

UDC 621.892:
621.822:
629.7

航空宇宙技術研究所報告

TECHNICAL REPORT OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TR-348

境界潤滑におよぼす雰囲気の影響(I)

西村 允・松本 豊

1974 年 1 月

航空宇宙技術研究所
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

目 次

1. ま え が き	1
2. 実 験 装 置 と 実 験 条 件	2
2.1 実 験 装 置	2
2.2 実 験 条 件	4
3. 実 験 結 果 お よ び 考 察	5
3.1 ピン/円板型摩擦試験機による摩擦試験	5
3.1.1 油潤滑した純金属同士の摩擦摩耗におよぼす真空保持時間の影響	5
3.1.2 油潤滑した純金属同士の摩擦摩耗におよぼす雰囲気圧力の影響	13
3.1.3 ジメチルシリコン油潤滑下の純鉄同士の摩擦摩耗におよぼす雰囲気の影響	16
3.2 クロスピン型摩擦試験機による潤滑油の耐荷重能試験	16
3.3 0.1% ステアリン酸添加油潤滑における銅表面上の水分吸着層の摩擦摩耗におよぼす影響	21
4. 結 論	23

境界潤滑におよぼす雰囲気の影響 (I)*

西村 允**・松本 豊***

Effect of Atmosphere on Boundary Lubrication (I)

By Makoto NISHIMURA and Yutaka MATSUMOTO

Lubricating properties of iron and copper lubricated with a mineral oil with or without 0.1% stearic acid and with a dimethyl silicone were studied in air and in vacuum up to 10^{-6} Torr by using a pin on disc friction and wear machine. Load carrying capacities of the same oils were tested using a cross-cylinder load carrying capacity tester also in air and in vacuum.

The obtained results are as follows:

(1) With the mineral oil the friction and wear of the copper test pieces was minimum in the atmospheric pressure and increased with the reduction of the ambient pressure, while with the oil containing 0.1% stearic acid it was almost constant in the tested pressure range. It increased only when the specimen was kept for more than four hours in 10^{-6} - 10^{-7} Torr before the test.

(2) The iron test pieces did not show such marked differences in the friction and wear as the copper test pieces by the presence of 0.1% stearic acid.

(3) In contrast to the mineral oil the friction and wear of the iron test pieces lubricated with the dimethyl silicone was lower in vacuum than in air, but much higher than with the mineral oil.

(4) The copper test pieces, which were heated to 100°C for 5 min. in 10^{-6} Torr, cooled to room temperature and then painted the oil with 0.1% stearic acid, showed high friction and wear, indicating that the stearic acid loses its effect without adsorbed water layer on the surfaces.

1. ま え が き

近年、宇宙開発の進展および真空工業の発展とともに、真空中で作動する機器の潤滑が問題となっている。そのための潤滑剤としては、主として2硫化モリブデンのような固体潤滑剤が使用されているが、油など流体潤滑剤に比較して、固体潤滑剤はいったん潤滑膜が破断すると破断部分に潤滑剤が再付着して潤滑能力を回復する自己補修性にとぼしく、潤滑膜の寿命は限定され、信頼性も低い。

潤滑油は上記の点で固体潤滑剤よりも格段に優れている。しかし潤滑油を真空中で使用するには多くの問題がある。第1に鉱油系潤滑油は酸素のない雰囲気中

で潤滑能力を大幅に失うという問題がある^{1),2)}。このため真空潤滑油としては雰囲気依存性のない合成潤滑油を使用するか、鉱油に酸素のない雰囲気中でも作用する添加剤を添加して使用する必要がある。第2に潤滑油の真空中での蒸発が問題となる。真空中においては潤滑油は室温でも蒸発による減量は避けられない。したがって蒸気圧が低く、蒸発速度の遅い潤滑油を選択し、潤滑油の密封に工夫をこらすなどの手段を講じなければならない。第3に真空中では対流熱伝達による熱の除去がなく、潤滑油は熱的に苛酷な条件にさらされやすいことである。真空中においては潤滑油の温度上昇は蒸発の促進や熱分解に直接結びつき、容易に潤滑不能となると考えられる。真空用潤滑油としては熱安定性の良いことが要求されるとともに、摩擦条件の厳しい箇所の潤滑油による潤滑は避けねばならない。

* 昭和48年8月10日受付

** 宇宙研究グループ

*** 慶応義塾大学大学院

以上の諸点に留意して潤滑油および添加剤の選択、軸受の設計を行なえば、真空中での潤滑油の使用は充分可能であると考えられる。

現在、真空用潤滑油としてはシリコン系合成潤滑油、特にふっ化シリコン油が使用されはじめている³⁾。ふっ化シリコン油は真空中に実用して良好な性能を示したと言われるが³⁾、その高真空中、高荷重下における性能はかならずしも明らかではない。また現在のところ非常に高価で、民生用に大量に使用する場合には経済性に問題があると思われる。

その点、鉱油系潤滑油に添加剤を添加して、真空中においても潤滑能力をもたせるようにすれば有利である。しかし真空中においても機能を失わない添加剤に関する報告はほとんどない。したがって鉱油を真空用潤滑油として使用するには、まず、酸素のない雰囲気中でも機能を発揮する添加剤を見出さなければならない。

鉱油系潤滑油への添加剤で直接潤滑能力を左右するものとしては、ステアリン酸などの油性剤および各種極圧添加剤がある。

油性剤は金属表面に吸着して強固な配列膜をつくり、この配列膜が摩擦摩耗を減少させるが、配列が強固であるためには酸素および水分が必要であると言われている。曾田、小西は油中の酸素量が少ないほど、ステアリン酸の下地金属への吸着強度は強まるとしている⁴⁾。彼等は油中の酸素が非常に少なくなった場合については言及していないが、Vinogradov らが 0.1% ステアリン酸添加油について実験したところでは、ステアリン酸は酸素のない雰囲気中でその効果を失うことを見出している⁵⁾。しかし 4% のパルミチン酸を添加したシリコン油を鉄系材料に塗布した場合、 10^{-7} torr 中に 117 時間放置した後においても低い摩擦係数を示したとの報告もあり¹⁾、油性剤の雰囲気依存性に関しては不明な点が残っている。

極圧添加剤は潤滑条件が厳しくなり、油膜の破断が発生するような状態下で下地金属と化学反応するか、あるいは添加剤内部で反応して反応膜を生成し、焼付きを防止する作用を行う。その際、酸素の果たす役割が大きいとされ、摩耗痕上の摩耗粉の分析から下地金属や極圧剤成分の酸化物が同定されている例も多い⁶⁾。しかし極圧添加剤の種類は非常に多く、中には酸素のない雰囲気中でも極圧性を失わないものもあると考えられるが、そのような極圧添加剤の報告は見当らない。

以上の主旨から本研究は鉱油系潤滑油、シリコン系

潤滑油、油性剤および極圧添加剤の性能におよぼす雰囲気の影響を明らかにすることを目的として次の諸点について行われた。

- (1) 鉱油系潤滑油および 0.1% ステアリン酸添加油で潤滑した鉄および銅試料の摩擦摩耗におよぼす雰囲気の影響。
- (2) ジメチルシリコン油で潤滑した鉄試料の摩擦摩耗におよぼす雰囲気の影響
- (3) 鉱油系潤滑油、ジメチルシリコン油および 0.1% ステアリン酸添加油の耐荷重能におよぼす雰囲気の影響
- (4) 0.1% ステアリン酸添加油潤滑下における銅試料面上の水分吸着層の摩擦摩耗におよぼす影響
- (5) 各種極圧添加剤の耐荷重能におよぼす雰囲気の影響
- (6) シリコン系合成潤滑油の耐荷重能におよぼす雰囲気の影響

本報においては(1)~(4)の結果について述べ、第 2 報において(5)、(6)の結果を報告する。

2. 実験装置と実験条件

2.1 実験装置

用いた実験装置を図 1 に示す。本試験機はピン/円板型試験機として最高荷重 5 kg、最高回転数 1,000 rpm で摩擦試験を行なうことができるが、部品を交換してクロスピン型摩擦試験機として使用する場合、荷重 0~180 kg、回転数 0~1,000 rpm の範囲で耐荷重能を試験できる。

図 2 はピン/円板型摩擦試験機としての概略である。摩擦機構は Bowden-Leben 型の一つで、アーム A の一端に棒状試片 B を取付け、回転する円板 C に接触させる。A はベローズ D を介して真空槽外に出て、4 個

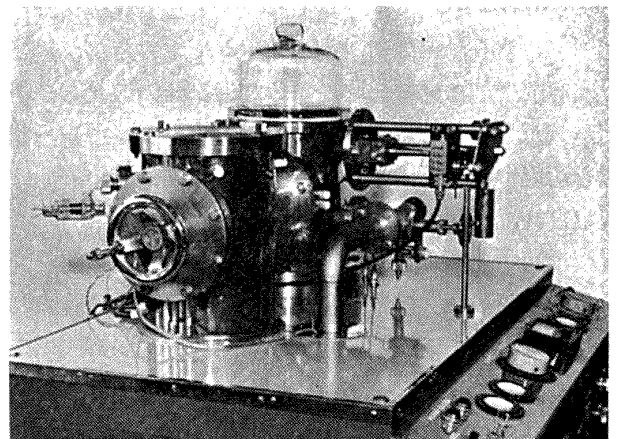


図 1 真空潤滑油試験装置

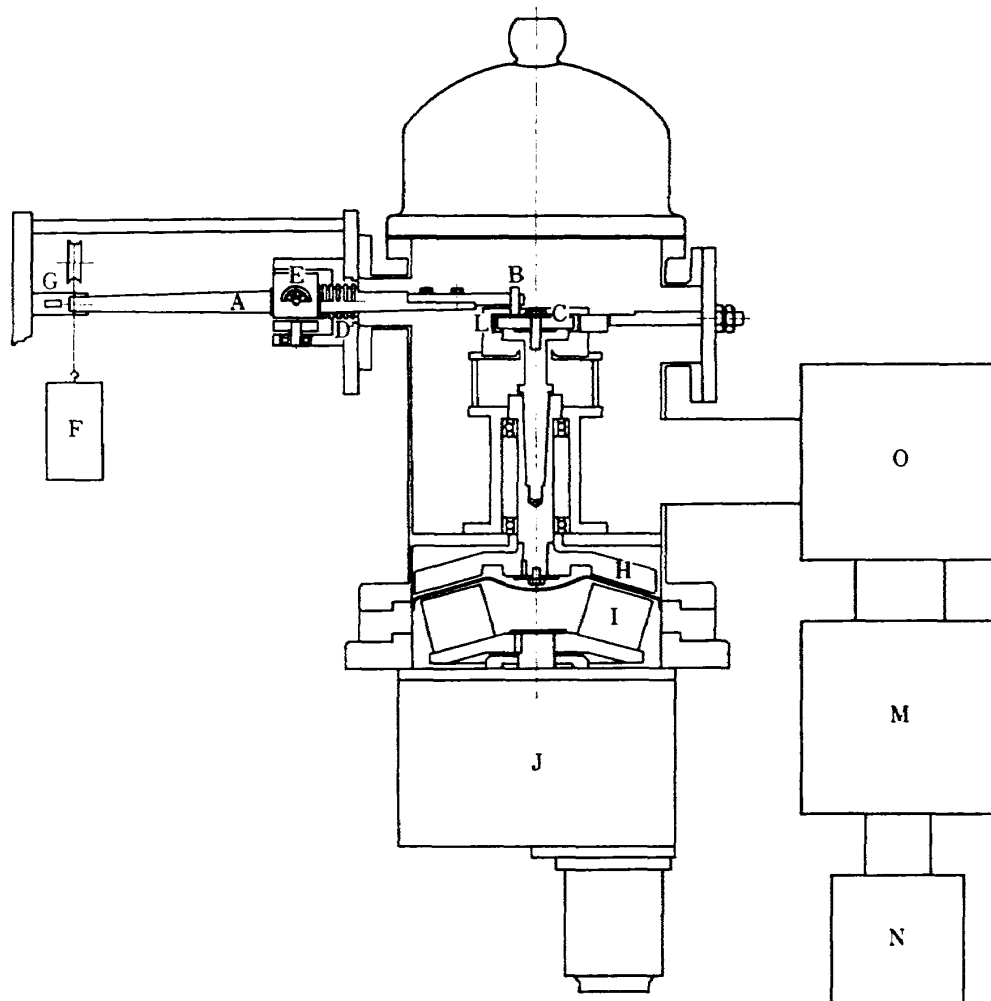


図 2 真空潤滑油試験装置 (ピン/円板型摩擦試験とした場合)

の玉軸受を用いたジンバル機構Eに支持されている。Aの他端には重錘Fをつるして荷重を負荷すると同時に、端はストレインゲージを貼りつけた板バネGに接している。摩擦力はストレインゲージに接続された自記記録ひずみ計に記録される。

円板Cは2個の玉軸受(*6206)によって支持され、真空槽外部よりマグネットカップリングを介して駆動される。マグネットカップリングは真空槽内が24個のスリットをもった円板Hと、厚さ1mmのステンレス板をへだててそれに対面して設置された24個のフェライト系磁石を取付けた円板Iよりなる。円板Iは1:1, 1:10, 1:100の3段式変速機Jを経て油圧モーターKに接続しており、回転数は毎分1回転から1,000回転まで可変である。

棒状試片Bと円板Cは周囲に置かれたタンタルヒーターLで最高600°Cまで加熱できる。試片の温度は円板Cを固定するボルトの中心に1.5mmφの穴をあけ、シーラ型熱電対(アルメル-クロメル)を差し込

んで測定した。

排気系は直列につないだ2台の油拡散ポンプMと1台の油回転ポンプNよりなり、最高到達真空度は 1×10^{-7} torrである。また油拡散ポンプよりの油蒸気の逆流による汚染を防ぐため、排気系と真空槽の間に液体窒素トラップOを設置してある。

真空度の測定は高真空中では摩擦機構の近くに取り付けたB-Aゲージを使用し、 $10^{-2} \sim 10^{-3}$ torrの真空度ではシュルツゲージを使用した。また $10^{-1} \sim 10$ torrの圧力範囲ではマクラウド真空計を、それ以上の圧力では水銀柱マンオメーターにより圧力を測定した。

本試験機をクロスピン型摩擦試験機とした場合の概略を図3に示す。

クロスピン型摩擦試験機は2本のピンを直角に交叉させ、一方を固定し他方を回転させるもので、固定側のピンに荷重をかける。

図のごとくピン/円板型摩擦試験機とした際に円板をとりつけた回転軸をとりのぞき、かわりに軸Pを取

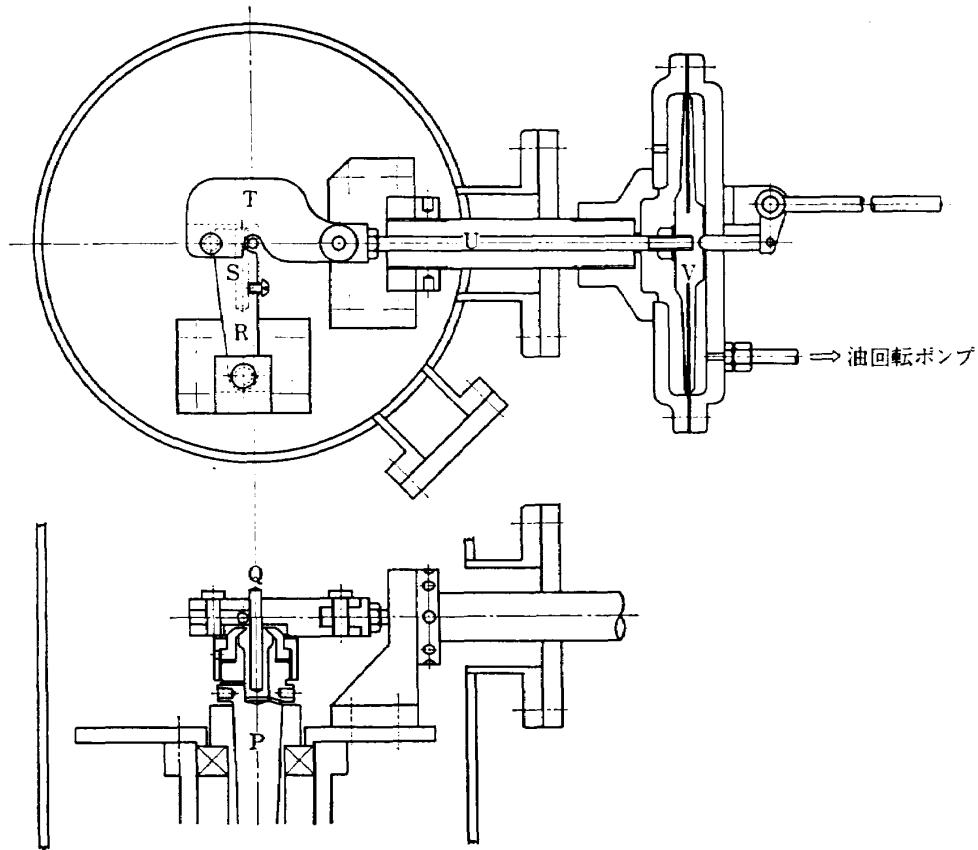


図 3 真空潤滑試験装置 (クロスピン摩擦試験機とした場合)

付ける。Pには回転側ピンQを固定する。一方アームRには固定側ピンSを取付ける。Rには、フックTが接触しており、Tの他端はロッドUに接続している。Uはリングを通過して大気圧側に出てダイヤフラムVに連結している。荷重はダイヤフラム室の一方を油回転ポンプで真空に引くことにより負荷する。負荷荷重の設定はリークバルブを調節して、ダイヤフラム室内の圧力を変化させて行う。圧力は水銀柱マンオメーターにより測定した。

このようにして本装置では最高 200 kg まで負荷できるが、支持軸受の破損を考慮して特別な場合を除いて最高荷重を 160 kg (ヘルツの平均接触圧力 522 kg/mm²) に制限して実験した。

2.2 実験条件

試験片としてはピン/円板型摩擦試験機による摩擦試験には市販の純鉄および純銅(無酸素銅)をピンには先端を 4R の半球状に加工して使用し、円板には 40~60φ に仕上げて使用した。またクロスピン型摩擦試験機による耐荷重能試験には 6φ×41.8 の市販のニードルローラー (SUJ2 H_RC 65) を試験片として使用した。

試料前処理として純鉄および純銅のピンおよび円板

はベンゼン潤滑のもとでエメリー紙 06 で方向性のないよう研磨し、水と酸化クロムでみがき、最後に 2% NaOH 水溶液中で約 2 分間電解洗滌したのち、精製水で洗滌して乾燥後デシケータ中で保存した。

またニードルローラーはトリクレンおよびダイフロンソルベントで洗滌し、2% NaOH 水溶液中で 2 分間電解洗滌した。その後の処理はピンおよび円板の場合と変りはない。

真空中で使用する潤滑油には蒸発による損失の少ない、蒸気圧の低い油を選ばなければならない。

図 4 は各種潤滑油の 10^{-4} ~ 10^{-6} torr 中における真空放置時間と蒸発減量の関係である。測定は開口部面積 68 cm² のピーカーに約 70 cc の潤滑油を入れて真空装置中に置き時間と重量について行った。図の示すごとく白スピンドル油とホホワイト油は蒸発減量が大きく、数時間真空保持の後においても真空度は 10^{-4} torr 台で蒸発が活発に続いていることを示した。これに対して 90 タービン油および軽質流動パラフィン(エソクリストール 355) は蒸発減量は少なく、3~5 時間真空保持後には真空装置の真空度は 1×10^{-6} torr 以下となった。またガスタービン用潤滑油の MIL-L-7808 は中程度の蒸発特性を示した。

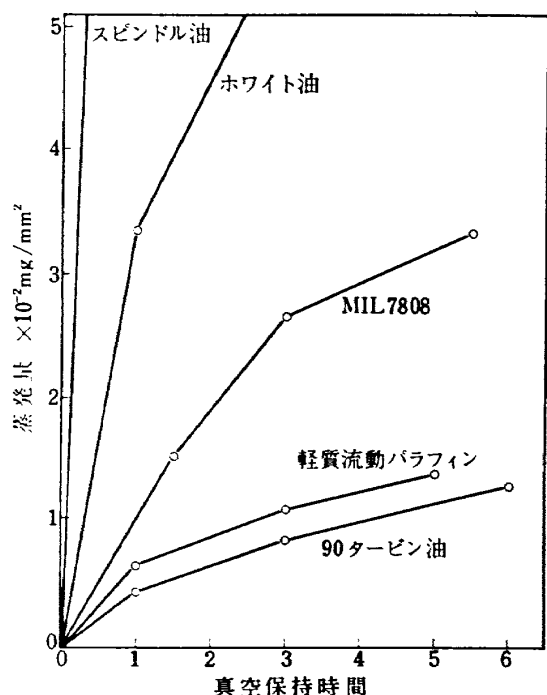


図4 各種潤滑油の蒸発量と真空保持時間

以上の結果より鉱油系潤滑油として 90 タービン油を使用した。なおカール・フィッシャー法で測定した油中の水分量は 175 ppm であった。油性剤添加油としては 90 タービン油に 0.1 重量% のステアリン酸を添加したものを使用した。またシリコン油としてタービン油と同程度の粘度を有するジメチルシリコン油 (信越化学製 KF96 粘度 50 cst) についても実験を行った。

実験の手順は次のようである。試料を取付け、ガラス棒で数滴の潤滑油を滴下する。真空槽内を真空にひいて 30 分真空保持したのち、真空中実験の場合は、 1×10^{-5} torr の真空度にして実験する。実験中もその真空度を保持するよう調節する。雰囲気圧力を変えて実験する場合は 30 分真空保持したのち、バリアブルリークバルブにより乾燥空気を導入し、所定の圧力にして実験した。アルゴンガス中および乾燥空気中の実験もまた 30 分真空保持ののちアルゴンガス又は乾燥空気を導入して行った。

真空槽内圧力は真空ひき開始後 10~15 分で 10^{-6} torr 台に入り、到達真空度は $3 \sim 6 \times 10^{-6}$ torr であった。

また乾燥空気としては大気をシリカゲル乾燥塔を通して使用し、アルゴンガスは市販の純ガスを使用した。

実験条件としては特にことわらない限りピン/円板摩擦試験の場合、荷重 1 kg, 速度 0.01 m/s, 繰返し

摩擦回数 500 回 (摩擦距離 50m) で実験を行い、摩擦中の摩擦係数を測定した。また実験後、ピンの摩擦痕径を測定し、摩耗量の表示とした。

クロスピン摩擦試験の場合、荷重は 10~180 kg の範囲の一定荷重について、速度 0.02 m/s, 繰返し摩擦回数 1,320 回 (摩擦距離 25m) で実験を行い、実験後、固定ピンの摩擦痕径を測定し、摩耗量とした。

なお滴下する油量の多少の変動が結果に影響しないことを予備試験において確認した。

3. 実験結果と考察

3.1 ピン/円板摩擦試験機による摩擦試験

3.1.1 鉱油および 0.1% ステアリン酸添加油で潤滑した純金属同士の摩擦摩耗におよぼす真空保持時間の影響

鉱油系潤滑油は酸素のない雰囲気中では潤滑能力を著しく低下させると言われている。また油性剤添加油も酸素の影響を強くうけることが通説となっている。

潤滑油は通常 7~15% の空気を溶解しているから、真空中にある程度の時間放置しても溶解空気が残存しているかぎり、潤滑油は潤滑性を示すと考えられる。しかし長時間真空中に放置すれば、溶存気体は油膜や油性剤膜を保持するに充分ではなくなり、潤滑能力は低下し、摩擦摩耗は増大するであろう。この点について 90 タービン油および 0.1% ステアリン酸添加油で潤滑した純鉄同士を試料として真空保持時間を変えて実験し、摩擦摩耗を測定した。図5はその結果である。図6, 図7にその時のピンおよび円板の摩擦痕の写真を示す。図6が 90 タービン油潤滑の場合で、図7が 0.1% ステアリン酸添加油の場合である。また

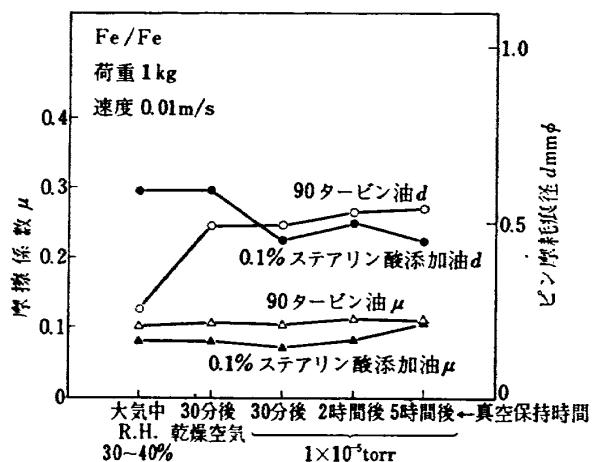
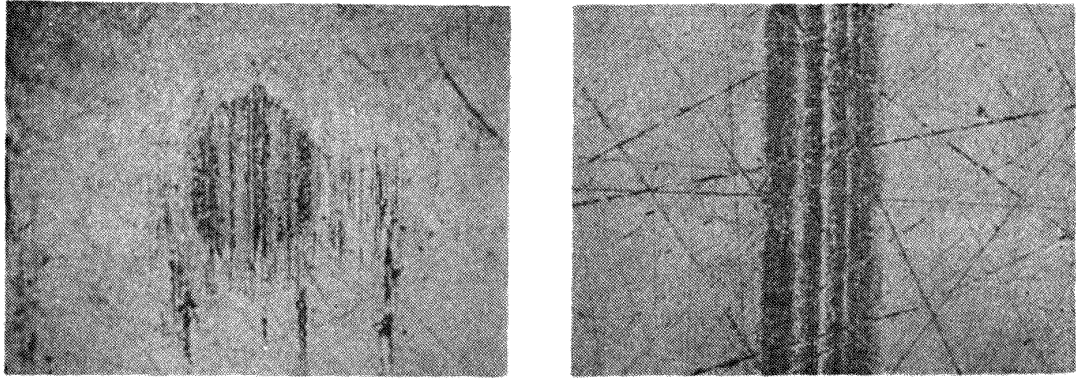
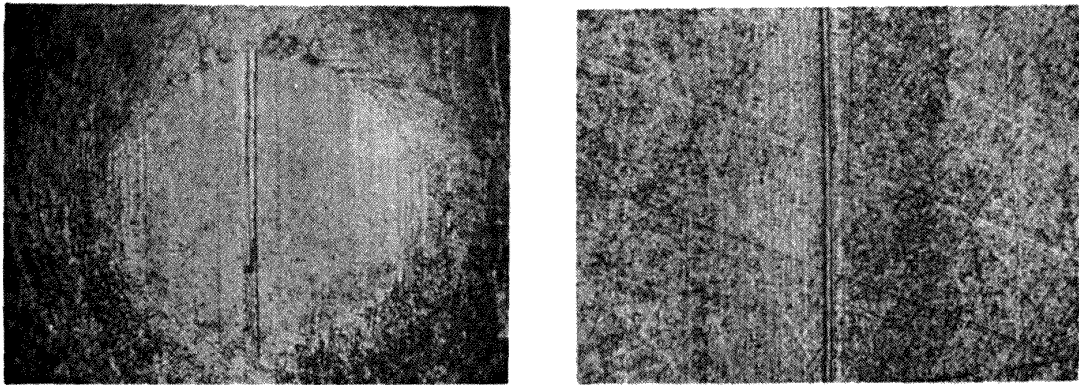


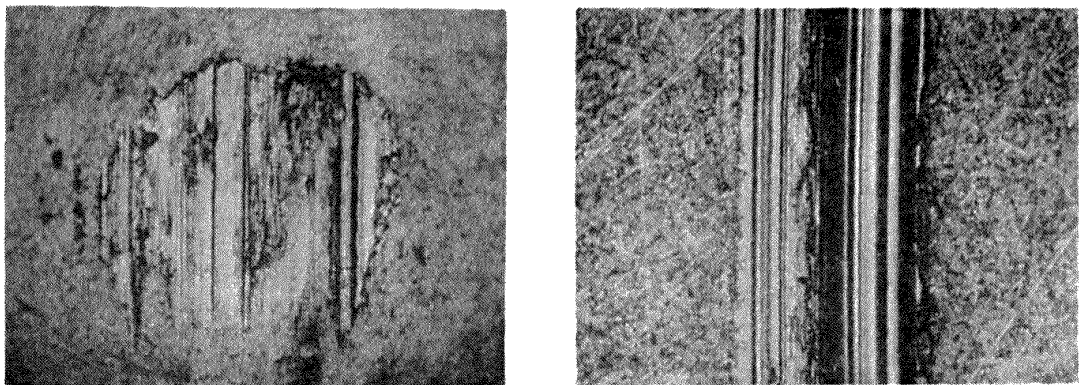
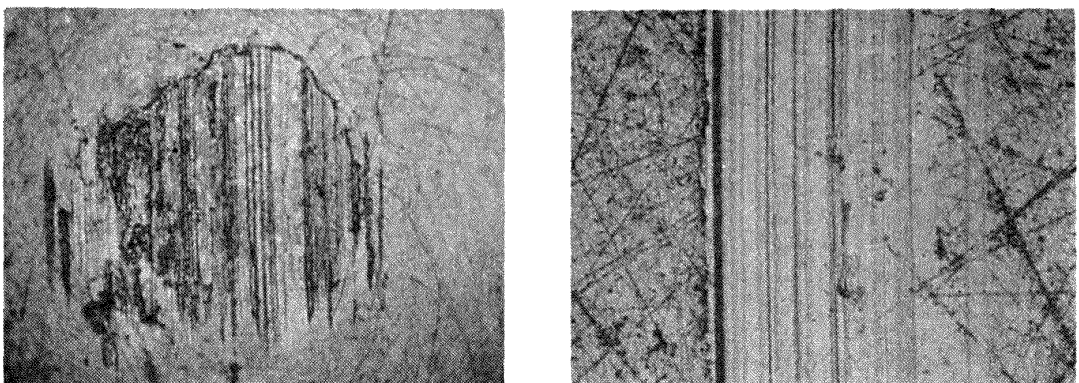
図5 純鉄同士の摩擦摩耗と真空保持時間 (90 タービン油, 0.1% ステアリン酸添加油)



大 気 中 (湿度 30%)

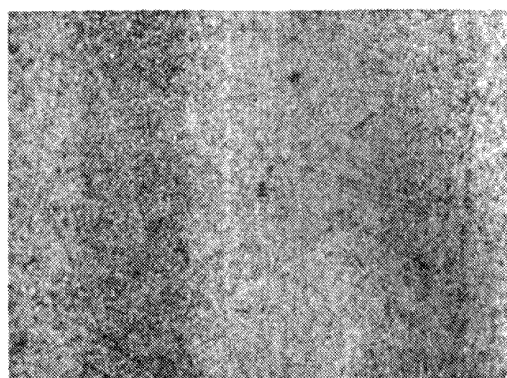
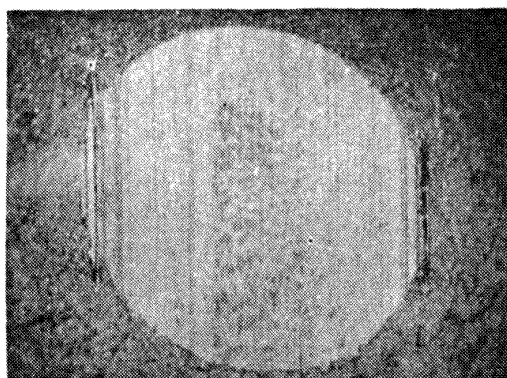


真空保持 30 分後 乾燥空气中

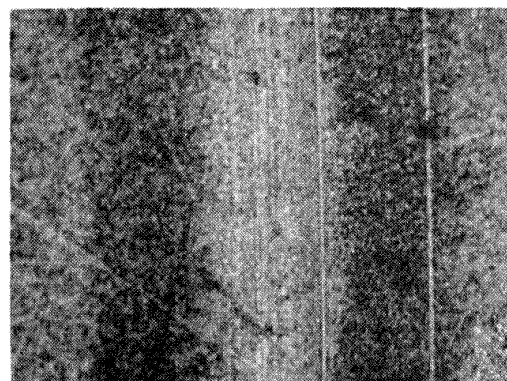
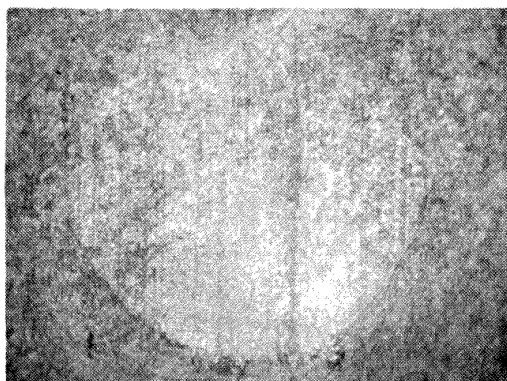
真空保持 30 分後 1×10^{-5} torr 中真空保持 2 時間後 1×10^{-5} torr 中

0.5 mm

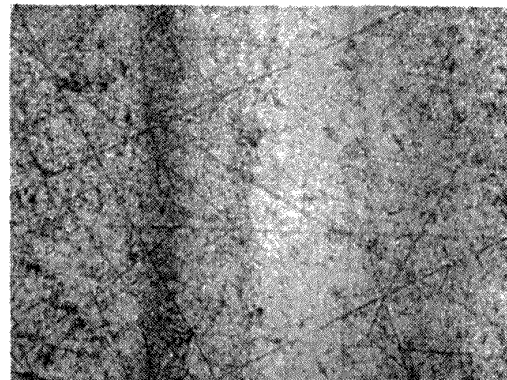
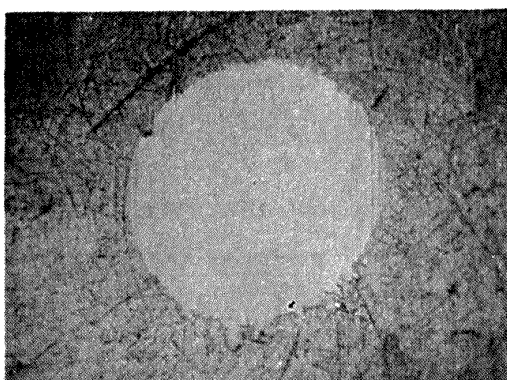
図 6 純鉄同士の真空保持時間と摩耗痕
(90 タービン油潤滑, 荷重 1 kg,
速度 0.01 m/s)



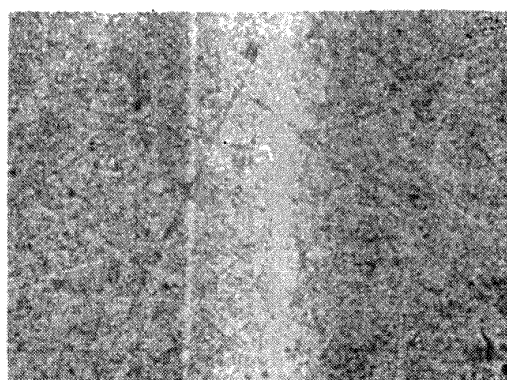
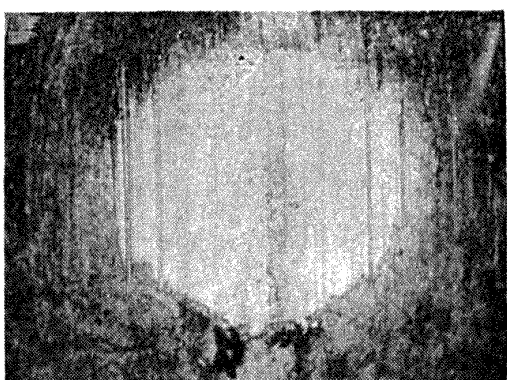
大 気 中 (湿度 23%)



真空保持 30 分後 乾燥空気中



真空保持 30 分後 1×10^{-5} torr 中



真空保持 2 時間後 1×10^{-5} torr 中

0.5 mm

図 7 純鉄同士の真空保持時間と摩耗痕
(0.1% ステアリン酸添加油,
荷重 1 kg, 速度 0.01 m/s)

図5における摩擦係数は変動が少なくなり、安定した時の値をとった。摩擦係数は摩擦開始後 10~70 回の繰返し摩擦ではほぼ一定となった。

図5において 90 タービン油潤滑の場合、大気中では摩擦係数は低く、変動もなく、摩耗痕径は小さい。

30 分真空保持したのち乾燥空気を導入して大気圧の乾燥空気中で摩擦すると、摩擦係数はわずかに上昇するのみである。しかし摩耗痕径は大気中に比し 3 倍に増大する。この原因としては第 1 に大気中の水分の影響あるいは油中の空気量が雰囲気の大気と平衡状態になっていないことが考えられる。しかし 30 分真空保持後長時間湿気中に保持した試料においても摩耗量は増大したままであったことから、水分あるいは溶解空気量が原因ではないことが明らかとなった。

第 2 に考えられることは油中の極性不純物の影響である。図 6 に示すように、大気中実験の摩耗痕にはピン、円板ともに灰色の薄膜が観察されるが、真空保持ののち乾燥空気中で実験した試料にはそのような膜は見られない。また真空保持ののち長時間湿気中に放置し、実験した試料上にも膜の存在は明白でなかった。

以上から大気中で低摩耗をあたえた原因はこの薄膜の潤滑作用によると考えられ、その主成分は油中に生成された、30 分真空保持で蒸発してしまう程の蒸気圧の高い極性物質であろうと推定される。鉱油成分は貯蔵中に溶解酸素と反応して極性化合物を生成しやすく、それらの極性化合物が摩耗に影響することが認められている⁷⁾。なお後述のクロスピン摩擦試験機による耐荷重能試験ではこのような現象は観察されなかった。したがって、この極性物質の耐荷重能は低いと考えられる。

以上の結果から使用した 90 タービン油に含有している極性不純物の影響をできるだけ避けるため、以後の実験では特に記さない限り、30 分真空保持ののち乾燥空気を導入し、所定の圧力にして実験した。

図 6 に明らかなように真空中において 90 タービン油潤滑下で摩擦実験した場合、30 分真空保持後の実験においても、摩耗痕上には金属接触による損傷が観察され、真空保持時間が長いほど摩耗痕径は増大し、表面損傷は著しくなる。また摩擦係数は真空保持時間によってさほど変化しないが、不規則変動の幅は大きくなり、真空保持時間が長くなると明らかに 90 タービン油の潤滑能力は低下する。

このように 90 タービン油は油中の溶存酸素、水分の影響を強くうけ、それらが減少すると摩擦摩耗は増加する。

一方、0.1% ステアリン酸添加油の場合、空气中よりも 30 分真空保持後 1×10^{-5} torr 中の方が摩擦摩耗は低く、図 7 のごとく摩耗痕も滑らかで、潤滑が良好

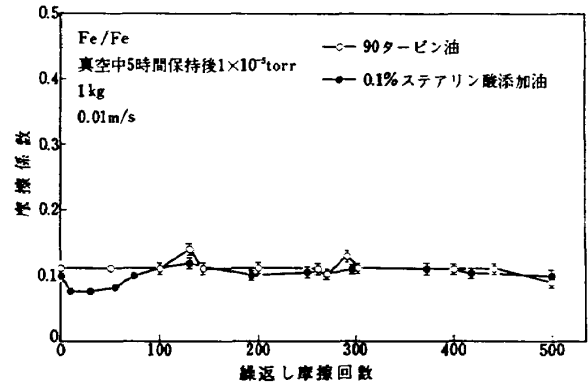


図 8 純鉄同士の真空中 5 時間保持後の摩擦特性 (90 タービン油, 0.1% ステアリン酸添加油)

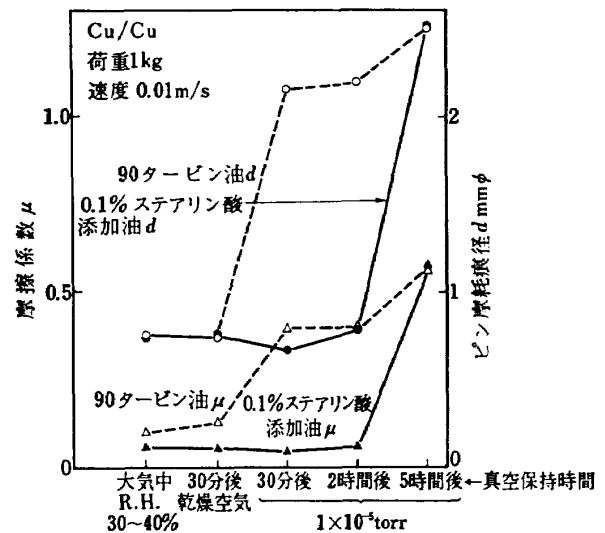


図 9 純銅同士の摩擦摩耗と真空保持時間 (90 タービン油, 0.1% ステアリン酸添加油)

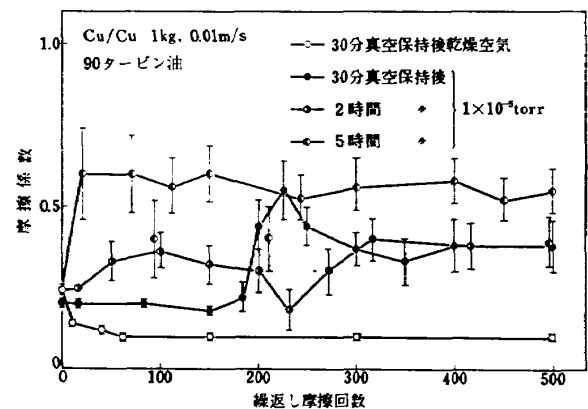


図 10 純銅同士の真空保持時間と摩擦特性 (90 タービン油)

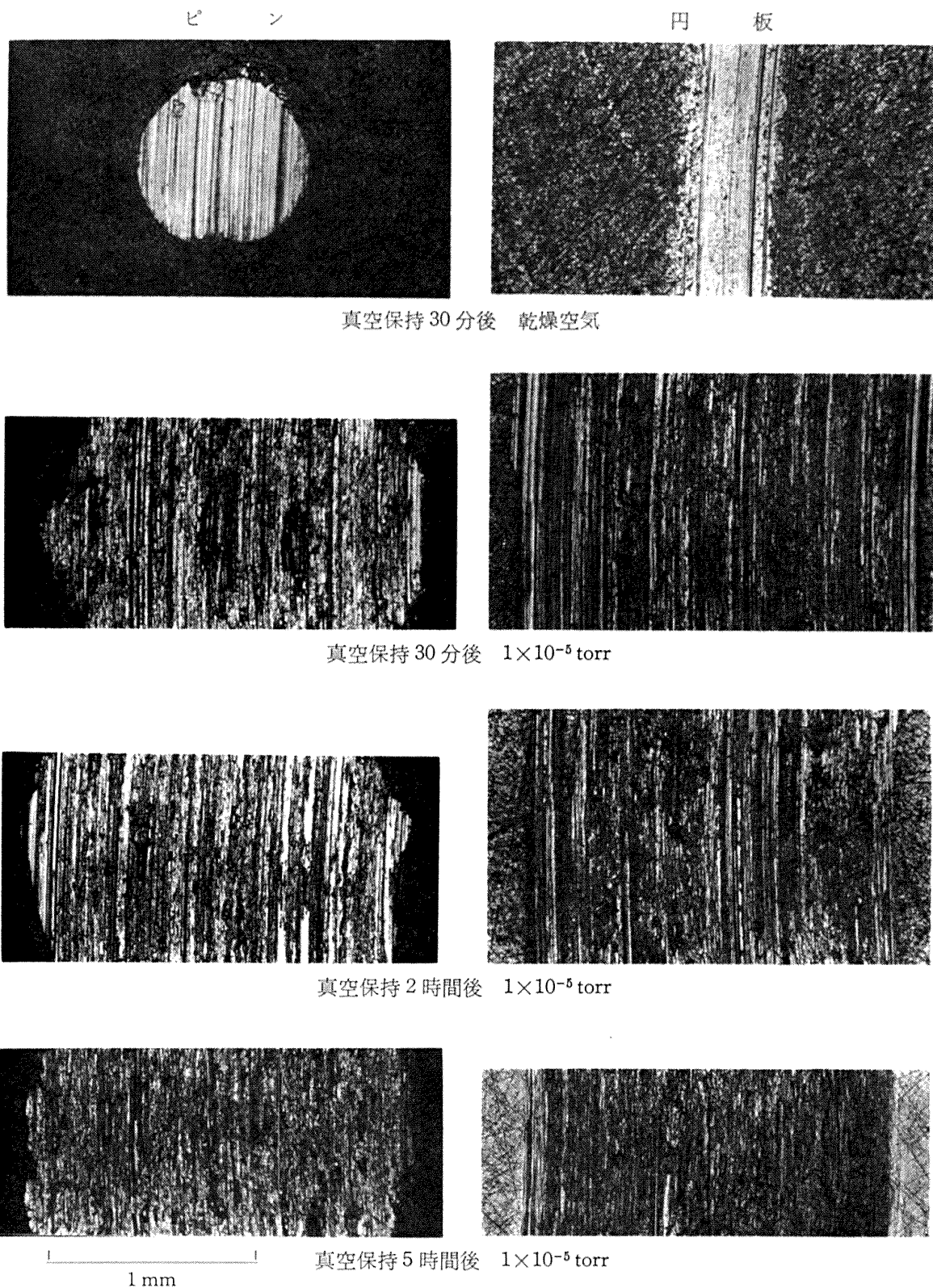


図 11 純銅同士の真空保持時間と摩耗痕
(90 タービン油潤滑)

に行なわれていることを示している。しかし真空保持時間が長くなるにつれ摩擦摩耗はともに増大し、摩耗痕上の損傷が明らかになってくる。すなわち真空保持 2 時間後 10^{-5} torr の場合、摩擦摩耗ともに真空保持 30 分後の場合よりもやや増加するのみであるが、摩擦係数の不規則変動が観察され、摩耗痕上の金属接触による損傷が明らかとなってくる。5 時間真空保持するとステアリン酸は効果を失い、摩擦係数は上昇して基油の値にはほぼ一致する。図 8 は時間真空保持ののち 1×10^{-5} torr で行なった 90 タービン油および 0.1% ステアリン酸添加油潤滑の摩擦特性である。0.1% ステアリン酸添加油では繰返し摩擦回数 50 回まで低い摩擦係数を示すが、そののち摩擦回数とともに増大し、繰返し摩擦回数 100 回以上で 90 タービン油と同等の値を示すようになる。この摩擦係数の経過はステアリン酸膜の破断-修復過程を表すと考えられる。つまり最初に円板上に存在したステアリン酸膜は繰返し摩擦回数 50 回までは膜の補修が順調におこなわれ摩擦係数は低いが、以後ステアリン酸膜が部分的に破断しても溶存酸素、水分不足のため膜の補修は充分行なわれず、破断部分が拡大するにつれ摩擦係数は上昇するのである。

90 タービン油と比較した場合、0.1% ステアリン酸添加油では真空中に 2 時間放置したのちの実験においても摩耗痕上の損傷は少なく、0.1% 添加したステアリン酸が 90 タービン油の場合より少ない酸素、水分下でも有効に作用することが明らかである。また大気中においては 0.1% ステアリン酸添加油潤滑の場合摩擦係数は 90 タービン油の場合より低いが、摩耗痕径は増大している。これは酸素、水分量が多いとステアリン酸が摩耗を促進するためと思われるが、この点については後に論ずることとする。

以上の実験は純鉄試料について行ったものであるが、次に純銅同士を試料として同様の実験を行った。

図 9 は 90 タービン油および 0.1% ステアリン酸添加油で潤滑した純銅同士の摩擦摩耗におよぼす真空保持時間の影響である。

90 タービン油潤滑の場合、真空中では空気中よりも摩擦摩耗は急増し、真空保持時間とともにますます増大している。

図 10 にその時の摩擦の繰返しによる摩擦係数の推移を示す。図 11 は各真空保持時間後におけるピンおよび円板の摩耗痕の写真である。乾燥空気中では摩擦係数は摩擦開始時にもっとも高く、繰返し摩擦とともに低下し、摩擦回数 60 回より 0.10 に一定する。そ

の時の摩耗痕の様相から銅を試料とした場合、90 タービン油の油膜は空気中の実験においても部分的に降伏し、金属接触が発生していると考えられる。真空中 30 分保持後 10^{-5} torr 中での実験では、摩擦係数は繰返し摩擦回数 170 回まで 0.2 と比較的低い摩擦係数を保つが、以後、摩擦係数は急上昇して油膜の破断の割合が増加したことを示す。そして摩擦回数 350 回以降は $\mu=0.38$ に一定となる。この値は 2 時間真空保持後の実験の一定となったのちの摩擦係数とはほぼ同じである。また摩耗痕径もほぼ同じで、空気中の摩擦係数、摩耗痕径より大幅に増加しており、摩耗痕も空気中と比較して非常に荒れている。真空中 5 時間保持後になると摩擦係数は 20 回の繰返し摩擦ののちにおいてすでに 0.6 と高く、油膜は各所で破断していると考えられる。また摩耗痕径も増大し、摩耗痕上の損傷も著しい。

以上のように銅試料に対して 90 タービン油は真空中においてほとんど潤滑能力を失なうことが明らかである。

これに対し 0.1% ステアリン酸添加油では、空気中において摩耗痕径は 90 タービン油の場合とはほぼ同じであるが、摩擦係数は 0.05 で 90 タービン油の約半分に低下する。真空中においても真空保持 2 時間までは摩擦係数の変動は若干増加するものの摩擦係数、摩耗痕径および摩耗痕の様相は空気中とほとんど変わらず、ステアリン酸が有効であることを示している (図 12, 13)。

図 12 に 0.1% ステアリン酸添加油潤滑の銅試料における摩擦係数の推移を各真空保持時間について示す。図 13 はその時のピンおよび円板の摩耗痕の写真である。

上に述べたように真空保持 2 時間までは摩擦摩耗は

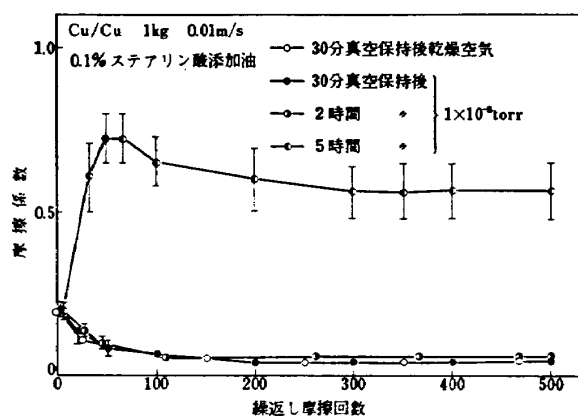
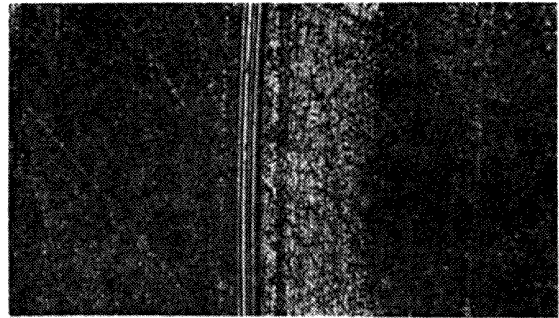
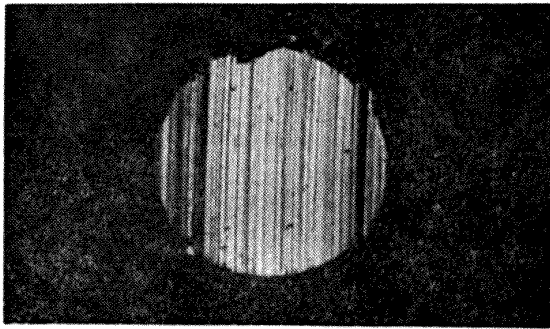


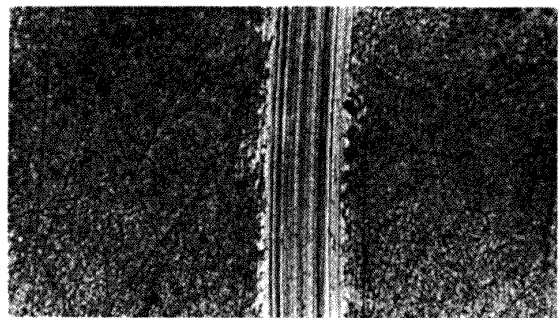
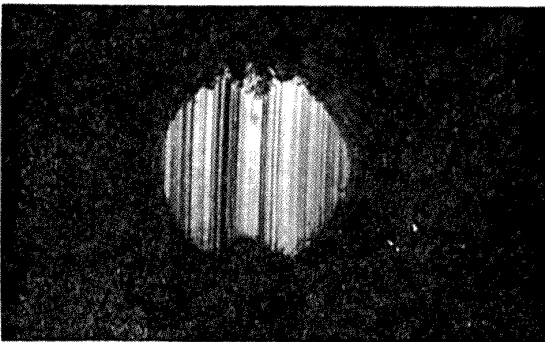
図 12 純銅同士の真空保持時間と摩擦特性 (0.1% ステアリン酸添加油)

ピ
ン

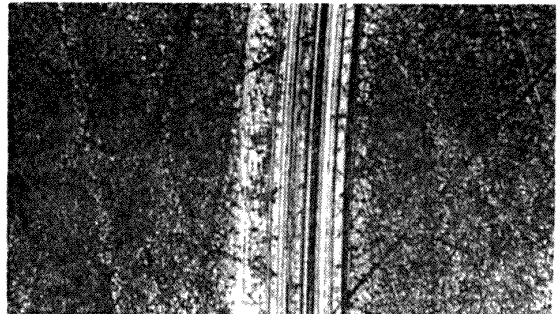
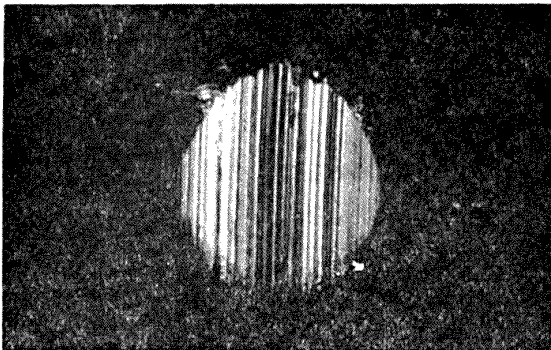
円
板



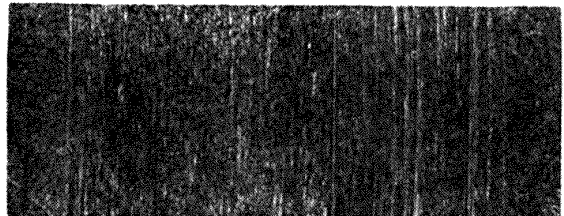
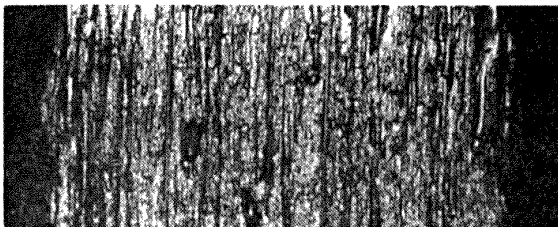
真空保持 30 分後 乾燥空気



真空保持 30 分後 1×10^{-5} torr



真空保持 2 時間後 1×10^{-5} torr



1 mm

真空保持 5 時間後 1×10^{-5} torr

図 13 純銅同士の真空保持時間と摩擦痕
(0.1% ステアリン酸添加油)

空气中と変わらず、ステアリン酸の添加効果が保たれるが、5時間真空保持して油中の溶解気体および水分量を少なくして実験すると、ステアリン酸膜は10回の繰返し摩擦で破断し摩擦係数は急上昇して90タービン油の場合とほぼ等しくなる。また摩耗痕径および摩耗痕の様相も90タービン油潤滑時とほとんど変わらず、ステアリン酸の効果は失なわれる。

以上のように真空保持時間を変えることにより、油中に溶解している酸素および水分量を減少させると、摩擦摩耗は大きく変化することから、90タービン油膜およびステアリン酸膜の生成および補修性に溶存酸素および水分量が大きな影響を与えることがわかる。

なお純鉄試料同士の場合に観察された油中の極性不純物の影響は純銅同士では明らかでなかった。これは銅同士の場合、摩耗痕より明らかなように大気中でも金属接触を部分的に生じており、極性物質による被膜は容易に破断して摩擦摩耗に影響しなかったためと考えられる。

上の実験結果は0.1%ステアリン酸添加油が90タービン油の場合よりもより少ない酸素、水分量で有効に作用することを示しているが、この点を確認するため、雰囲気を変えて空気⇄真空の急速に繰返し変化して、摩擦係数の変化を調べた。試料としては摩擦係数の雰囲気による変化が大きい純銅同士を用い、5時間真空保持して真空中において摩擦実験を行い、摩擦係数が高くなって溶解気体、水分量の影響が失われたことを確認してから、乾燥空気を導入して摩擦係数の変化を測定した。そして真空-空気の雰囲気変化を繰返した。図14は90タービン油についての、また図15は0.1%ステアリン酸添加油についての結果である。なおここでは雰囲気として液体酸素および液体窒素より製作したボンベ入り乾燥空気を使用しているため、以下に述べる結果は主として酸素の影響をあらわしている

と考えられる。

両者とも最初摩擦係数は低いが、はじめに存在した油膜およびステアリン酸吸着膜が破断するにつれ摩擦係数は増加し、繰返し摩擦回数約100回から $\mu=0.54 \sim 0.60$ に一定となった。

90タービン油の場合、摩擦係数が安定したところで乾燥空気を導入すると、摩擦係数はきわめてゆるやかに低下し、約130回(21分)摩擦を繰返してようやく $\mu=0.13$ にほぼ一定となる。一定となったところで真空に引きはじめると、摩擦係数は直ちに上昇しはじめ、約20回(3分)摩擦後では $\mu=0.43$ に達する。再び 10^{-6} torrにして摩擦係数が安定したところで乾燥空気を導入すると、摩擦係数はゆるやかに低下する。以下雰囲気の変化に対応してこのような摩擦係数の変化を繰返す。

これに対して0.1%ステアリン酸添加油では、真空中において摩擦係数が一定したところで乾燥空気を導入すると、摩擦係数は急激に低下し、摩擦回数10~20回(1.5~3分)の後で $\mu=0.12$ まで下がる。再び真空にひきはじめてもはじめの10回くらいの摩擦の繰返しの間は低摩擦を保ち、その後急上昇する。以後雰囲気の変化とともにこのような変化を繰返す。

このように90タービン油と0.1%ステアリン酸添加油の雰囲気変化に対する摩擦係数の変化は対照的で、90タービン油の場合雰囲気変化に対する摩擦係数の変化の追従性は空気導入時に悪く、真空ひきの際には良く追従しているが、0.1%ステアリン酸添加油では逆に空気導入時には摩擦係数は直ちに低下し、真空にひく時はすこし遅れて摩擦係数の上昇が観察される。以上より0.1%ステアリン酸添加油では90タービン油より少ない酸素下で有効な潤滑膜を形成することがわかる。また一旦形成されたステアリン酸吸着膜は本実験条件下では約10回の繰返し摩擦に耐えるこ

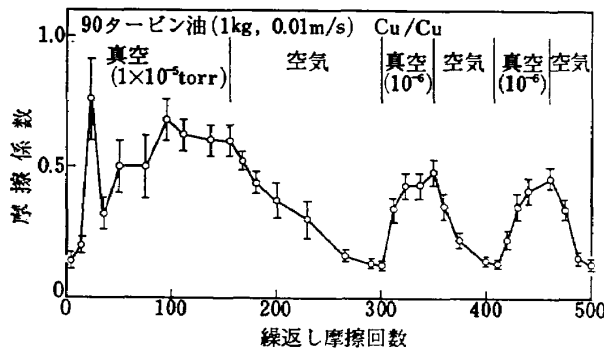


図 14 真空中5時間放置後の90タービン油のくりかえし摩擦特性と雰囲気

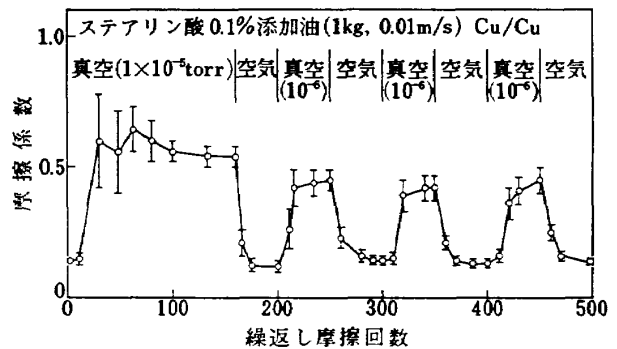


図 15 真空中5時間放置後のステアリン酸添加油のくりかえし摩擦特性と雰囲気

とができた。

Reichenbach⁷⁾は4%のパルミチン酸を添加したシリコン油を使って実験し、 10^{-7} torr 中に117時間放置した後真空中で速度特性を測定している。その結果、荷重2.2kg、速度0.06m/sまでの範囲で摩擦係数は0.15にほぼ一定であったと報告している。この結果は一見パルミチン酸が雰囲気の影響を受けないことを示しているようであるが、長鎖状脂肪酸の吸着膜形成に酸素が不可欠であることは上の結果も示すとおりである。したがってこのような結果がえられたことはパルミチン酸の添加量が4%と多く、少ない酸素量でも強固な吸着膜を生成することができたこと、および摩擦回数が少なく油中の酸素を消費しつくすに至らなかったためと推定される。この結果はむしろ 10^{-7} torr 中、117時間という長時間の高真空保持後も油中には相当量の酸素が残存していることを示すものとして注目される。

以上の結果より90タービン油および0.1%ステアリン酸添加油とともに真空中で潤滑能力を失なうことが明らかとなった。またこれらの潤滑油による潤滑下の摩擦摩擦におよぼす雰囲気の影響は鉄試料よりも銅試料に明白にあらわれる。したがってステアリン酸の添加効果におよぼす雰囲気の影響を試験するには鉄試料よりも銅試料が適当である。

3.1.2 鉱油および0.1%ステアリン酸添加油で潤滑した純金属同士の摩擦摩擦におよぼす雰囲気圧力の影響

鉱油中の溶存酸素量を変化させて鋼球の摩擦量を測定したKlansとBieber²⁾の結果によれば、酸素濃度が減少すると摩擦は減少するが、ある酸素濃度以下では摩擦は再び増加する。すなわち摩擦を最小にする酸素濃度が存在することを見出している。また前節の結果では0.1%ステアリン酸添加油潤滑下の鉄試料の場合、大気中よりも30分真空保持後真空中実験の方が摩擦摩擦とも低く、2時間真空保持して溶存酸素、水分量を少くすると摩擦摩擦は増大した。このことはステアリン酸添加油においても摩擦摩擦が最小となる酸素濃度が存在することを示唆している。

以上に関して純鉄および純銅同士を試料として90タービン油および0.1%ステアリン酸添加油潤滑下の摩擦摩擦を雰囲気圧力を変化させて行なった。

はじめに純鉄同士を試料とした場合について図16にその結果を示す。その時の円板の摩擦痕の写りが図17である。90タービン油潤滑の場合、純鉄試料の摩擦は空気中でもっとも多く、圧力低下に従って減少

し、圧力30~50 torrで最小となる。それ以下の圧力では摩擦は再び増加し、1 torr以下ではほぼ一定となる。一方、摩擦係数は雰囲気圧力によってほとんど変化しないが、摩擦係数の変動は高真空中ほど大きくなり、図17のように摩擦痕上の表面損傷も高真空中ほど著しく、油中の溶存酸素、水分が摩擦摩擦に影響することを示している。

0.1%ステアリン酸添加油においても摩擦の傾向は90タービン油とほぼ同じで、最小摩擦は50 torr付近に存在し、摩擦係数もその近傍で若干低くなっている。摩擦係数は全雰囲気圧力範囲において90タービン油潤滑の場合よりやや低い。摩擦は大気圧~2~3 torrの圧力範囲では0.1%ステアリン酸添加油の方が多く、それ以下の圧力では両者とも同等である。なお90タービン油に比較して表面損傷は非常に少なく、ステアリン酸が少量の酸素、水分中でも有効な吸着膜を形成することを示している。

参考のため、純鉄同士の乾燥摩擦におよぼす雰囲気圧力の影響を図17に併記した。乾燥摩擦の場合、摩擦係数は大気中で高く、雰囲気圧力とともに低下して 10^{-3} ~ 10^{-4} torrで最小となり、それ以下の圧力では再び増加している。Buckley⁸⁾は52100鋼同士の乾燥摩擦において同様の摩擦係数-雰囲気圧力特性を報告しており、その理由を生成される鉄酸化物の種類に求めている。

なおこの試験および次に述べる純銅同士を試料とした乾燥摩擦試験はオイルフリーな超高真空摩擦試験装置を使用して行われた。本試験装置についてはすでに航技研所報TR-285において報告した。

以上のように純鉄同士を試料とした場合、90タービン油および0.1%ステアリン酸添加油潤滑の下では摩擦摩擦が最小となる雰囲気圧力が存在し、摩擦摩擦はそれ以上の圧力でも以下の圧力でも増加する。

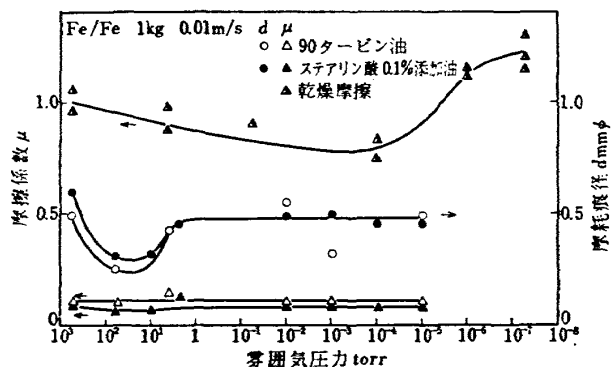


図16 純鉄同士の摩擦摩擦と雰囲気圧力

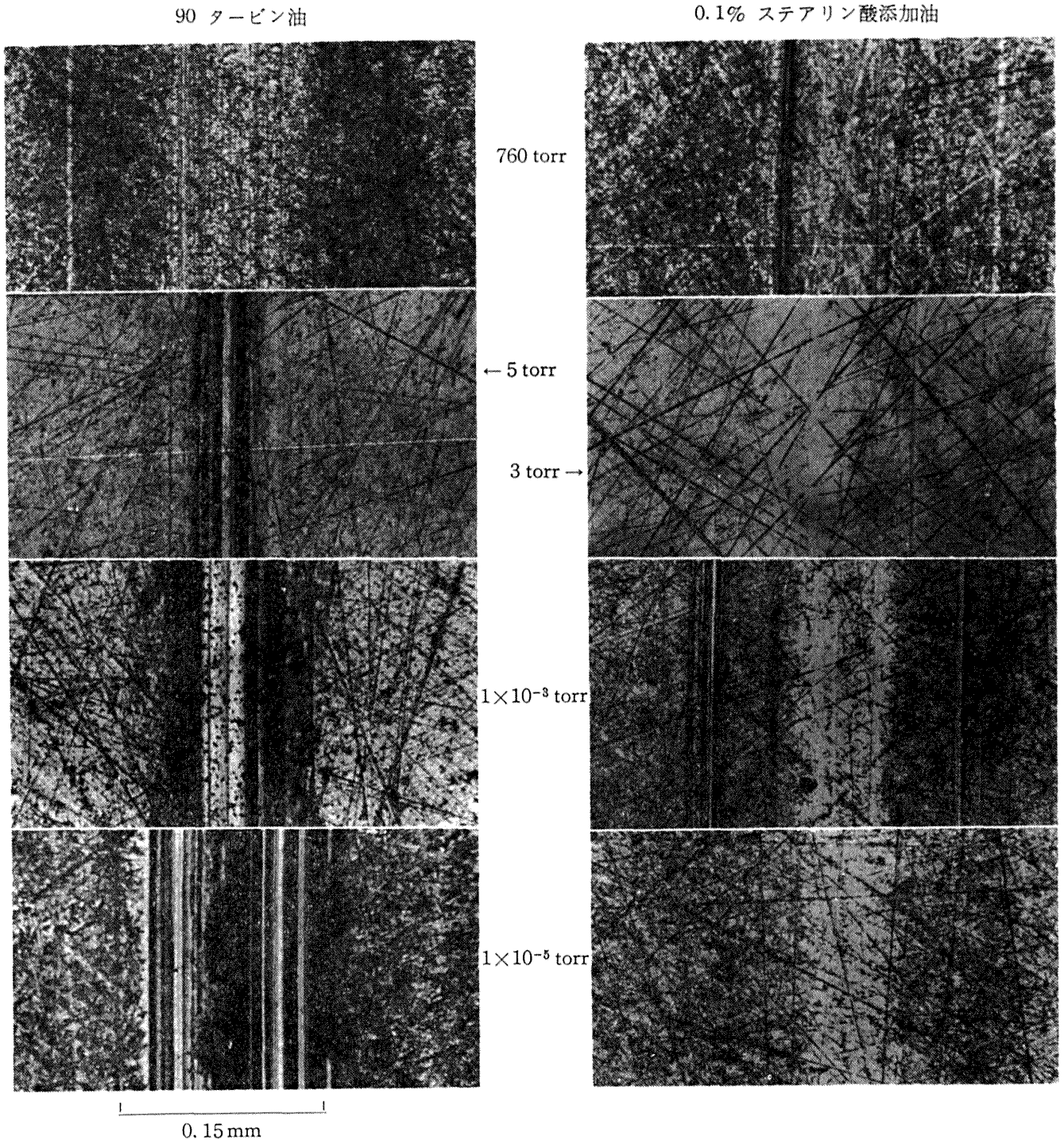


図 17 純鉄同士の雰囲気圧力と摩耗痕 (円板)
(90 タービン油, 0.1% ステアリン酸添加油)

上に述べたと同様の雰囲気圧力の影響に関する摩擦試験を純銅同士を試料として行なった。結果を図 18 に、円板の摩耗痕の写真を図 19 に示す。

銅試料の場合、90 タービン油潤滑下では摩擦摩耗は空気中で最小で、雰囲気圧力とともに単調に増加し、1~5 torr 以下の圧力ではほぼ一定となった。図 19 で明らかのように摩擦による表面損傷は雰囲気圧

力 50 torr においてすでに顕著であり、摩擦摩耗において金属接触項の占める割合が大きいことを示唆している。鉄試料同士の場合にみられた摩擦摩耗を最小にする雰囲気圧力の存在が銅試料において観察されなかったことは、摩擦摩耗に金属接触の寄与分が大きかったためと考えられる。純銅同士の乾燥摩擦における摩擦係数と雰囲気圧力の関係を同じく図 18 に記載し

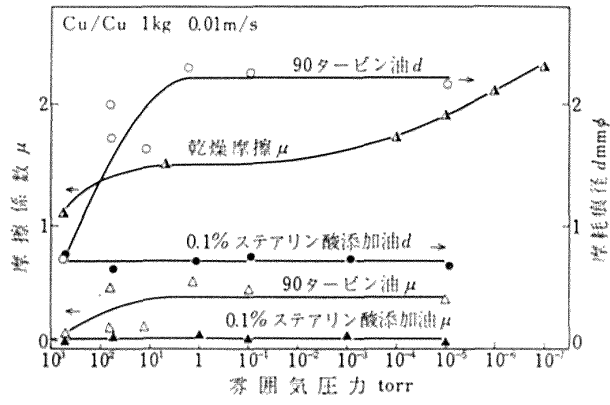


図 18 純銅同士の摩擦摩擦と雰囲気圧力

90 タービン油

0.1% ステアリン酸添加油

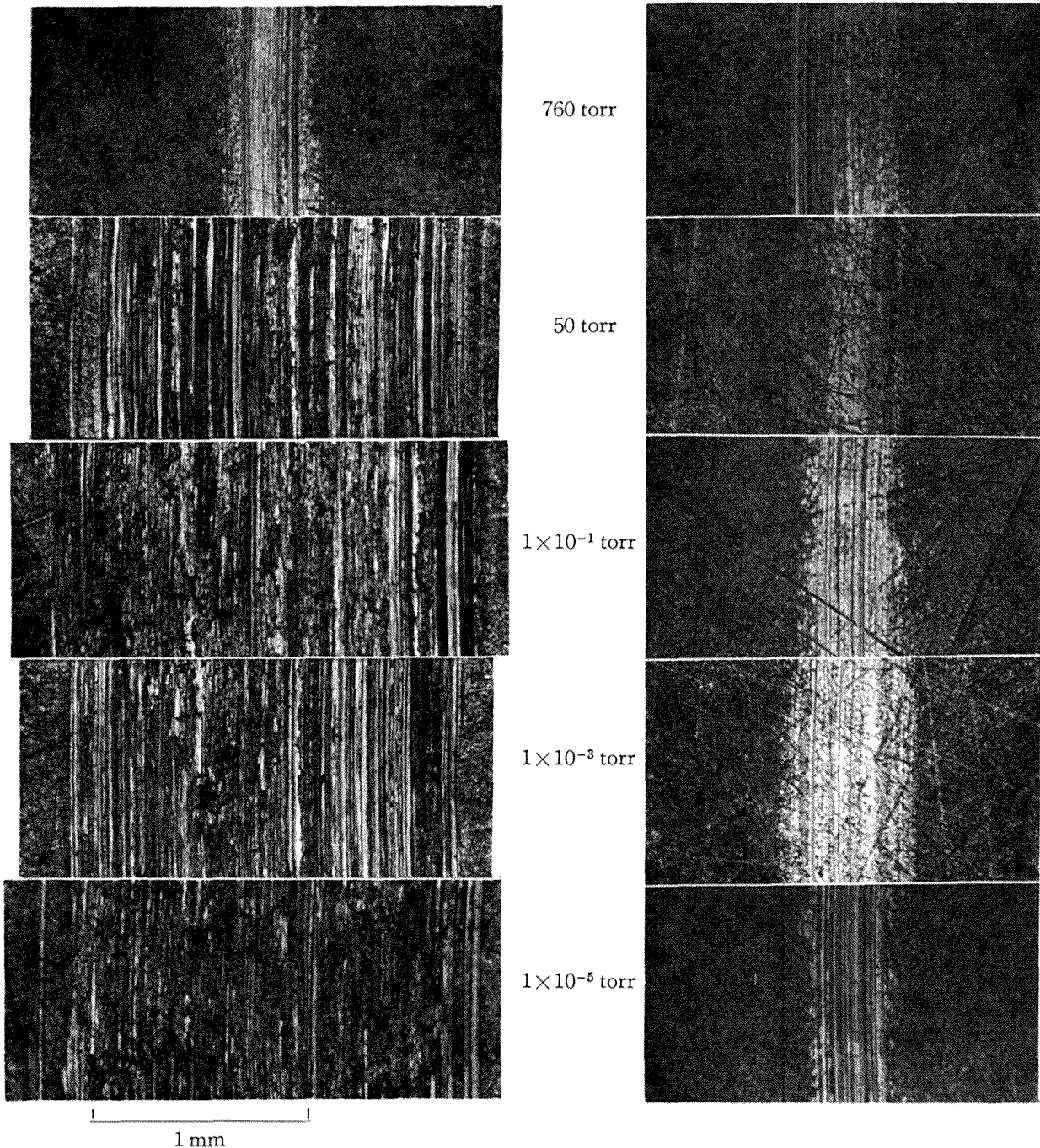


図 19 純銅同士の雰囲気圧力と摩擦痕 (円板)

た。摩擦係数は空気中において最小となり、圧力低下にしたがって単調に増加している。この傾向も上の説明を支持している。

これに対して 0.1% ステアリン酸の添加効果は著しく、摩擦係数、摩耗痕径は 760 torr \sim 10 $^{-5}$ torr の圧力雰囲気ではほぼ一定で、摩耗痕の様相にも変りはない。

以上より銅試料に対して 90 タービン油は 50 torr の低真空中においても潤滑効果を失なうが、0.1% ステアリン酸添加油は 10 $^{-5}$ torr の雰囲気圧力まで低い摩擦摩耗を与え、非常に有効であることが分った。

3.1.3 ジメチルシリコン油潤滑における純鉄同士の摩擦摩耗におよぼす雰囲気の影響

ジメチルシリコン油は熱安定性がよく、温度粘度特性も鉱油に比較して優れている。このため熱的条件の厳しい真空用潤滑油として鉱油系潤滑油よりも本質的に適していると考えられるが、鉄系材料に対しては潤滑能力が貧弱であると言われている⁹⁾。

この点について純鉄同士のジメチルシリコン油潤滑下における摩擦摩耗特性と雰囲気の影響を実験した。

図 20 はジメチルシリコン油で潤滑した純鉄同士の摩擦摩耗と真空保持時間の関係である。大気中において摩擦摩耗はもっとも大きい。真空中ではそれらは非常に減少しているが、それでも 90 タービン油潤滑の場合よりはるかに大きく、上に述べたジメチルシリコン油が鉄系材料に対して潤滑能力にとぼしいことを裏付けている。真空中では真空保持 30 分よりも 2 時間後の方が摩耗が減少している。真空保持時間をこれ以上延長しても摩擦摩耗の変化はなく、2 時間以上真空保持すると溶存気体の影響はなくなることを示している。また 30 分真空保持後、乾燥空気中での摩擦摩耗が大気中より少ないのは、実験中の油中酸素濃度が大気圧における平衡量まで達していないためと考えられる。

図 21 にピンおよび円板の摩耗痕の写真を示す。雰囲気のかんを問わず摩耗痕は非常に荒れており、黒色の摩耗粉が多量観察される。

図 22 はジメチルシリコン油潤滑下における摩擦摩耗と雰囲気圧力の関係である。大気圧 \sim 100 torr においては摩擦係数は 0.5 であるが、10 \sim 100 torr 附近で低下して、以下の圧力においては $\mu=0.4$ にほぼ一定する。一方、摩耗痕径は雰囲気圧力により大きく変化する。すなわち摩耗痕径は大気中において最大で、圧力低下とともに急激に減少し、10 $^{-1}$ torr で最小となる。摩耗痕径はそれ以下の圧力で再び増加して、

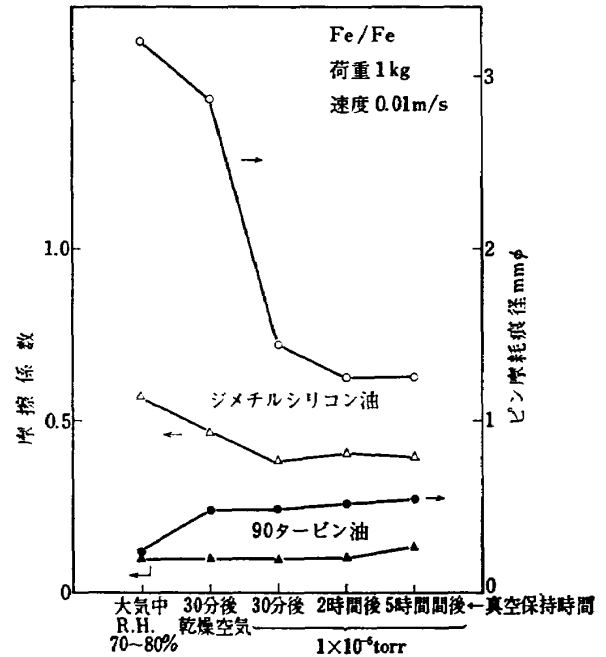


図 20 純鉄同士の摩擦摩耗と真空保持時間

10 $^{-3}$ \sim 10 $^{-5}$ torr では最小摩耗痕径より幾分か大きい値で一定となる。

図 23 に各雰囲気圧力における摩耗痕の写真を示す。摩耗痕はいずれも非常に凹凸が激しく、凹部には黒色摩耗粉が見られた。

以上のようにジメチルシリコン油潤滑下の鉄同士もまた雰囲気の摩擦摩耗への影響が大きい、90 タービン油とは逆に摩擦摩耗は真空中の方が空気中よりも小さい。しかし試験圧力範囲内で摩擦係数が 0.4 \sim 0.5 と油潤滑としては例外的に高く、摩耗も非常に多いことは Fitzsimmons らの言うごとく⁹⁾ジメチルシリコン油が鉄系材料に対して潤滑性の著しく劣ることを示している。

3.2 クロスピン型摩擦試験機による潤滑油の耐荷重能試験

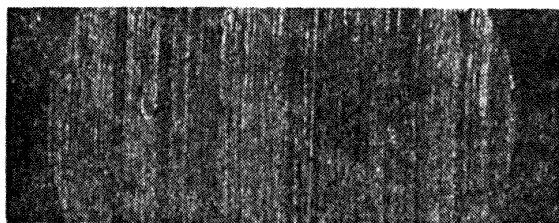
今まで述べてきた潤滑油試験はピン/円板型摩擦試験機を用い、荷重 1 kg の低荷重で行なったものであるが、つぎに潤滑油の耐荷重能におよぼす雰囲気の影響に関して実験を行なった。実験はニードルローラー (SUJ2 HRC 65) を用い、0 \sim 180 kg の間の一定荷重下で一定距離摩擦し、実験後摩耗痕径を測定した。

図 24 に 90 タービン油および 0.1% ステアリン酸添加油の空気中、1 \times 10 $^{-5}$ torr 中およびアルゴンガス中における試験結果を示す。

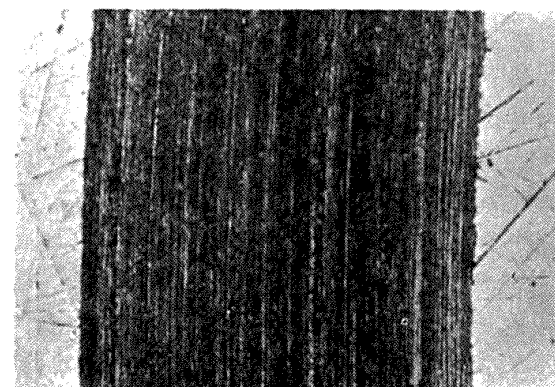
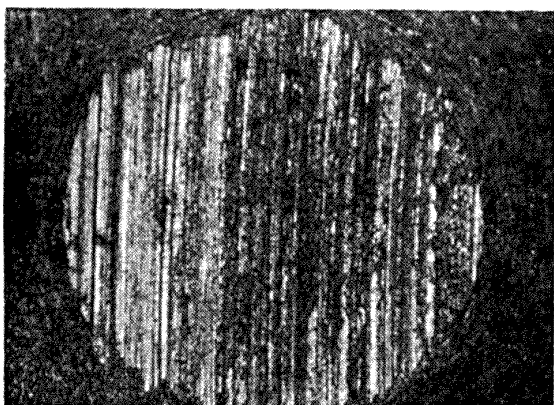
空気中においては 90 タービン油および 0.1% ステアリン酸添加油の摩耗痕径-荷重曲線はともにヘルツ

ピ ン

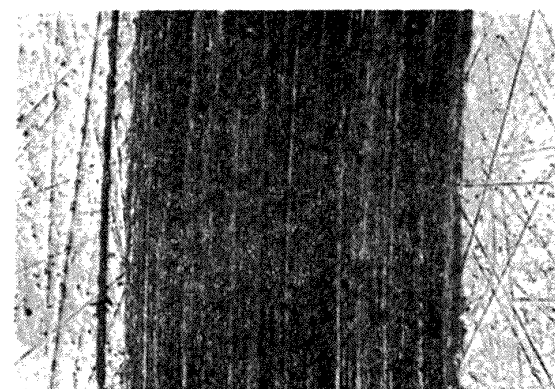
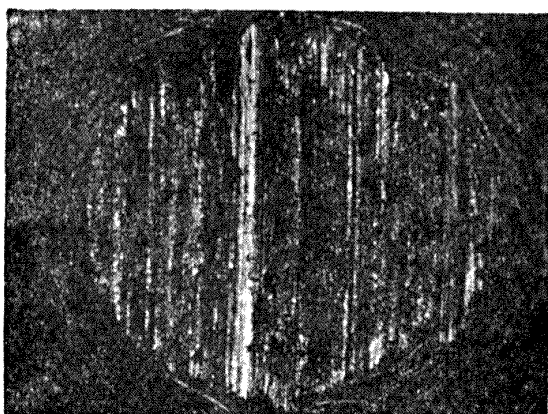
円 板



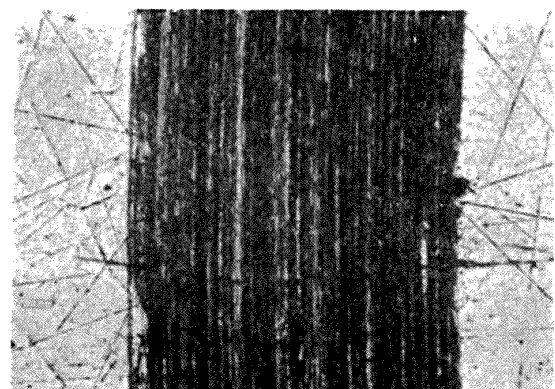
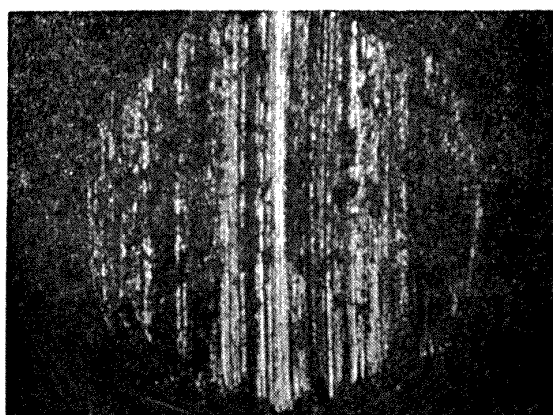
真空保持 30 分後 乾燥空気



真空保持 30 分後 1×10^{-5} torr



真空保持 2 時間後 1×10^{-5} torr



真空保持 5 時間後 1×10^{-5} torr

1 mm

図 21 純鉄同士の真空保持時間と摩耗痕
(ジメチルシリコン油)

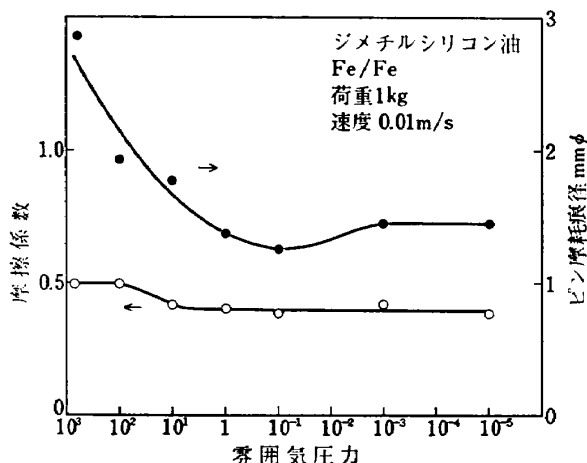


図 22 純鉄同士の摩擦摩耗と雰囲気圧力
(ジメチルシリコン油潤滑)

の弾性接触理論より計算した接触円径-荷重の曲線に平行している。そして荷重 130 kg において摩耗痕径は急上昇している。この時の摩耗痕の写真を図 25 に示す。荷重 120 kg では摩耗痕は滑らかであるが、荷重 130 kg では表面損傷がはなはだしい。

以上より本実験では摩耗痕径が急増する直前の荷重を耐荷重能の限界と判断し、この荷重を限界荷重と称することにす。

1×10⁻⁵ torr になるとタービン油の限界荷重は 15 kg に激減している。また 0.1% ステアリン酸添加油でも同様な荷重-摩耗特性を示し、ステアリン酸の添加による耐荷重能の改善は明らかではない。アルゴンガス中の摩耗特性は両者の中間にあらわれている。

以上のように 90 タービン油と 0.1% ステアリン酸添加油は真空中では耐荷重能が著しく低下して油膜の限界荷重は 15 kg 程度である。そして荷重を 20 kg に増加すると油膜は降伏して金属接触が発生する (図 25)。この点を確認のため荷重 15 kg および 20 kg 一定にして摩耗痕径と摩擦距離の関係を 1×10⁻⁵ torr 中で求めた。結果を図 26 に示す。油膜が潤滑能力を保持している荷重 15 kg では摩耗痕径は小さく、摩擦距離を 10m から 50m に延長しても摩耗痕径は約 10% 増加するにすぎないが、油膜の降伏する 20 kg 荷重の場合摩耗痕径は荷重時の 70% 増となり、摩擦距離とともに著しく増大する。

次に雰囲気圧力の摩耗におよぼす影響を調べた。図 27 は 90 タービン油および 0.1% ステアリン酸添加

油潤滑下で荷重を 10 kg および 35 kg 一定とした時の摩耗と雰囲気圧力の関係である。油膜の降伏荷重以下の 10 kg 荷重では 90 タービン油潤滑下の摩耗は空气中で最も多く、圧力とともに減少して 50 torr 以下ではほぼ一定となる。0.1% ステアリン酸添加油でも空气中において摩耗は最大で、1~10 torr で最小となり 10⁻¹ torr 以下で一定となる。試験圧力範囲において 0.1% ステアリン酸添加油の摩耗は 90 タービン油の場合より少なく、ステアリン酸が有効であることを示している。なお油膜の降伏荷重以下の荷重においても空气中では 90 タービン油、0.1% ステアリン酸添加油ともに真空中よりも摩耗が増大する。この傾向は純鉄同士を試料とした場合にも見られたが、過剰な酸素の存在は摩耗を促進することを示している。

荷重を 35 kg に増加すると摩耗最小点はタービン油および 0.1% ステアリン酸添加油の両方にあらわれ、ともに 20~50 torr において摩耗は最小となった。また 0.1% ステアリン酸添加油の摩耗最小点は 90 タービン油のより低圧力側にあり、荷重 35 kg においてもステアリン酸の添加効果は幾分あるようである。そして 10 torr 以下の圧力では摩耗は急に増大し、摩耗痕は金属接触の発生を示すようになる。

なお、摩耗最小点は荷重 10 kg の場合 1~5 torr にあるが、荷重が 35 kg になると 50 torr 近辺に移行する。荷重が増加して条件がか酷になると摩擦によるステアリン酸膜のはぎとり、補修も活発になり、それに要する酸素、水分量も増加するためと考えられる。

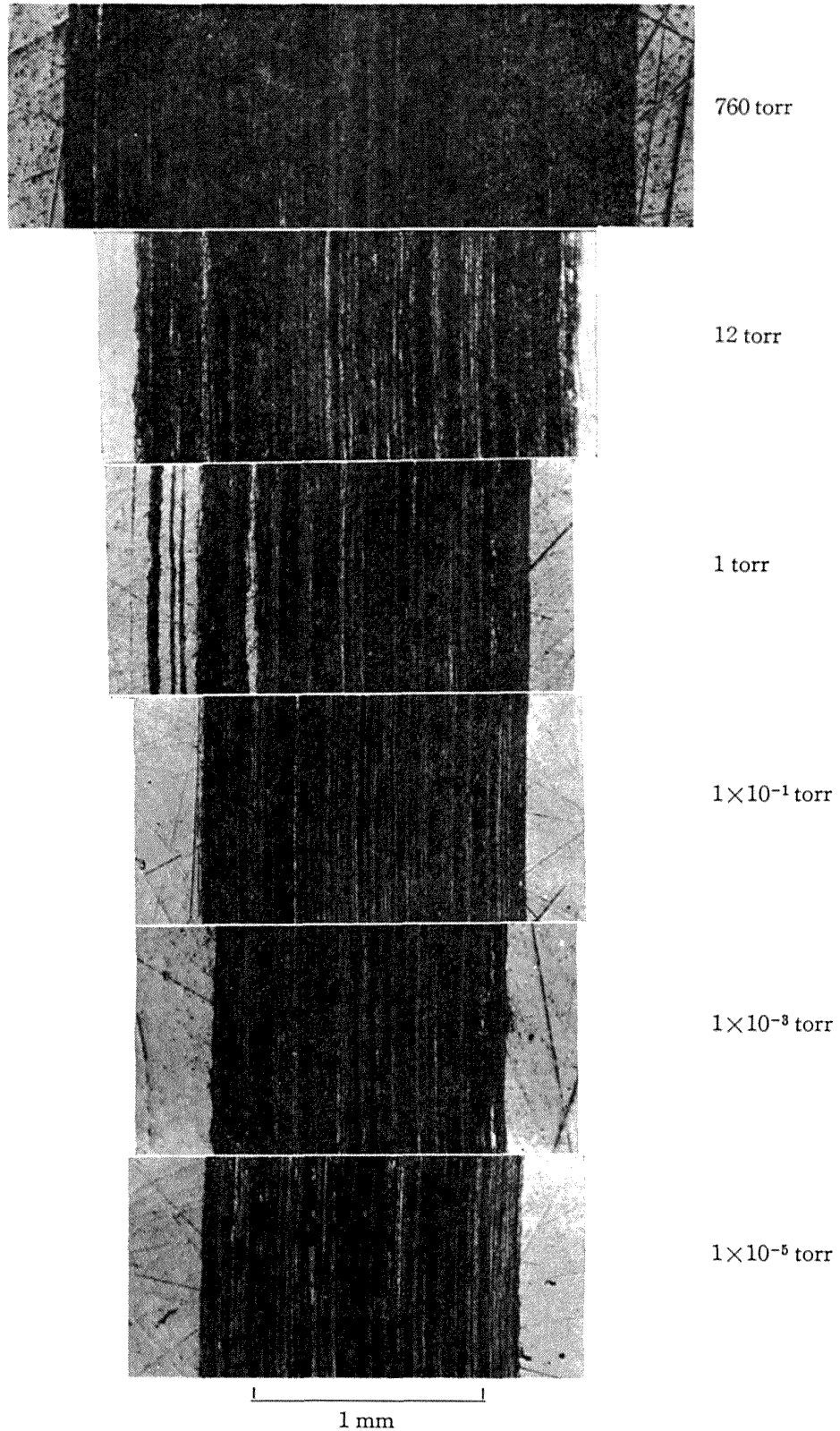


図 23 純鉄同士の雰囲気圧力と摩擦痕 (円板)
(ジメチルシリコン油潤滑)

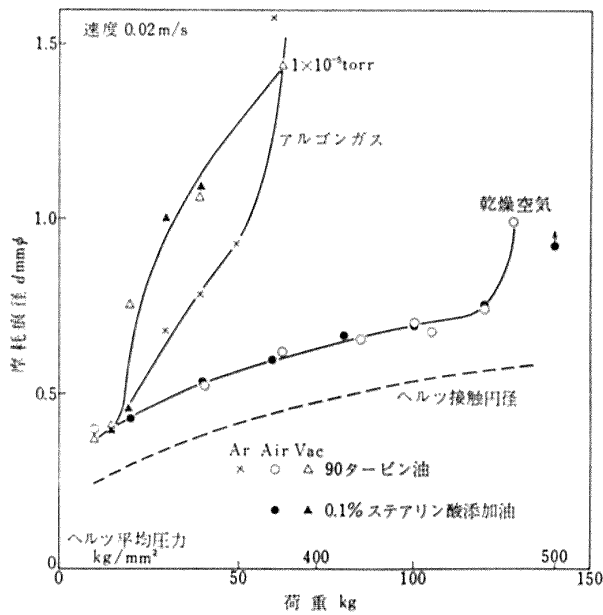


図 24 90タービン油およびステアリン酸添加油の耐荷重能

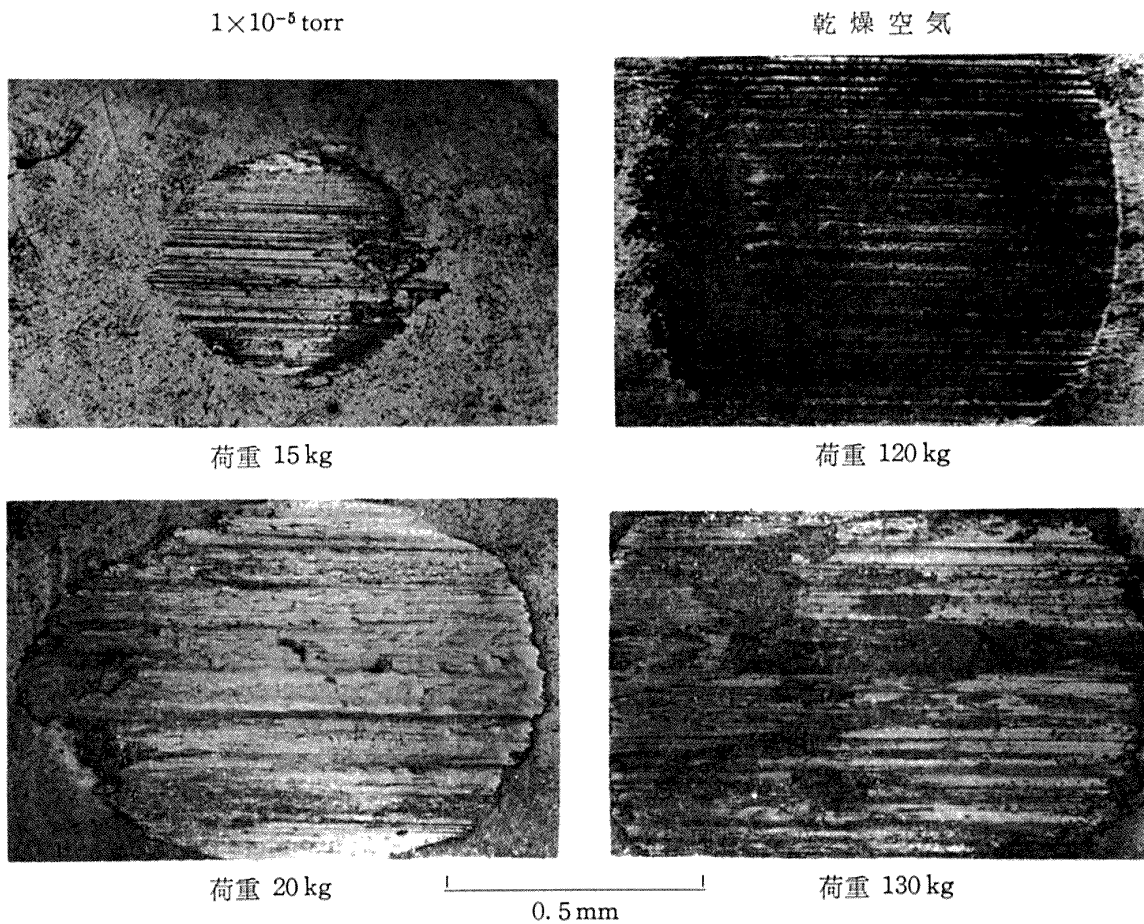


図 25 90タービン油潤滑下の空气中、真空中における摩耗痕

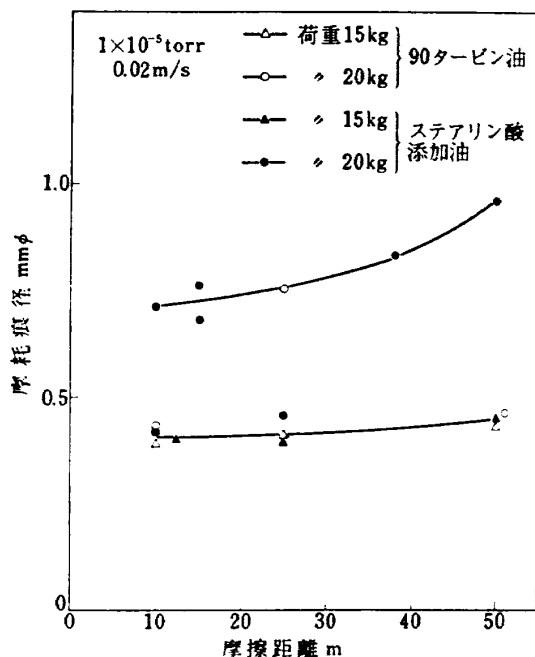


図 26 90タービン油およびステアリン酸添加油の摩擦距離による摩耗痕径の変化

3.3 0.1% ステアリン酸添加油潤滑における銅表面上の水分吸着層の影響

ステアリン酸の金属への吸着におよぼす諸因子の影響については、吸着現象研究の立場から多くの研究が発表されている。例えばステアリン酸の銅への吸着については、酸化銅とステアリン酸溶媒のどちらかを湿潤させた場合、酸化銅を湿潤させた方が吸着量は増大したとの Hirst らの報告¹⁰⁾や、銅蒸着膜へのステアリン酸の吸着について、溶媒中に酸素および水分が単独で存在する場合、吸着量に影響しないが、酸素、水分が共存するとステアリン酸の吸着量は著しく増大することを見出した Walker ら¹¹⁾の報告がある。

このようにステアリン酸の銅への吸着について、静的な状態での特に吸着量の研究は詳細に行なわれているが、摩擦を伴う動的な状態での吸着状態に関する研究は少ない。

境界潤滑における極性膜の挙動を吸着現象研究より得られた成果と関連させて論ずるには、まず金属表面上の水分吸着層、酸化層などの存在の吸着膜の摩擦摩耗におよぼす影響を明らかにする必要があると考えられる。その第一歩として、ここではステアリン酸吸着膜生成におよぼす銅上の水分吸着層の影響について実験を行なった。

さきに述べた 0.1% ステアリン酸添加油の実験においては、基油として用いた 90タービン油は 175 ppm の水分を含有していた。また試料は前処理とし

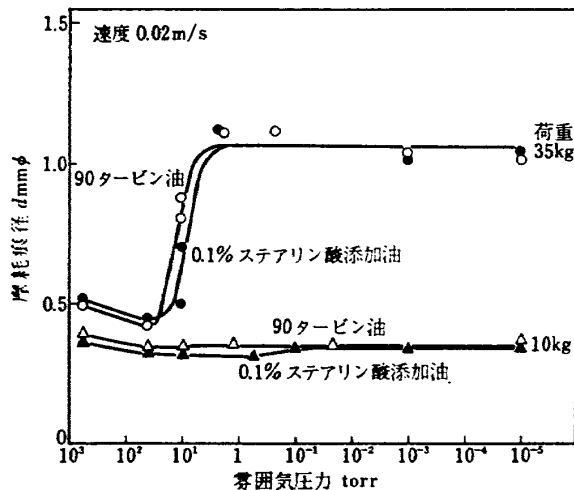


図 27 90タービン油、ステアリン酸添加油の摩耗痕径と雰囲気圧力

て水洗による洗浄を行っており、表面には酸化層のほかに水分吸着層が存在していると考えられる。したがって雰囲気の影響は油中の酸素、水分のほかに金属表面上の酸化層、水分吸着層の存在も加わった総合作用としてあらわれていると考えられる。これらの層を除去して直接金属表面に潤滑油を塗布し摩擦実験すれば、これらの層のステアリン酸吸着膜の生成におよぼす影響を知ることができるが、酸化層の除去はイオンボンバードなどの方法による必要があり容易ではない。しかし水分吸着層の除去は真空中加熱などの方法により比較的容易に行うことができると考えられる。そこで次のような実験を行い、水分吸着層のステアリン酸吸着における役割を明らかにすることを試みた。

(1) 試料研磨および洗滌に水を使用せず、有機溶剤のみで行い、有機溶剤で表面を大気よりしゃ断した状態で試料を真空槽に取付け、真空に引く。

(2) 試料を高真空中で加熱し、水分吸着層を蒸発させたのち、冷却する。

以上の処理により酸化層、水分吸着層をできるだけ除去した試料を作成し、それらに真空中において 0.1% ステアリン酸添加油を塗布し、摩擦実験を行った。

真空中において油を塗布する方法としては、3φの棒の先端にガーゼを取付け、あらかじめロータリーポンプで 30 分脱気した 0.1% ステアリン酸添加油を含浸させ、他端を真空槽外より操作して行った。また加熱実験においては試料加熱炉のふく射熱の影響をうけないよう注意した。

0.1% ステアリン酸添加油を塗布後、真空に引いた実験において、真空中長時間放置すると油中の酸素、水分は実験終了まで強固なステアリン酸膜を保持するに

充分でなくなることがわかっている。さきに述べた実験では真空保持時間の影響について最高5時間を含めて3種の真空保持時間について実験を行なったのみであるので、それらの中間の真空保持時間についても実験を行ない、真空保持後、試料に油塗布の摩擦摩耗試験結果と比較した。結果を図 28 に示す。油塗布後真空の場合、3時間真空保持までは摩擦摩耗は少なく、保持時間とともに漸増の傾向にあるが、4時間以上真空保持すると油中の酸素、水分はステアリン酸膜の維持に充分ではなくなり、摩擦摩耗は急増する。一方、所定時間真空保持ののち真空中油塗布の場合は、4時間真空保持ののちにおいても摩擦は増加するが、摩耗はほぼ一定である。また摩擦係数の増加量は油塗布後真空の場合より小さい。したがって油中にはまだステアリン酸膜の補修に充分な酸素、水分が残存していると思われる。これはガーゼに油を含ませた場合、試料に油塗布の場合よりも真空中に露出する面積が少ないことから当然と考えられる。

次に(2)の実験を行なうための予備実験として、真空中で試料を急速に加熱したのち、自然冷却して加熱と冷却に要する時間の合計を3時間とした場合の試料の温度変化を測定した。その結果、試料を100°C、5分間加熱した場合、試料の最終温度は30°C となることが分かった。この温度は室温より幾分高いが、実験結果に影響する程ではないと考えられる。

以上より特にことわらないかぎり真空保持時間を3時間一定とし、潤滑油中にステアリン酸が強固に付着するための酸素、水分量に不足はない状態で実験を行

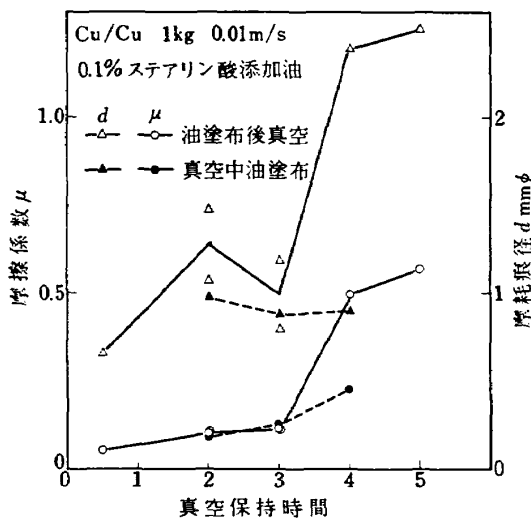


図 28 純銅同士の摩擦摩耗におよぼす真空保持時間の影響 (0.1% ステアリン酸添加油)

なった。

最初に(1)の結果について述べる。図 29 に記載したごとく、有機溶剤としてベンゼンを使用し、試料研磨中および取付けの際にもベンゼンで大気からしゃ断して下地金属表面に酸化物および水分吸着層の生成を極力おさえた場合でも、摩擦係数は0.22と水洗処理の場合の0.12より高いが、摩耗痕径はほぼ同じである。このようにして水分、空気をしゃ断しても、酸化層および水分吸着層が発達することがわかる。水分層はベンゼン中に含有される微量の水分によると思われる。

次に試料を真空中加熱し冷却後油を塗布した実験(2)の結果を図 29, 30 に示す。実験は100°Cに瞬間的

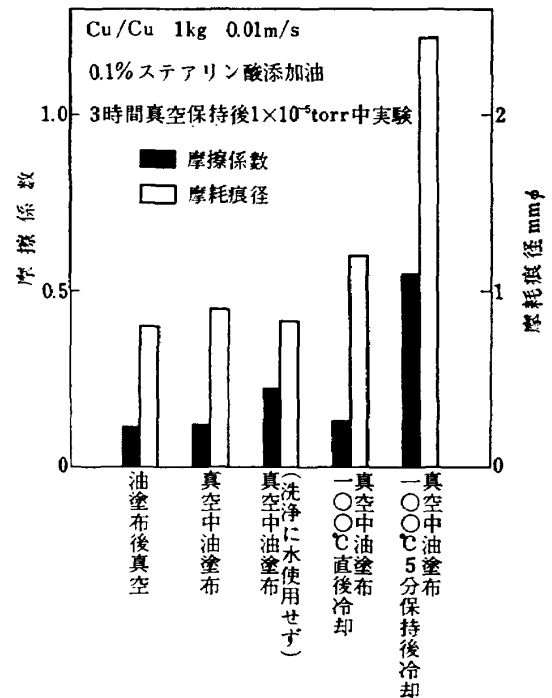


図 29 純銅試料の摩擦摩耗におよぼす油塗布法、試料処理の影響

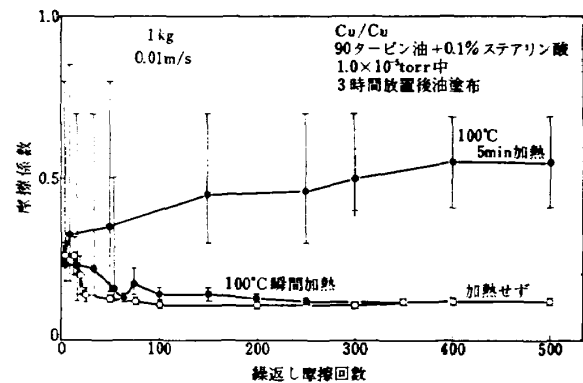


図 30 純銅同士の摩擦特性におよぼす加熱の影響 (ステアリン酸添加油)

に保持した場合と5分間保持した場合について行ったもので、図29はそれらの摩擦摩耗と他との比較であり、図30は摩擦係数の摩擦の繰返しによる変化を示す。

100°Cに瞬間的に保持後冷却した場合、摩擦係数ははじめ加熱しない場合よりも幾分高い状態が続いて、繰返し摩擦回数350回以上で同等の値となる。また図29の示すごとく、摩耗も加熱した場合の方が多し。しかし摩擦摩耗とも加熱の有無による影響はあまり大きくはない。

試料を100°C、5分間保持した場合、摩擦係数は最初から高く、摩擦係数の変動も不規則で変動幅も大きい。また摩耗も非常に多く、ステアリン酸が強固な吸着膜を形成していないことが明らかである。本実験の加熱中の真空度は 10^{-6} torr 台を保ったが、それでも本実験条件下では加熱により表面酸化層は発達することはあっても除去されることはないと考えられること、および上に述べたように油中の酸素、水分量は充分あることから、摩擦摩耗の増加は真空中加熱による水分吸着層の除去に起因すると考えられる。

以上より銅表面上に酸化層、油中に酸素、水分が充分存在していても、水分吸着層が存在しない場合ステアリン酸の吸着強度は弱く、摩擦摩耗は増大することが明らかとなった。

4. 結 論

90タービン油、0.1%ステアリン酸添加油およびジメチルシリコン油潤滑下における純鉄同士、純銅同士の摩擦摩耗におよぼす雰囲気の影響および同じ潤滑油を用いた軸受鋼同士の耐荷重能におよぼす雰囲気の影響について実験を行い、次の結果をえた。

(1) 純鉄同士を試料とした場合、90タービン油および0.1%ステアリン酸添加油はともに低真空中において摩擦摩耗は最小となり、油中酸素、水分濃度の低下する高真空中ではともに潤滑能力を失う。

(2) 純銅同士を試料とした場合、90タービン油潤滑下では大気圧の乾燥空气中で摩擦摩耗は最小となる。それらは雰囲気圧力低下とともに増大し、潤滑作用を

失なうが、0.1%ステアリン酸添加油では高真空中でも摩擦摩耗は少なく、低酸素、水分濃度中でも有効な吸着膜を形成する。

(3) ジメチルシリコン油潤滑下の純鉄同士の摩擦摩耗は90タービン油、0.1%ステアリン酸添加油とは逆に大気圧の乾燥空气中で最大で、雰囲気圧力低下とともに減少する。しかし全雰囲気圧力において摩擦摩耗は90タービン油潤滑の場合よりもはるかに多い。

(4) 軸受鋼を試料とした潤滑油の耐荷重能試験において、90タービン油の油膜の降伏荷重は大気圧の乾燥空气中における120 kg (ヘルツ圧力474 kg/mm²) から 10^{-5} torr では15 kg (ヘルツ圧力236 kg/mm²) に減少する。

(5) 銅試料へのステアリン酸の吸着強度は表面上の水分吸着層の存在に大きく影響され、水分吸着層がないと表面に酸化層、油中に酸素、水分が存在しても吸着強度は低下する。

本研究は当所宇宙研究グループ 宮川行雄主任研究官の御指導のもとに行われた。

最後に実験に協力いただいた慶応義塾大学学生の国京茂憲、山崎茂両君に感謝いたします。

文 献

- 1) Reichenbach, G.S. et al.: Trans. ASLE Vol. 7 (1964), pp. 82-90
- 2) Klans, E.E. and Bieber, H.E.: Trans. ASLE Vol. 7 (1964), No. 1
- 3) 高木: 潤滑, Vol. 17 (1972) No. 5
- 4) 曾田, 小西: 潤滑, Vol. 13 (1968), 602-610
- 5) Vinogradov, G. et al.: Trans. ASME-D, Vol. 87 (1965), 741-746
- 6) 例えば豊口: 日本機械学会第355回講習会資料
- 7) 高井: 潤滑, Vol. 18 (1973), No. 4
- 8) Buckley, D.H.: NASA SP-277, p. 47
- 9) Fitzsimmons, V.G.: Trans. ASME, Vol. 68 (1946), p. 361
- 10) Hirst, W.: Trans. Farady Soc., Vol. 47 (1957), p. 315
- 11) Walker, D.C.: Contact Angle, Wettability and Adhesion (1964), Am. Chem. Soc.

TR-348 正 誤 表

頁	行	誤	正
12	図 15 図説	放置後のステアリン	放置後の 0.1% ステアリン
14	図 17 左下	0.15 mm	0.25 mm
20	図 24 図説	油およびステアリン	油および 0.1% ステアリン
21	図 26 図中	} ステアリン酸 } 添加油	} 0.1% ステアリン酸 } 添加油
21	図 26 図説	油およびステアリン	油および 0.1% ステアリン
21	図 27 図説	タービン油, ステアリン	タービン油, 0.1% ステアリン
22	図 30 図説	(ステアリン酸添加油)	(0.1% ステアリン酸添加油)
23	文献 11) に追加		村川, 潤滑 Vol. 14 (1969) No. 4 より引用

航空宇宙技術研究所報告 348号

昭和49年1月発行

発行所 航空宇宙技術研究所
東京都調布市深大寺町1880
電話武蔵野三鷹(0422)47-5911(大代表)☎182

印刷所 株式会社 東京プレス
東京都板橋区桜川2-27-12
