により自轉滑りが速かに減少し、或一定値に漸近せんとする傾向のあることである。而して残差する滑りの大きさは潤滑油の種類により異なる。荷重の大きさは低速では相當關係するが高速ではほとんど影響しないから例を 624.3 kg の場合に採ると、4 種の潤滑油の中最も残差滑りの多いのは精製カストル油で 0.070、スタナボ航空モビル油、GTC スピンドル油がこれに次いでそれぞれ 0.045、0.024、最も少いのは GTC 球軸受グリース 0.016 であった。

尚かゝる高速運轉の場合は、軸受の各円周位置における自轉滑りの変化はどの潤滑油についても相似になつてくる。第

第 14 図

14 図は残差滑りの最も多いと思はれる精製カストル油に就

てその一例を示すもので、白点は 1800 rev/mn、黒点は 2400 rev/mn の場合の自轉滑りの量を示すものであるが、各点は大体環状に配列されてゐる。その形は荷重側に於て零であり、非荷重側へ移るにつれて徐々に滑りが増してゐる。点は必ずしも左右対称に配置されてゐないが、非荷重側中央の滑りを以てその軸受に起る自轉滑りの代表と考へて大して誤りのないことが判る。この図に於ては荷重の異なる点を混合してゐるが、それは第 12 図に示される如く高速回轉に於ては荷重の影響が殆どないためである。尚他の潤滑油に対しても滑りの数値は小さくなるがこれと相似な線図が出来る。

6. 結 言

以上を総括するに、

1. 公轉運動は大体理論的計算結果に合致する。荷重、回轉速度、潤滑油の種類とは無關係に公轉滑りは零である。
2. 自轉滑りは回轉数に最も大くの關係を有する。
3. 自轉滑りは荷重の大なる程増加し、その変化率は低速度の場合ほど著しい。
4. 自轉滑りは潤滑剤の種類によつて相違する。

本研究は日本學術振興會第 29 小委員會第 5 分科にて担當せる精密軸受の研究の一部に屬し、これが実施に當り日本學術振興會及び服部報公會の援助を辱した。こゝに深甚の謝意を表する次第である。

(昭和 17 年 1 月 31 日受付)

推力轉り軸受の摩擦特性に就て⁽¹⁾

(昭和 16 年 11 月 27 日 関西支部第 120 回講演會に於て講演)

正 員 佐々木 外喜雄⁽²⁾

1. 緒 論

本研究は、平面座單列推力球軸受、單列深溝球軸受、円錐ころ軸受の 3 種に推力が作用する場合の摩擦特性が潤滑剤の種類によつ如何に変わるかを吟味したものである。

実験に使用した軸受試験片は第 1 図に見られるやうな SKF 906, SKF 6206, SKF 30206 の 3 箇で何れも軽荷重型で軸の直径は 30 mm である。試験荷重は 200, 300, 400, 500, 600 kg の 5 種に選ばれ、試験速度は 200, 400, 800, 1600 rev/mn の 4 種に選ばれた。實際轉り軸受における許容荷重は回轉速度が大となるにつれて低下せらるべきものであるから、上記の荷重は必ずしも許容荷重ではない。單列推力球軸受につき製造者の指定する許容荷重は第 2 図の 906 線に示される如くなる。又單列深溝球軸受及び円錐ころ軸受に対しては半径方向許容荷重の 1/1.5 を以て許容推力荷重と仮定して許容荷重曲線をつくると夫々第 2 図の 6206 及び 30206 線の如くなる。○印は実験した点であるから單

第 1 図 実験した 3 種の轉り軸受

列深溝球軸受では半数の実験が許容値以上の荷重で行はれたことになる。

本実験に使用する潤滑剤としては次の 6 種が選択せられた。

即ち、比較的粘度の高い發動機用潤滑剤としてスタナボ航空モビル油 No. 120 (106°E) 及び精製カストル油 (85°E) の 2 種、比較的粘度の低い機械油としてエバール

(1) On the Friction Characteristics of the Thrust Ball and Roller Bearings. (2) Tokio SASAKI, Member. The Kyōto Imperial University. 京都帝國大學。

第 2 図

ブ S-50 スピンドル油 (4.6°E), 及び GTC 1040-A スピンドル油 (2.5°E) の 2 種、グリースとして GTC WIA 耐熱グリース No. 333 (166°C) 及び GTC 球軸受グリース No. 300 (130°C) の 2 種を用いた。上記の () 内の数字は油に於ては 25°C におけるエングラー度であり、グリースに於ては滴点である。第 3 図及び第 4 図は上記各種潤滑油の粘度—温度曲線である。

本実験に於ては各種負荷状態における軸受性能を知るために軸受摩擦と軸受温度を測定したが、軸受温度は静止軌道輪の外周にはんだ付けせられた熱電対によつて測定せられた。斯くして測定せられた軸受温度と室温の差を以て軸受温度上昇とした。軸受摩擦の比較は摩擦モーメントに於て行ふと共に、摩擦の荷重に対する割合、即ち軸の半径と推力荷重の積を以て摩擦モーメントを割つた比をも比較した。こゝに便宜上この比を摩擦係数と称した。この比は何等物理的に意味を有するものではないが、単列推力球軸受に対しては物理的に定義せられる轉り摩擦係数に正比例するものである。単列推力球軸受に於て

M = 摩擦モーメント

P = 推力荷重

D_i = 軸の直径

μ = 摩擦係数

$M = \mu(D_i/2)P$

$\mu = M/(D_i/2)P$

D_0 = 球列円の直径

d = 鋼球の直径

f = 轉り摩擦係数

$M = fPD_0/d$

$f = Md/PD_0$

$f = (dD_i/2D_0)\mu$

d , D_i 及び D_0 は何れも軸受寸法に關した恒数である。

第 3 図

第 4 図

2. 推力軸受試験機

本実験に用いた装置は日本機械学会論文集 第 5 巻 第 20 号 (昭和 14 年 8 月) 第 1 部 I-64 及び I-65 頁に記載の試験機を改良したものである。第 5 図に於て B が轉り軸受試験片で、推力荷重は矢の方向に重錘を懸ることによつて與へられる。推力球軸受では下側の軌道輪が、深溝球軸受及び

第 5 図 推力軸受試験機の要部

円錐ころ軸受では内輪が軸と共に廻り、上側の軌道輪或は外輪が摩擦により軸に伴なつて廻らんとするのを D なる腕の先で受止め摩擦モーメントを測定するのである。軸受が半径方向荷重を受ける場合は死荷重で負荷しながら軸受摩擦を測ることには幾分の困難があり、多少の工夫を要する。その原因は荷重の方向線が摩擦の作用面内に存在する事にある。これに反して推力荷重は摩擦面に垂直であつて両者の間に干渉が起らないから軸受摩擦が非常に簡単に測定できるのである。

潤滑油は小形給油ポンプで軸受試験片の上の A から滴下せられた。軸は垂直に支へられ、水平軸の電動機より傘歯車を経て駆動せられた。

3. 実験結果

轉り軸受の作動状態が定常になる迄には始動後 1 時間乃至数時間を要するのであるが、本研究は各種作動状態相互間の比較を目的とするものであり、又実験回数が多数に上る関係上始動後 30 mn を経過した状態で読をとつた。勿論その前

[昭和 17 年 5 月]

第 6 図 (A)

後数分間に亘つて観測を続け状態変化に不連続或は急変のないことを確かめた。実験結果を纏めるに當つては、荷重及び回転速度の変化に対する軸受性能の推移を一目瞭然たらしめるために第6図以下に示されるやうな立体面を使用した。

(1) 各種轉り軸受及び各種潤滑剤における摩擦モーメント
上記3種の轉り軸受が推力荷重を受けた場合の摩擦モーメントを比較すると、第6図-A, B, Cの如くである。図より明らかなる如く、単列推力球軸受<単列深溝球軸受<円錐ころ軸受の順に摩擦が大となつてゐる。600 kg, 1600 rev/minの負荷状態に於ては潤滑剤の種類に拘らず摩擦が大差ない値となつてゐるが、その値を上記3種の軸受に就て比較すると大体1:2:4の比となつてゐる。

第6図-Aは比較的高粘度の發動機用潤滑油なるモビル
第8巻第31号(第1部)]

油及びカストル油を用ひた場合であるが、200 kg程度の低荷重に於ては摩擦モーメントは推力球軸受に於ても、深溝球軸受に於ても大差ない。併し荷重が高くなる程大なる差を生ずる。円錐ころ軸受では低荷重の場合に於ても前記2者とはかけ離れた摩擦が起つてゐる。第6図-Bのスピンドル油を使用する場合に於ては、低荷重に於ても推力球軸受の方が深溝球軸受よりも摩擦小である。円錐ころ軸受にスピンドル油を供給して運轉する場合は低荷重に於て摩擦小であるが荷重と共に急激に摩擦が増加する。グリースを使用する場合の摩擦特性はスピンドル油を使用した場合に似てゐる。

次に推力球軸受につき潤滑剤の影響を比較すると、モビル油やカストル油のやうな高粘度の油では低速度に於てスピンドル油及びグリースよりも著しく摩擦大である。カストル油に於ては荷重及び回転速度による摩擦モーメントの変化が極めて僅かである。スピンドル油及びグリースでは摩擦モーメントが略、荷重に比例して大きくなる。

深溝球軸受につき潤滑剤の影響を比較すると、低荷重に於てはモビル油及びカストル油を使用した場合摩擦モーメントが大であり、グリースこれに次ぎ、スピンドル油に於て最小である。又推力荷重の高い場合は、潤滑剤の種類による摩擦モーメントの相違は僅かであり、回転速度によつても左程に変化しない。円錐ころ軸受につき潤滑剤の影響を比較すると低荷重に於てはモビル油及びカストル油を使用する場合の方がスピンドル油及びグリースを用ひる場合より摩擦大であるが、高荷重

高速度に於ては潤滑剤の種類を問はず摩擦モーメントが略、一定である。

(2) 各種轉り軸受及び各種潤滑剤における摩擦係数及び軸受温度上昇
上記3種の轉り軸受が推力荷重を受けた場合の摩擦係数即ち摩擦の荷重に対する割合を比較するに、推力球軸受に於ては第7図-Aに見る如く、モビル油及びカストル油のやうな高粘度の油を用ひる場合は荷重が高くなる程又回転速度が大となる程摩擦係数は小となる。200 kg, 200 rev/minの場合と600 kg, 1600 rev/minの場合につき摩擦係数を比較するとモビル油、カストル油共に約3:1である。

これに反しスピンドル油のやうな低粘度の油を用ひる場合には摩擦係数は荷重及び回転速度に関係無く一定で、平均値に対する各点の偏差は極めて僅かである。又エバールブ

第 6 図 (B)

第 6

S-50 スピンドル油と GTC 1040-A スピンドル油の粘度には第 4 図に見られるやうな差を有してゐるが、摩擦性能の差は極めて小であり、摩擦係数の平均値はエパーループ S-50 スピンドル油に於て 0.0019, GTC 1040-A スピンドル油に於て 0.0018 である。グリースを使用する場合における摩擦係数の特性はスピンドル油の場合に似てをり、稠度の差異も左程に影響なく低荷重低速度に於て稠度の高い方が幾分摩擦大である。600 kg, 1600 rev/mn の如き高荷重高速度になると、潤滑剤の種類による摩擦係数の差異は比較的少く、モビル油における 0.0028 を除けば他は 0.0020 に近い値となつてゐる。

次に軸受温度上昇、即ち軸受温度と室温との差について見るに、第 7 図-B に見る如く荷重及び回転速度が高くなる

程軸受温度は漸变的に高くなり、モビル油及びカストル油に於てその値が幾分大である以外共通の傾向を有してゐる。600 kg, 1600 rev/mn における軸受温度上昇はモビル油の 23°C が最高、GTC 1040-A スピンドル油の 17°C が最低である。回転速度が高くなる程荷重の増加による軸受温度上昇が大となるのは當然の傾向である。

単列深溝球軸受に於ては第 8 図-A に見る如く、高粘度の油を用ひる場合は荷重が高くなる程摩擦係数は小となるが回転速度による摩擦係数の変化は極めて僅かである。200 kg, 200 rev/mn の場合と 600 kg, 1600 rev/mn の場合につき摩擦係数を比較するとモビル油に於て約 1.5:1.0, カストル油に於て約 1.8:1.0 である。スピンドル油に於ては多少趣を異にしてをり、回転速度によつて摩擦が殆ど変わらないこと

[昭和 17 年 5 月]

図 (C)

第 7 図 (A)

はモビル油の場合と同様であるが、同一回轉速度では荷重が増すと却つて摩擦係数が増加し、低粘度のスピンドル油に於てその傾向が著しい。これはこの種の軸受では鋼球が楔作用を以て外輪の周壁に喰込むことに基因する。200 rev/mn の場合を比較するとエパーループ S-50 スピンドル油に於ては 200 kg で摩擦係数が 0.0034 であつたのが、600 kg では 0.0044 になつてをり、GTC 1040-A スピンドル油に於ては 200 kg で 0.0025 であつたのが 600 kg で 0.0046 になつてゐる。グリスに於てはモビル油とスピンドル油の中間的な摩擦特性を示してをり稠度の高い GTC WIA 耐熱グリスに於てはモビル油に似た傾向を有し、稠度の低い GTC 球軸受グリスに於てはスピンドル油に似た傾向を有してゐる。又 600 kg, 1600 rev/mn の如き高荷重高速度に

於ては、潤滑剤の種類による摩擦係数の差異は極めて少く、カストル油に於て幾分低いのを除けば約 0.004 である。次に軸受温度上昇に関しては第 8 図-Bに見る如く潤滑剤の種類の如何に拘らず極めて似た傾向を有してゐる。勿論推力球軸受の場合に比し温度上昇は大である。600 kg, 1600 rev/mn における軸受温度上昇も比較的一定であり、カストル油の 32.5°C を除けば他は 37°C 前後である。この事實はカストル油に於て油性が高いことに基因するものである。

円錐ころ軸受に於ては第 9 図-Aに見る如く、高粘度の油を用ひる場合は荷重が高くなる程又回轉速度が高くなる程摩擦係数は小となる。200 kg, 200 rev/mn の場合と 600 kg 1600 rev/mn の場合における摩擦係数の比はモビル油、カストル油共に 2.6:1.0 である。スピンドル油の場合は稍、

第 7 図 (B)

趣を異にしてをり、粘度の高い方のエパーループ S-50 スピンドル油を用いる場合は荷重及び回転速度が高くなるにつれて摩擦係数が小となるが、粘度の低い GTC 1040-A スピンドル油を用いる場合は、低速度に於ては荷重が増す程摩擦係数が増加してゐる。グリースを用いる場合は荷重及び回転速度が増加する程摩擦係数が小となる傾向を有するが、その変化の割合は比較的少ないものである。200 kg, 200 rev/min の場合と 600 kg, 1600 rev/min の場合における摩擦係数の比は約 1.5:1.0 である。この場合稠度の高い GTC WIA 耐熱グリースを用いる方が稠度の低い GTC 球軸受グリースを用いるよりも摩擦小である。600 kg, 1600 rev/min の負荷状態における摩擦は潤滑剤の種類によつて左程変るものではなく、粘度の低いスピンドル油、稠度の低いグリースを用いる場合幾分高いのを除き 0.0075 前後である。

次に軸受温度上昇に関しては第 9 図-B に見る如くこの場合は潤滑剤の種類の如何に拘らず極めて似た傾向を有してゐる。勿論球軸受に比し軸受温度上昇が非常に大である。

第 8

600 kg, 1600 rev/min における軸受温度上昇は最低 GTC WIA 耐熱グリースの 65°C から最高スピンドル油及び球軸受グリースの 77°C である。高粘度の油を使用する場合は温度上昇が比較的少く、モビル油よりカストル油の方が軸受温度上昇小である。

4. 結 論

以上の実験結果を総括すると次の如くなる。

1. 推力荷重を受ける場合、推力球軸受—深溝球軸受—円錐ころ軸受の順に摩擦が大となり、高速度高荷重の運轉状態における摩擦の比は大略 1:2:4 である。

2. 推力球軸受に関して次のことが云へる。グリースを與へた場合の摩擦特性はスピンドル油を與へた場合に極めて似てゐる。スピンドル油或はグリースを用ひる限り粘度或は稠

[昭和 17 年 5 月]

図 8 (A)

度の相違は大して影響なく、又回転速度が高くなり軸受温度が昇つても摩擦は殆ど変化しない。モビル油及びカストル油に於ては回転数の増加につれて軸受摩擦が少くなり、油の粘度特性の相違に應じて摩擦性能が相違する。尚高荷重高速度の負荷状態に於ては潤滑剤の種類の如何に拘らず軸受摩擦は一定となる。摩擦係数はスピンドル油或はグリースを用ひる場合は荷重に関係なく一定であるが、モビル油或はカストル油を用ひる場合は荷重が増すにつれて減少する。

3. 単列深溝球軸受が推力荷重のみを受ける場合に関して次のことが云へる。推力球軸受に比し摩擦大であるが、潤滑剤の種類による摩擦の相違が比較的少い。荷重及び回転速度の高い場合軸受摩擦は潤滑剤の種類の如何に拘らず略、一定である。モビル油或はカストル油を用ひた場合に於て、低速

第 8 図 (B)

度低荷重の場合の摩擦係数と高速度高荷重の場合の摩擦係数の差が、推力球軸受及び円錐ころ軸受の場合より少い。潤滑剤の種類を問はず回転速度が高くなり軸受温度が昇つても摩擦は殆ど変化しない。グリースは摩擦特性に関し高粘度発動機用潤滑油とスピンドル油の中間的な特質を有してゐる。高荷重高速度の負荷状態に於てカストル油は良い適應性を示す。

4. 円錐ころ軸受が推力荷重のみを受ける場合に関し次のことが云へる。摩擦大きく温度上昇大であるが、低速度低荷重の場合を除けば潤滑剤の種類による摩擦の相違は比較的少い。回転速度の変化に應じて軸受温度が著く変り、回転速度の増加につれて軸受摩擦は少くなるがその程度は左程著し

第 9 図 (A)

ない。又荷重の増加につれて摩擦係数は多少減少するがスピンドル油及びグリースに於てはその変化が極めて僅かである。尚高荷重高速度の負荷状態に対しては粘度或は稠度の低い潤滑剤は不適當であり、耐熱グリースが比較的良い適應性を示す。

本研究は日本學術振興會第 29 小委員會第 5 分科における軸受研究の一部であり、これが実施に當り日本學術振興會及

第 9 図 (B)
(その 1)

[昭和 17 年 5 月]

(昭和 17 年 1 月 31 日受付)

正員 西原利夫⁽²⁾ 正員 佐々木外喜雄⁽³⁾

給油ポンプの回転速度は $5/8 \text{ rev/min}$ でそのときの給油量は約 0.5 cc/min である。第2図に示される如く給油孔は隙間側中央にあり、軸受温度は側面より油膜に接触し軸に接触しないやうに挿入された熱電対によつて測定せられる。軸受