

工作機械用油静圧軸受主軸の低損失化

Loss Reduction in Hydrostatic Bearing Spindles for Machine Tools

(株)JTEKT (正) *大和 宏樹

Hiroki Yamato

*JTEKT CORPORATION

1. 緒言

流体軸受は、他の軸受と比べ剛性と減衰性が高く、また非接触支持のため回転精度に優れている。この特性により、研削盤などの高精度な加工が必要な工作機械で使用されている。しかしながら流体軸受は、支持するスピンドルが潤滑油中で高速回転すると、スピンドルにかかる潤滑油の粘性により動力損失が発生する。この動力損失は機械の電力消費となるとともに、発熱による機械温度の上昇により熱変形を生じ、加工寸法誤差の原因となっている。

スピンドル回転時には、静圧軸受のポケット内で潤滑油は循環し、そのことでさらに動力損失は増大する^{1),2)}。筆者は、ポケット内部に仕切り板を設置して流れを整流化し、動力損失を低減する静圧軸受を提案した^{3),4)}。本報では、この軸受の動力低減する原理を踏まえながら、量産化のため容易に製作できるようにした流体軸受で、解析と実験により動力損失低減効果を検証した結果を報告する。

2. 解析による動力低減検討

2.1 従来の静圧軸受

従来型の静圧軸受は、Fig.1 に示すように深さ数 mm のポケットと、ポケットから潤滑油を排出するすきまを数 $10\mu\text{m}$ に形成するランドで構成されている。ここで、支持するスピンドルが高速回転すると、Fig.2 の解析結果に示すように、軸受内ではスピンドルにつれ回る流れ（以下、順流）と、ポケット底部で軸の回転方向と逆向きの流れ（以下、逆流）が発生している。その影響でスピンドル近傍では速度が急激に変化し、動力損失が大きくなっている。動力損失を低減するには、ポケット底部の逆流が、順流の速度変化に影響しないようにすることが有効である。

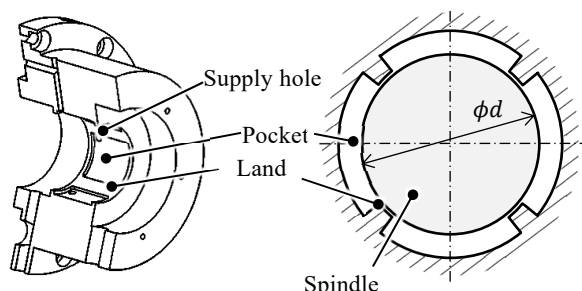


Fig.1 Schematic of conventional hydrostatic bearing

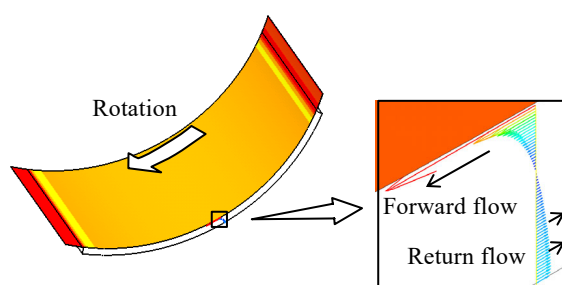


Fig.2 Velocity vector plots in pocket of conventional type

2.2 仕切り板を用いた静圧軸受

ポケット底部の逆流と順流の干渉による順流部の急峻な速度変化を抑制するため、軸受のポケット内部に仕切り板を設けた Fig.3 の静圧軸受を考案した。この仕切り板とスピンドルとの距離を適切な大きさとすることで速度勾配を緩和してさらに動力損失を低減した。この軸受の動力損失を 2 次元流体解析して現行軸受と比較した結果を Fig.4 に示す。Figure 4 より $10,000 \text{ min}^{-1}$ の動力損失は、従来型軸受に対して 29%低減の解析結果となった。

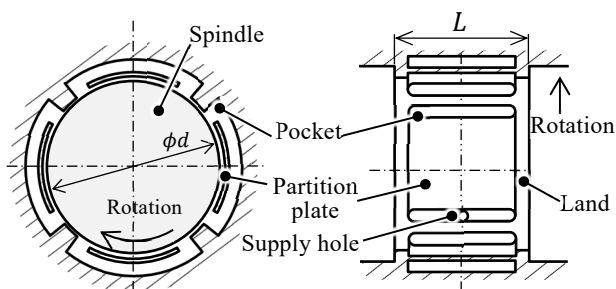


Fig.3 Schematic of developed hydrostatic bearing with partition plate

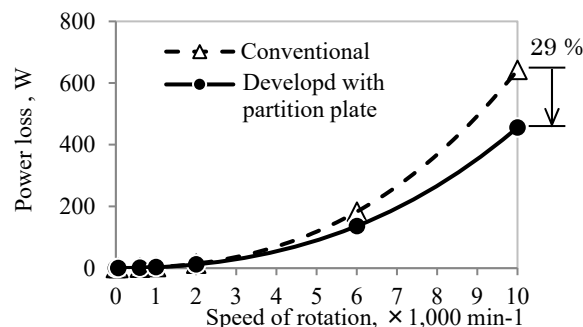


Fig.4 Power loss of hydrostatic bearing (Calculated)

2.3 台地構造を用いた静圧軸受

上記の静圧軸受で動力損失は低減したが、ポケット内部に仕切り板を配置するため製作と組立てが複雑になり、量産化には課題があった。そこで、動力低減の原理はそのまま、製作が容易な Fig.5 の軸受を考案した。従来型軸受のポケット内部に、外周を溝で取り巻く台地構造を追加している。これにより、スピンドルに対向する台地構造の上面部では、スピンドルに連れまわる順流のみにすることができる。その流れは周囲の溝を通過して上流側に戻るため順流と逆流を分離する。

軸受のポケット内部では周方向と軸方向の流れが存在するため、流体軸受の動力損失は Ansys CFX を使用して 3 次元流体解析した。モデルは、1 つのポケットと隣り合うランドを含む円周 1/4 分とした。台地構造上面の順流部すきまの大きさに対する、回転速度 $10,000 \text{ min}^{-1}$ での動力損失を解析した結果を Fig.6 に示す。順流部すきまには動力損失を最小にする最適値があり、そのときの動力損失は現行軸受に比べて 21% 低減する解析結果となった。Fig.6 の横軸はその最適値のすきまの大きさで無次元化している。すきまの大きさが最適値よりも狭い場合には、そこで速度勾配が大きくなり粘性抵抗が増大する。逆に広くした場合には流れが乱流になり抵抗が増大する。

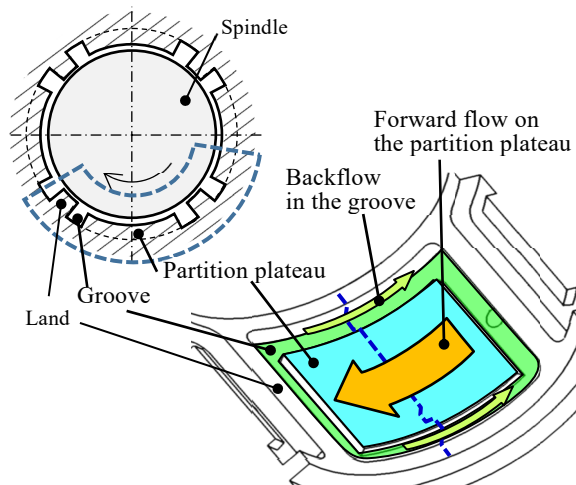


Fig.5 Schematic of developed hydrostatic bearing with partition plateau

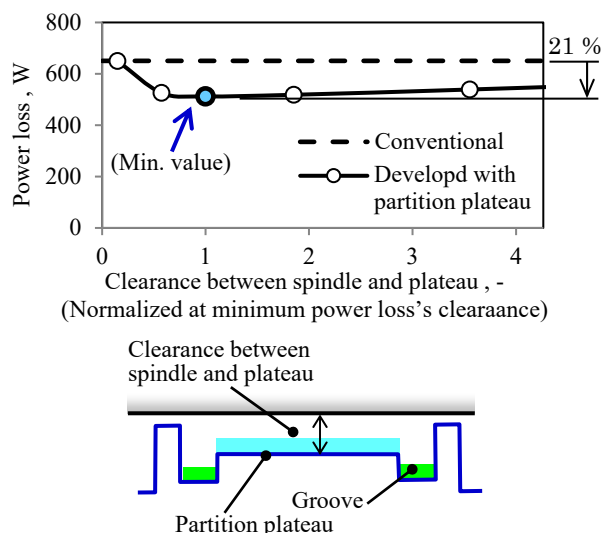


Fig.6 Power loss of hydrostatic bearing(Calculated)

3. 実験装置および結果

解析で得られた動力低減効果を検証するため、Table 1 で示す諸元の静圧軸受を試作し、従来型軸受と比較した結果を Fig.7 に示す。静圧軸受の動力損失は、フランジ型のトルク計で、 0 min^{-1} から $1,000 \text{ min}^{-1}$ ずつ回転速度を上げながら、最大 $10,000 \text{ min}^{-1}$ まで測定した。2,000 min^{-1} の低速時から動力損失の低減が確認でき、10,000 min^{-1} では約 21.5% の動力損失低減で、解析値と測定値はほぼ一致している。

動力損失が低減したことにより、静圧軸受で使用する潤滑油の温度上昇も 27% 低減した。

Table 1 Principal dimensions of hydrostatic bearing

Diameter of journal bearing, $\phi \text{ mm}$	60
Length of bearing, mm	50
Gap of journal bearing, mm	0.0175
Supply pressure, MPa	1.5
Viscosity, $\text{mPa}\cdot\text{s}$	1.627
Density, kg/m^3	802

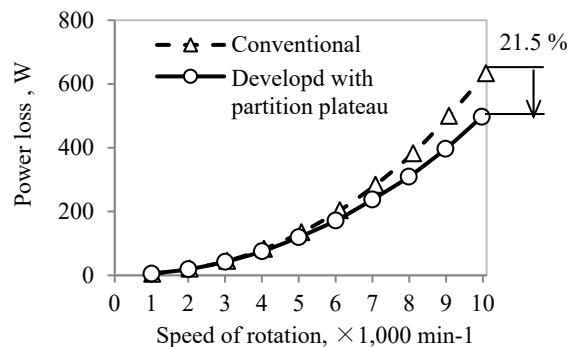


Fig.7 Power loss of hydrostatic bearing(Experiment)

4. 結言

ポケット内部に順流と逆流を分離する台地構造を設けた静圧軸受で以下の結果を得た。

- 1) 動力損失を従来型軸受と比較し、回転速度 $10,000 \text{ min}^{-1}$ において 21.5% 低減することを実測で確認した。
- 2) 3 次元流体解析した静圧軸受の動力損失の結果は、実測値とよく一致しており、解析手法の妥当性を検証した。
- 3) 動力低減は潤滑油の温度上昇抑制をもたらし、27% 減の効果を得た。

5. 文献

- 1) M.E.Mohsin: Tribology International, Elsevier, 14,1(1981)48
- 2) M Dzodzo, MJ Braun, RC Hendricks: Tribology international, Elsevier, 29,1(1996)69-76
- 3) 大和,杉本,平野: 工作機械用流体軸受の抵抗低減に関する研究, 精密工学会春季大会学術講演論文集, (2016) 487
- 4) 大和,杉本,平野,岩井: 流体軸受の動力低減に関する研究, 砥粒加工学会学術講演論文集, (2017) 253