるといえる。

(2) SEM による焼け付き面の元素分析

SEM はエネルギー分散 X 線分光装置 (EDX) を組み合わせて使うことができる。EDX は電子線を照射したときに、放出される特性 X 線を検出する。特性 X 線は元素に特有なので、照射した微小領域の構成元素を知ることができる。また X 線の強度を測定することにより、元素の含有量を知ることができる。本研究にこの測定装置を用い、回転軸表面の付着物に関しては元素分析を行った。真ちゅうの主成分である Cu, Zn が検出された。付着物は真ちゅう軸受が削られて発生した摩耗粉であることが確認できた。これは軸の材質である鋼に比べ、軸受の材質である真ちゅうは軟らかい金属であるため、軸が軸受表面を削ることによって発生したものと考えられる。

(3) 温度上昇に関するモデルの構築

焼け付き温度を解析的に求める上で、回転の時、軸受と回転軸の摩擦によって熱が発生した場合、両者の熱の

流入割合は、接触面における両者の温度が等しくなるように決まるはずである、と仮定した。すなわち、接触面での発熱量 Q とすると、一方に λQ 、他方に $(1-\lambda)Q$ となる熱が流入するものとしてそれぞれの接触温度を計算し、両方の温度が等しい条件において熱量比率を算出する方法である。この方法を用いて近似計算を行った。

(i) 摩耗粉が生じていない場合

供給している空気を遮断すると、軸受の自重により下方向に軸受が変位し、軸受と軸が接触を始める。この場合は軸受、回転軸とも回転するので熱源として移動熱源を考える。二つ円筒の周速を v_1, v_2 とし試験片が完全弾性体である場合、軸受側に入る熱量比率 x は $x = \sqrt{v_1} / (\sqrt{v_1} + \sqrt{v_2})$ となる。したがって温度上昇 T_{1e} は次式となる。

$$T_{1e} = (\sqrt{v_1} - \sqrt{v_2}) \frac{5}{8} \sqrt{\frac{3}{2}} \frac{2\mu P}{\lambda\pi r_0^2 J} \sqrt{\frac{1}{\pi\rho c\lambda r_0^3}} \quad (1)$$

ここで、 P は接触面の法線荷重(軸受の部品の重さ)、 μ は摩擦係数、 λ は物体の熱伝導率、 r_0 は弾性接触によるヘルツ接触域半径、 c は物体の比熱、 ρ は物体の密度、 J は熱の仕事当量である。

(ii) 摩耗粉が生じた場合

黄銅は炭素鋼に比較して柔らかく、被削性に優れるため摩耗粉が発生している。微小な粒子が集合、たい積し一つの摩耗粉として成長する。ここで摩耗粉の形状は球体と仮定する。

回転軸は回転、球状摩耗粉が固定されているので、両物体が完全弾性体である場合は焼け付き実験での瞬間上昇温度 T_{2e} は次式となる。

$$T_{2e} = \frac{32\mu P v_s \sqrt{3/2} \sqrt{\lambda / \pi\rho c v_s}}{\lambda\pi r_0 J (24\sqrt{3/2} \sqrt{\lambda / \pi\rho c v_s} + 10\sqrt{r_0})} \quad (2)$$

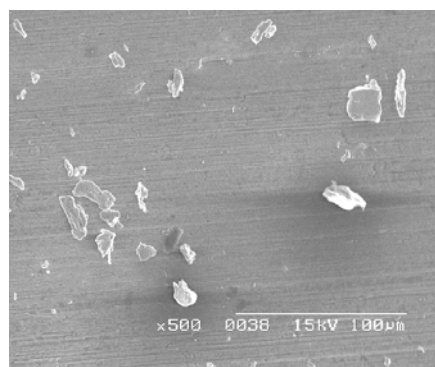
ここで v_s はすべり速度である。

回転軸は回転、球状摩耗粉が固定されているので、両物体が完全塑性体である場合は焼け付き実験での瞬間上昇温度 T_{2p} は次式となる。

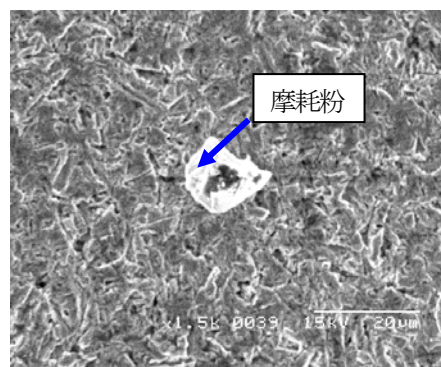
$$T_{2p} = \frac{2\mu P v_s \sqrt{2\lambda / \pi\rho c v_s}}{\lambda\pi r_0 J (2\sqrt{2\lambda / \pi\rho c v_s} + \sqrt{r_0})} \quad (3)$$

3 今後の課題及び展望

今までの解析では温度を算出するなどの近似方法が用いられている。今後、計算精度を向上させるため、温度分布解析に三次元非定常熱伝導方程式を適用し、有限要素法を用いて解析を行う必要があると考えられる。また、精度の高い温度推定の結果表示には計算機のモニターを用いて即時表示を行うようにしたい。以上によって、よりリアルタイムでの温度分布推定に基づく可視化が可能となり、焼け付き現象を把握することができると思われる。



(a) 軸表面



(b) 軸受表面

図1. SEM観察結果 (回転速度 N=10000 rpm)