

## Mechanism of Lubrication.

Journal of the Society of Automotive Engineers.

(Vol. XI. No. 1. July. 1922)

海軍技師 實吉金郎氏

茲に述べる事は rotating shaft と journal bearing との間に於ける Oil film に關する問題で之に就ては今日迄幾多の實驗が行はれて居るけれども其等の結果は authorities に依て種々の差異を表して居る。之は bearing の作用に影響を及ぼす variables の數が頗る多く且試験者に依て其等の關係を處理する條件が異て居る爲であるが今もし之等を相當合理的な關係に於て結び付けることが出来ればその結果を比較研究する上に於て有益なことと思はれる。

偕、bearing friction に關する variables として普通の場合次の様に擧げることが出来る。

1. 面の性質と形狀
2. 面の smoothness
3. 兩面の間の clearance
4. Lubricant の viscosity
5. Lubricant の film-forming tendency 或は oiliness
6. rubbing speed
7. bearing にうける壓力
8. 溫度
9. Lubrication の方法

實際に起るこれ等の間の複雑な關係を簡單にするために上の中の一部のみを variables と考へ bearing friction を次の function によりて表し得るものとする。即ち

$$ZNDL/l \text{ 或は } ZN/p$$

こゝに  $Z$  = working temp. に放ける lubricant の viscosity.

$N$  = 廻轉數

- $D$  = journal の徑
- $L$  = journal の長さ
- $l$  = bearing load
- $p$  = bearing の projected area に對する壓力、

今種々の試験者の得た結果から  $ZN/p$  なる値を coefficient of friction  $f$  に對して plot して見ればその與へられたる bearing の Characteristics を知ることが出来る。

今 ideal bearing に於てと journal と bearing との中心は完全に一致し面は絶対に smooth で oil groove, end lepage なく clearance space は液體にて充されて居るからこの場合には單に fluid film の molecular friction のみが抵抗として現れるのみである。總て  $f$  と  $ZN/p$  との關係は原點を通る直線にてあらはされ且  $f$  は clearance の大きさに比例する故に fluid friction の法則から  $f$  の値を算出すれば

$$f = 48 \times 10^{-9} D/C \cdot ZN/p$$

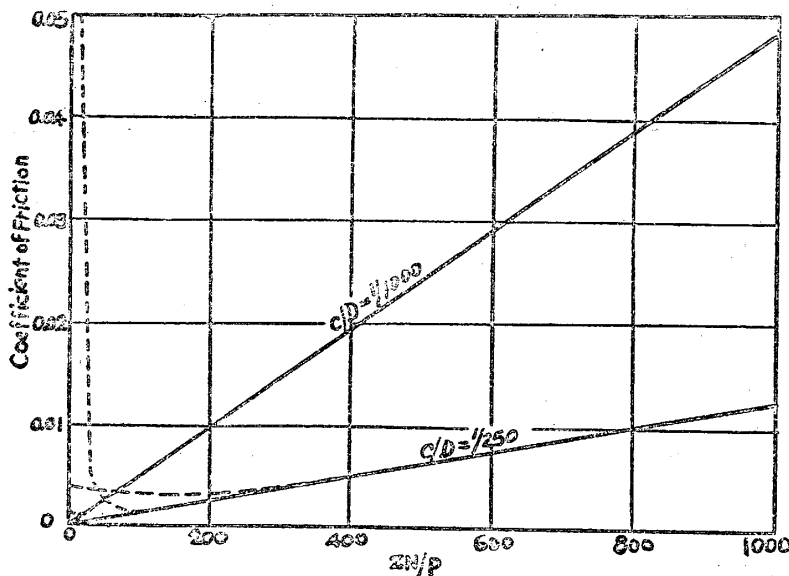


Fig. 1—PREDICTED CURVE FOR THE IDEAL BEARING

こゝに

$C$  = diametral clearance

$$\text{今 } \begin{cases} C/D = 1/1000 \\ C/D = 1/250 \end{cases}$$

なる場合は第一圖に示す如くなる。

實際には種々の deviations が起る、その主なるものを示せば次の如し。

a) journal と bearing との centre が完全に一致しないこと、Sommerfeld がこの

factor を考慮に入れて ideal equation を modify した結果を  $ZN/p$  に對して plot すれば第一圖の點線に示される様に  $ZN/p$  の小さい場合に於て  $f$  の値は直線から deviate する而して其の量は Clearance の大きいもの程大きく従て圖の様な交點を生ず。

b)  $ZN/p$  の値に或る critical point が存在すること。

即ちこれより以下に於ては oil film が破れて  $f$  の値が急に増し第一圖に見る垂直に近い點線に示す様な變化を起す。

c) bearing surface に於ける oil groove の影響。

特に high pressure side の oil groove は oil film を破る原因となる。

d) Oil の end leakage;

普通この影響も neglect なし得い程度のものである。

次に oiling method 及び Oiliness が  $f$  と  $ZN/p$  の關係に如何に影響するかと云ふに Harsey の實驗に依れば bearing が充分 lubricate されて居る以上は  $ZN/p$  は  $f$  に対して直線的に變化することが知られる、三種の油に対して Harsey の行つた實驗の結果は第二圖に示す通りで諸點は大體に於て直線に集合することがわかる、この場合給油量は毎分 2 滴で得られた直線の式は

$$f = 0.002 + 0.000018 ZN/p$$

である。

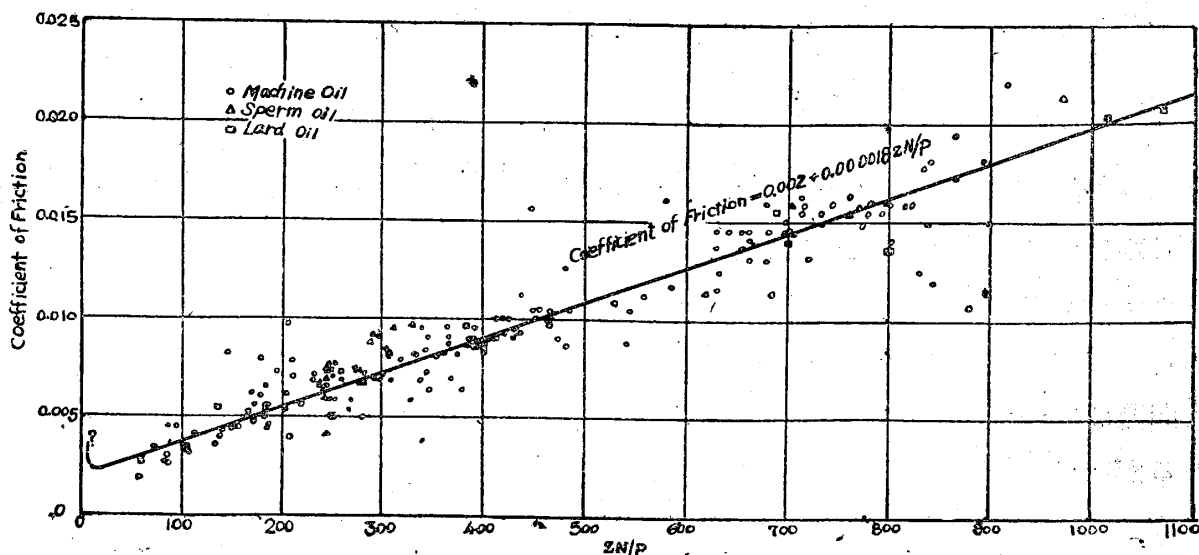


FIG. 2—RESULTS OBTAINED BY HERSEY IN LUBRICATING A STEEL JOURNAL 1 IN. IN DIAMETER AND 3 IN. LONG AND HAVING A BRONZE BEARING WITH A CLEARANCE-DIAMETER RATIO OF 1 TO 250 WITH LARD, MACHINE AND SPERM OILS

上の結果から  $f$  の値は油の種類に關係なく單に Viscosity のみに影響されることが知られたが、この事は他の實驗者、Herschel, Holde 等の得た結果と一致し猶 lubricant として用ゐ得ざる glycerine の如きものに對して行はれた實驗も同様の結果を示して居る。然るに之等の結果は bearing が充分 lubricate せられ metal surface と oil film に依て相當の距りを有する場合にのみ accept されるもので film rupture の起らんとする所謂 partial lubrication の状態に於て oiliness は其の影響を現す。此の點に於て lubricant としての適、不適を生ずるものと思はる。

Clearance の影響は bearing の設計に於て最も重要なもので之に關して行はれた比

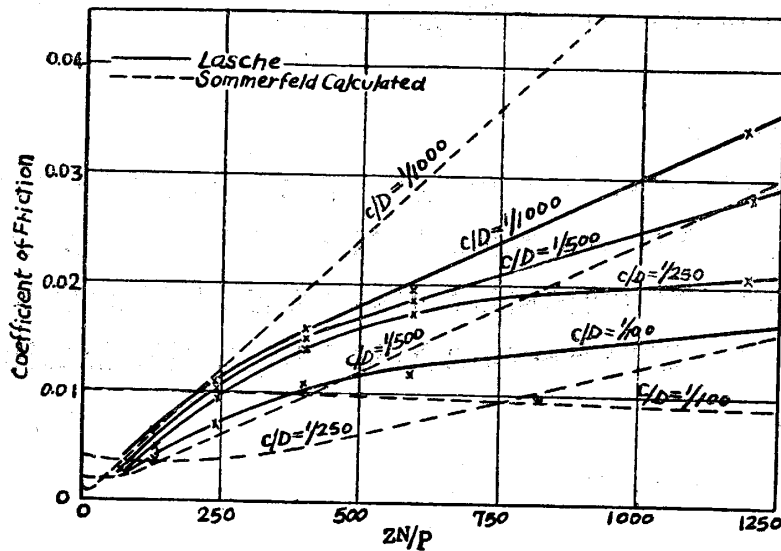


FIG. 3—COMPARISON OF LASCHE'S DATA FOR VARIOUS CLEARANCE DIAMETER RATIOS OBTAINED AS THE RESULT OF EXPERIMENTS WITH THE CALCULATED RESULTS OF SOMMERFELD

較的完全な實驗は Lasche の bronze bearing (260 × 110 m. m) と steel shaft に對して行つたものでその結果と Sommerfeld の計算上の値とを  $f-ZN/p$  の curve に依て比較すれば第三圖の如くなる。

之を見れば  $f$  の curve は大體傾向を同じくするけれども實驗的のものは convex upward になり先に Sommerfeld

が示したものと多少異なる、但、この實驗に用ゐられた bearing は oil groove を有するが故にこれに基く變差も少くないものと思はれる、他に之に關する適當な實驗が今日迄行はれて居ないのを遺憾とする。

更に進んで film rupture の起る critical point に關する問題は興味あるものであるが前に擧げた Harsey, Lasche 等もその點まで實驗を進めて居ない、之に關して著明なのは Streibek の實驗で異つた bearing metal に對して一定の clearance の下に行はれて居る、Original のものは種々の

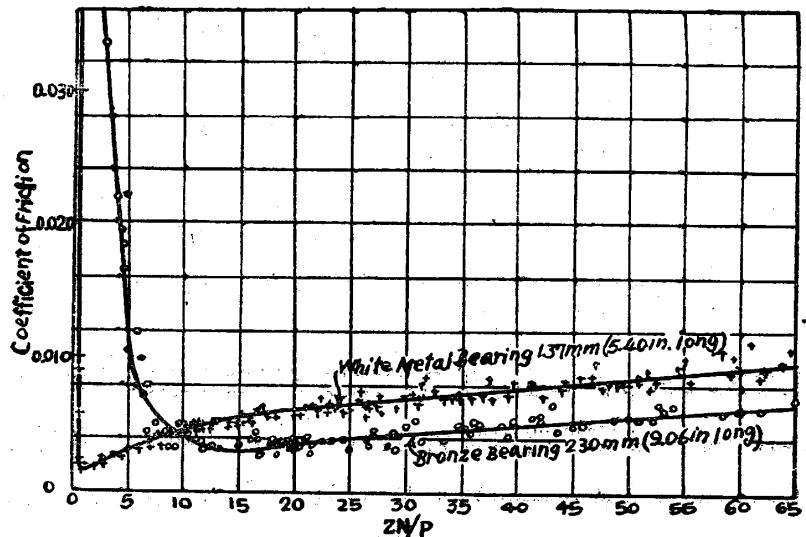


FIG. 4—DATA OBTAINED BY STREIBECK ON BRONZE AND WHITE METAL BEARINGS WITH A STEEL SHAFT 70 MM. (2.76 IN.) IN DIAMETER.

factors に對して plot された數種の曲線で表はされてあるが之等を  $f-ZN/p$  curve に一括して見ると第四圖の如くなる。

即ち前に推定した様に  $ZN/p$  の critical point 以下の値に對して  $f$  は急激な増加を示しこの場合  $Z, N, p$  等は  $f$  に對し fluid film region に於けると全く反對な作用を有することが知られる、猶 bearing metal の種類に依て fluid film を保つ能力に著しい差の存することは注目すべきことで bronze bearing は  $ZN/p=13$  の點に於て既に rupture を起すに反し white metal bearing は  $ZN/p=1$  附近まで film を保つて居ることがわかる言ひへれば同じ安全係數 5 に對し

$$\left. \begin{array}{l} \text{前者は } ZN/p=65 \quad f=0.0065 \\ \text{後者は } ZN/p=1 \quad f=0.0033 \end{array} \right\} \text{となる。}$$

この原因の主なるものとして考られる事は

a) white metal が bronze よりも軟い爲めに面の不規則な點が bed down せられ所謂「なじみ」が良い故に局部的に高壓箇所の生ずることが少く従て film rupture が抑止されしこと、

b) white metal の absorptive property に基き極めて薄い semisolid film を生じ實際の film rupture の起る迄 metal contact を起さしめなかつたこと。

等である、猶 critical point に對する clearance の影響に對しては未だ完全な實驗がない様であるが Heimann の行つた實驗その他に従へば一般に clearance の小な場合に  $ZN/p$  の大きい値に對して  $f$  の値は大きいけれども fluid film は clearance の大きい場合よりもよく保たれる。

Critical point は bearing metal によりて異なるのみならず又 lubricant の性質によりても異るとは直ちに推察されるところであるがこの點に就ては僅かに Archbutt 及び Deeley の實驗があるけれども journal bearing に對して行つたものでこゝに重要視することは出来ない、將來この方向に完全な實驗の行はれるのは望しいことである。

この他 bearing に関しては isolate した實驗が相當にあるが其の中の價値あるものの一つとして Kingsbury の high speed bearing に對する實驗を擧げる。

此の場合 clearance は極めて小さく  $C/D=1/3750$  で従て lubricant として oil を用ひず air をその代用とする。第五圖はその結果にして同一の clearance に對する Sommerfeld の theoretical curve と殆ど一致するを見る。この場合に於ける bearing surface が ideal condition に近く end leakage が極小である結果と思はれる、要するに上に擧げた多くの實驗の結果は種々散逸して居るためにその何れをとるも不完全な點あるを免れず Lubricant の temp と viscosity との関係及び bearing の working temp. の變化等を

account に入れた實際的な  
 實驗結果の如きも未だ發表  
 されない様である。今後其  
 等凡ての考慮した完全な實  
 驗が行はれて的確な結論を  
 示すことが出来れば一般に  
 益するところが少なくない  
 事と思ふ。

實際の場合 journal bear-  
 ing の efficiency は大體に  
 於て  $ZN/p$  の値が critical  
 point の五倍附近にあると  
 きの  $f$  に對して定められ

る、實例によつて  $ZN/p$  の値を示せば次の如し。

|                        |                     |
|------------------------|---------------------|
| Aero-engine crankshaft | $ZN/p = 15$ to $25$ |
| Steam turbine          | $= 100$ to $200$    |
| De Laval turbine       | $= 1500$ to $3000$  |
| Cotton mill spindle    | $= 10,000$          |
| Gyroscope              | $= 55$ .            |

猶 Machine tools その他に於けるが如く stopping & starting の頻繁なるもの、peak load を受けるもの又は attention のよく行届かないものにおいて安全係数は比較的高く 15 内外に取らるゝを要すれども generator, turbine 等の如く continuous steady に働くもので注意のよく届く場合には安全係数は 5 位にて足る。ball bearing 及び roller bearing の價値は單に coeff. of friction が低き點に存せず  $f-ZN/p$  の curve が適當の高さに flat であつて  $ZN/p$  の極めて小さい値に對しても curve は急に上らず critical point なるものを認めることが出来ないと云ふ點に存する即ち journal bearing に對して優る點は小さい  $ZN/p$  に於て安全率の高い事であると云ふことが出来る。(終り)

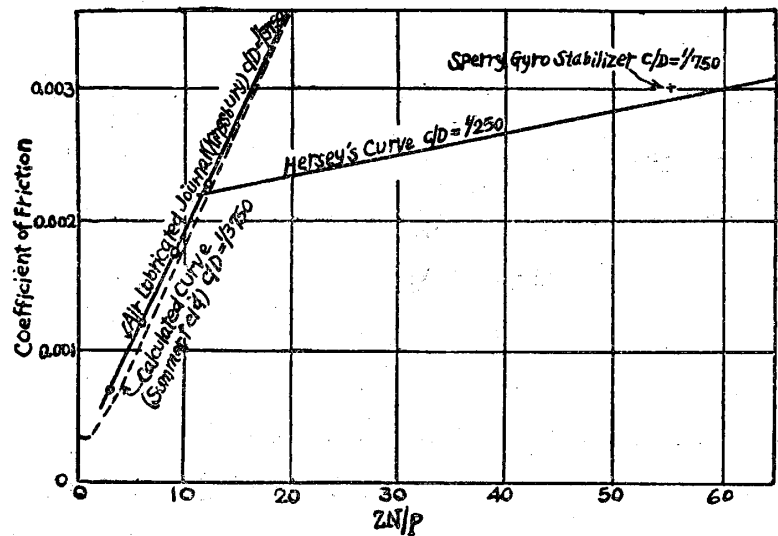


FIG. 5—COMPARISON OF THE RESULTS OBTAINED BY KINGSBURY WITH AN AIR LUBRICATED JOURNAL WITH THE PREDICTED CURVE FOR THE IDEAL BEARING OF SOMMERFELD AND THE RESULTS OBTAINED BY HERSEY