軸受メタルの焼付きに関する研究 (第1報)*

(焼付き核の生長の仕方)

岩 城 晃**

Study on Seizing of Bearing Metals (1st Report) —How to Grow the Seizing-nucleus on Bearing Metals—

by

Akira IWAGI

(The Kyūshū Institute of Technology)

Seizing between shafts and bearings is an incidental occurrence, so it is difficult to make clear the phenomenon, but it is well-known that its mechanism consists of two processes, birth of the seizing-nucleus and its growth. Therefore, there is no seizure where there is no seizing-nucleus to come out and even if it does come out it doesn't matter if there is no growth of nucleus.

To make clear the property of seizing, we must study the way of rise of seizing-nucleus and the process of growth of the nucleus. It is the object of the 1st report to make research on how grows the seizing-nucleus on bearing metals.

First, to find out the growing mark of a seizing-nucleus on bearing metals from replica caused by roughness of shaft surface on it, the order of replica by shaft's roughness is investigated. Then it is found that replica is affected not by load but by its roughness, and that the roughness replicated is less than about $H_{\max}=0.5\mu$.

From the results experimented on seizing up, it was made clear that there are three typical growing of the nucleus, Slender, Flat and Similer and that among which Slender type is the most suitable one for bearing metals.

(Received May 23, 1957)

1. 緒 言

軸受などのすべり面に起る焼付き現象は偶発的な要素を多分に持った取扱いはなほだ迷惑する現象で、機構的には焼付き核の発生とその生長との二つの過程にわけられ、ここに焼付き核が発生しなければもちろんメタルは焼付かず、また、核が発生してもそれが生長しなければ当然大事にいたらないものである。したがって、焼付き現象を明らかにするためには、また、焼付き防止のためにも、この焼付き核についてそれぞれ発生の動機と生長の仕方とをきわめねばならない。しかし核の発生が軸材とメタル材との局部的結合結果であるのに対し、核の生長はメタル材どうしの結合過程であるから、その仕方は全くメタル材に依存することが想像され、ある意味で取り扱いやすく、よって初めに焼付き核の生長について考察することにする。

2. 実験にさきだって

焼付きが緒言のように二つの過程に分析されていて

も容易に解明されないのは、要するに焼付き核の発生の時間とその位置とが運転中におさえられないためで、通常観察される焼付き現象は多くは焼付いた結果にすぎないからである。これに関連し、また同じ理由で明らかにされない問題に軸あらしのメタルへ及ぼす影響がある。そしてこの問題はメタルに残される焼付き核生長の痕跡と軸あらしのメタルへのレプリカとを分離区別するために、同時に調査せねばならないことでもある。それゆえ、焼付きの実験にさきだって核発生の場所が観察される手段、したがって、その時期も観測される手段の工夫が必要になる。

よってここでは接触状況が常に観察される手段として交叉円柱方式を採用する。元来この方法は Bowden や Holm¹⁾ らが接触機構の究明に用いるもので、かれ

* 原稿受付 昭和32年5月23日, 昭和31年11月9日九州地方大会で講演

** 正員 九州工業大学

らは両者を静圧しているが、Barwell や Grunberg³⁾ らは一方に回転を与え潤滑の物理的考察に、Twill や Lewis⁴⁾ らは摩擦の基礎研究に採用している。しかし、運動論的には両者にそれぞれ回転、移動および静止の3者を与えて組合されるおよそ10型式の相対運動が導かれるから、一般にはこのなかより合目的なものを選べばよく、焼付き核の生長の場合、メタル材に相当した円柱に回転を、また軸材に相当した円柱に回転と移動とを与えてメタル材に生ずるらせん状の摩擦痕を観察すればよいことがわかる。

Photo. 1. Ariangement.

3. 実験の内容

i) 実験装置 実験装置は上記の要領を Photo. 1 の写真のように具体化したもので、旋盤の刃物台のかわりに両端に活心、死心を持った弓型を活心駆動のペベル軸を中心に上下にスイングするように横送り台に取り付けたもので、旋盤の主軸にはメタル材の円柱を取り付け低速回転 300 r.p.m. で回し、一方、弓型のセンタには軸材の円柱を取り付け、独立したモータで高速回転 1200 r.p.m. を与え、往復台は 18 山/時のねじ送りとした。したがって、両円柱の接点をバイト刃先と見なせばわかるように、メタル材円柱には Fig. 1 のようならせん状の摩擦痕ができる。軸材の重量を含めて弓型の全重量はその一端を前記スイングの軸で、他端をメタル材との接点で支えられるから、横送りによって弓型を出し入れすれば、接点の位置が変わり接点に加わる圧力もある値より連続に変わる。本装置では 1 kg から 6 kg まで変えられた。

ii) 供試材料 軸材には高速度鋼 2 種を用い焼入れ研磨し、砥石の粒度を変えておよそ 3 種のあらさ細 R_1 中 R_2 , 荒 R_3 を、たとえば Fig. 2 の上段のように与えた。他方、メタル材には軟鋼 FeS, 鋳鉄 FeC, 黄銅 Bs, 銅 Cu, アルミ Al を用い $H_{\max} = 3\mu$ 以下の表

Fig. 1. Wearing traces causing on test piece.

面仕上げを施した。円柱の大きさは直径 1 吋で長さが 300 mm である。

iii) 実験要領 まず、軸あらしの影響を知るため、さきに用意された軸材からそれぞれあらさ程度の異なる R_1 , R_2 および R_3 の円柱を選び各種材メタル円柱 3 本と組み合わせ、摩擦粉の影響を避け合わせて潤滑油の効果を知るため、スピンドル油ならびにタービン油の噴射潤滑を行い摩擦実験を行った。測定はメタル材円柱にできたらせん状の摩擦痕のなかから 1, 2, ... 6 kg の六つの負荷点を求め、それぞれ Fig. 1 に示したように、らせんに沿った A 方向とそれに直角な B 方向との表面曲線を大越式あらさメータで測った。なお、後の参考上記 6 箇所付近の潤滑油を採集し、遠心分離して摩擦粉顕微鏡写真をとった。

Photo. 2. Generating of seizure's nucleus.

また、焼付き核の生長については、前者よりさらになめらかな軸材 $H_{\max} \leq 0.5\mu$ を選び軸あらしのレプリカが無視されるようにして、タービン油ならびにスピンドル油を塗布し運転中の潤滑を避けて、とにかくメタル材が焼付くまで試験した。中にはメタル材全長にわたって摩擦痕ができて焼付かないものもあったが、焼付きが発生するまで同種メタル材が用意された。測

定は焼付いたメタル材の、たとえば、Photo. 2 のような鋭い切口の焼付き痕を初期のものへたとし、最初から切口に沿った円弧形状と直角な断面形状の表面曲線を同じく大越式あらさメータで測った。

4. 実験結果

i) 軸あらしのレプリカ Fig. 2 は3とおりの軸あらしが6段階の圧力 $P_1=1\text{kg}$, $P_2=2\text{kg}$, ..., $P_6=6\text{kg}$ のもとにメタル材に残した影響の一部を示し、

上より軟鋼、黄銅および銅の場合を、また左より細、中および荒の軸あらしの例を区割別に示し、区割内では上より組み合わされた軸あらし、続いて各圧力のもとに生成されたメタルあらしを示す。この生成関係は通常のすべり軸受でも接触の行われる局部局部では成り立つことが想像される。

それらの結果を定量的に示すため、メタル材あらしから標準偏差 σ_M を計算し $5\sigma_M$ をあらし程度の表示量として、軸あらし毎にわけ、それぞれの圧力の上にプロットすれば Fig. 3 が得られる。図から軸あらしに応じて各材質とも大、中、小程度のあらしが生成されていることがわかる。ただ同じ軸あらしが荒とされているものでも、メタル材種と組み合わされたものの程度が異なるため、異状な相異が現われ、また、荷重によっても異状な変動が見られるが、それらは一応標本変動と見なしてよい。そうすればメタルに生成されるあらしは荷重に無関係であるといえる。

しかし、一般に荷重が大きくなれば摩耗量が増加し、したがって、すべり面も荒れがちになることが想像されるので、その点を吟味するため、各圧力近傍で採集した摩耗粉の顕微鏡写真の一例、すなわち、2kg, 4kg および 6kg のときの軟鋼の場合を Photo. 3 に示す。倍率はいずれも230倍であるが、それらの大きさはほとんど等しいことがいえ、他の軸あらしの場合と比較して大きさの相異を軸あらしに帰せしめる

Fig. 2. Roughness of shaft and generated roughness of metal (hatching).

Fig. 3. Generating roughness of metal by large, middle and small roughness of shaft.

Photo. 3. Size of wearing particles. ($\times 230 \times 2/3$)

ことができる。この意味では摩耗量の増加を摩耗粉個々の肥大ではなく個数の増加で説明できるから、面の荒れ方は摩耗粉の大きさに関係すると見られるので、メタル面のあらさは荷重に無関係としてさしつかえがない。ただ、現実にはメタル面がより多く荒れるとすれば、粗化因をなす摩耗粉がより多く介在する可能性があるためとしてよからう。

最後に、軸あらさとレプリカされたあらさとの関係をメタル材種ごとに調べると Fig. 4 が得られる。図は

Fig. 4. Relation between roughness of shaft and generated roughness of metal.

らさとを分離し核の生長過程を求めるためには、焼付き実験に使われる軸のあらさは R_0 以下であればよく、概して 0.5μ 以下であれば一応充分といえる。

ii) 焼付き核の生長 以上の結果を参考にして焼付き実験が行われたが、その結果の資料を各材質について示せば Photo. 4 のようになる。写真は焼付きの激しく起っているところから逆に追って初期のものを見出し写したもので、写真に見られる垂直方向の筋が核の発生に伴う切口で、下から1段、2段、3段と激しくなっているが、これはメタル材が回転してできるつぎつぎのねち面にあたるからである。光線の関係で軟鋼では黒く、鋳鉄では白くでている。いま、この舟型の切口を最初のもの、すなわち核の発生時のものから数えて、第1、第2、……とし、メタル材円周の $30/1200 = 1/40$ ごとに見出される切口群を、切口に直角な断面と切口に平行な底辺とをあらさメータで写像すれば、Fig. 5 が得られる。同図(a)は直角な断面で、軸に発生した核によるあたかも一枚刃バイトの切削面の姿を呈し、この⁵⁾切口の肥大過程が焼付き核の生長の反映にほかならない。同図(b)は切口の一番深いとこ

Photo. 4. Views of seizing on various materials.

横軸に軸あらさ $5\sigma_s$ を、縦軸にレプリカされたメタルあらさ $5\sigma_M$ の各圧力の平均をとったもので、各材質ともほとんど線形で、 R_s を軸あらさ、 R_M をメタルあらさ、 R_0 をこれ以下ではレプリカが認めにくくなる限界の軸あらさで材質に依存した値とし、 k をメタル材に依存した比例定数とすれば、いずれも

$$R_M = k(R_s - R_0) \quad (1)$$

で表わされる。また、Fig. 4 から一般にやわらかいメタル材ほど細い軸あらさにまで影響され、一方、軸あらさの変化に対してかたいメタル材ほどその変化を感じることがいえる。しかして R_0 の値は銅で 0.1μ 、黄銅で 0.3μ 、また軟鋼では 0.5μ と推定され、実際上はとにかく軸あらさは平滑であればよいということになり、したがって、焼付き核の発生とレプリカによるあ

Fig. 5 (a). A-direction-curves of surfaces in Fig. 1.

Fig. 5 (b). B-direction-curves of surfaces in Fig. 1.

Fig. 6. Breadth and height of section of seizure's nucleus growing in every revolution of shaft.

ろで核の尖端の通過したあとを示す。それが円弧状であることは、さきの1枚刃バイトのたとえがよく現われている。ただ、それら円弧のなかにはかなり複雑な凹凸を含むものもあるが、底辺がその形をしているのではなく、(a)図の一番深い谷をたどらずつむりの触針が隣の山谷にかかるため思わぬ凹凸が写像されるものと考えられる。したがって、図中の点線を真の底辺と見てよい。また、(b)図のなかに示された二、三の直線状の写像は焼付いていない切口と切口との間の摩擦痕で切口と比較するとき、焼付きの激しさが知られる。

さて、切口の1番目、2番目、……と各々の時間間隔は軸材の回転速度、すなわち $60/1200 = 1/20$ 秒にあたり、さらに核がメタル材と接している時間はそれに軸材円周長と摩擦長さとの比、およそ $1/150$ 程度をかけた約 $1/3000$ 秒となって、このわずかな時間の真実接触が核の凝着肥大に寄与するのであるから、まさに驚異で、焼付きの根元がおさえられず偶発事象とされるのもごく自然といえる。しかし、その発生の動機は別として、ここに核の肥大過程の取り出されたことは焼付き現象を解明する上により手掛りを与えるものとしてよからう。

(a)図の模様を定量化するため、核の最初のものからとおし番号を打って、それぞれの番号の上に切口の幅 B と H 深さとをとれば Fig. 6 となり、それは軸に発生した焼付き核の生長過程に匹敵する。図中の点線ならびに実線はそれぞれスピンドル油とタービン油との潤滑材の相異を示すが、いずれの場合も両者の差は認めがたい。ただ黄銅の幅のグラフが初めかなり離れているが、これは潤滑油の相異に帰すべきではなく、他の原因によるものとしてよからう。

5. 考 察

一部の考察は実験結果の項でも触れたが、ここでは主として核の生長の仕方について考える。さて、Fig. 6 はメタル材の典型的な三つの型にあることがわかる。すなわち、黄銅の場合

は幅がほとんど変化しないが、高さは増加の傾向にあり、また、銅は初期に少しばかり高さが増加するが後はほとんど一定して変らず、一方、幅は次第に増加し黄銅の逆の傾向にある。さらに軟鋼では幅も高さもいずれも増加の傾向にあることがわかる。

いま、これらを線形関係で置き替えると、たとえば Fig. 7 の上のようになる。ここで核を3角で模型化すれば下図のごとくになって、核の生長を現わす代表的な型、すなわち、相似型、偏長型および偏平型の三つが得られる。容易に想像されるところであるが、メタル

Fig. 7. Three typical models of growth of seizure's nuclei.

材としては相似型になるものが一番悪く、その生長の仕方は堅実で衰弱の可能性がほとんどないからで、たとえば、焼付いたまま運転を続けた軟鋼メタル材の円柱が数分にしてその径を半減することもあった。偏長型は一番よく、核が深く生長するから模型の2等辺の剪断応力は急激に増加し、しかし、底辺はその割に増加しないから、底辺のもつ凝着力はいつかは負けて核の脱落をきたすことになるからである。しかして核が発生して脱落するまでの時間はせいぜい20～30回転であるから1秒前後となり、あたかも焼かない材料として眺められる。偏平型はメタル材が軸をメッキする姿に進展し、潤滑油がその中間面を覆うとき、がたつきながら運転を続け、実際の場合には分解して初めて知られる型である。

焼付きを火災とたとえたと焼付き核の発生は火元の発生で、火事を防ぐ第1条件が火元を作らぬことであれば、焼付き防止の第1条件も核の発生を防止することで、また、火災は延焼しなければ大事にいたらないゆえ、災害をくいとめる第2の条件が延焼防止にあるように、焼付き防止の第2条件も核の生長阻止でなければならない。しかして、この第2の条件がメタル材に強く依存するからには、当然メタル材の吟味が必要で焼付き核の生長の仕方が偏長型となるものを選ぶべきであろう。

6. 結 言

焼付き現象を新しい観点から調査するため、交差円柱にそれぞれ回転と移動とを与えた新しい手段を用い、焼付き核の生長状況を軸あらしのレプリカと弁別する

ため、まず、軸あらしのメタルへの影響を調べ、結局 Fig. 4 の関係が知られた。すなわち、それらを要約すれば、軸あらしはメタル材によって定まる程度のあらし以上になれば、軸のあらし程度に線形的なレプリカが見られ、やわらかいメタル材ほど細かいあらしにまで影響され、あらしの変化に対してはかたいメタル材ほど敏感であることがわかり、また、レプリカされない軸あらしはおよそ 0.5μ 以下となり、その程度で焼付き核の痕跡も見出されるから、それらを考慮して焼付き核の生長の仕方が調査され、結局 Fig. 7 の模型に示された生長の仕方、すなわち軟鋼のような相似型、銅に見られる偏平型、そして黄銅のような偏長型の三つの典型的な型のあることがわかり、メタル材としては核脱落の可能性の多い偏長型に属するものを辺べばよいこともわかった。

最後に、本研究にさいし協力された鎮守一君ならびに卒論として努力された現在三菱化成に勤務中の中島信司君に厚く感謝する。

注：—

- 1) R. Holm, Electric Contacts (1946)
- 2) F.T. Barwell, L.G. Runberg, A.A. Milne and K.H. Rweight, The 4th World Retrol Congr. Sect Preprint 3 (1955)
- 3) S.B. Twiss, C.R. Lewis and D.M. Teague, Lubrication Engineering, 12 (1956)
- 4) 岩城晃, 日本機械学会九州支部中津地方講演会前刷
- 5) F.P. Bowden and J.B. Pwilliamson, Engineering, Vol. 182, No. 4782 (1956)

(17頁より)

Effect of Composition and Heat Treatment upon the Impact Properties of AISI Types 403 and 410 Stainless Steel, E.J. Whittenberger, E.R. Rosenow, and Eugene Klier

AISI 型 403 および 410 不銹鋼の衝撃特性に及ぼす成分および熱処理の影響

An Empirical Relationship Between Rupture Life and Minimum Creep Rate in Creep Rupture Tests, Forest C. Monkman, Nicholas I. Grant

クリープ破断試験における破断寿命と最小クリープ速度との経験的關係

Correlation of Torsional and Tensile Prestrain Effects on Fracture Properties, I. Rozalsky

破断特性に及ぼす捩りおよび引張初ひずみ効果の關係

The Effect of Brittle Skins on the Ductility of Metals, G.W. Form, and W.M. Baldwin, Jr.

金属の延性に及ぼす脆性表皮(表面処理による)の影響

Notch Tinsile Behavior of Face-Centered Cubic Metals, E.J. Ripling

面心立方金属の切欠引張挙動

Materials for Helical Compression Springs for Use at Constant Deflection from 600 to 1400 F.,

R.G. Matters and R.E. Lochen

600 ないし 1400 F で一定撓みで用いる圧縮コイルばね用材料

(28頁へつづく)