乾燥摩擦におけるポーラスクロムメッキ[†] の耐摩耗性について

古沢 毅*・岸 松平*・高木理逸*・矢口 剛*・中条虎男**

Wear of Porous Chromium Plating under Dry Condition

Wear of Porous Chromium Plating (1)

Takeshi FURUSAWA*, Matsuhei KISHI*, Riitsu TAKAGI*, Takashi YAGUCHI* and Torao NAKAJO**

In order to study wear problems of porous chromium plating vs. cast iron, the radiotracer technique was applied. The flat surface to be tested was porous-chromium-plated and activated in an atomic pile. This surface was rubbed reciprocatingly under dry condition with a non-active and highly wear-resistive cast iron specimen of flat surface. The wear amount was determined by measuring the radiation intensity of wear debris produced and of chromium transferred to the cast iron.

As a result, it was found that the wear amount changes depending on the testing time and load as follows:

- 1) There is a certain critical time when the time-rate of wear changes for any testing load except the least load.
- 2) Before the critical time, the time-rate of wear is independent of the load.
- 3) After the critical time, the time-rate of wear is proportional to the load.

1. 緒 言

ポーラスクロムメッキが耐摩耗性のよいことはすでに知られている。そして内燃機関（船舶、航空機、自動車、オートバイ等）のシリンダーまたはピストンリングに使用され始めた。たとえば船用エンジンシリンダーにポーラスクロムを施すと、施さないものに比して寿命が数倍に延長し、かつ鋳鉄製ピストンリングの寿命をも増大する利点がある。さらに燃料の消費が節減できるものである。このように効果は極めて大であるが、ややもすると異状に大きな摩耗を生ずることがあるので、これを全面的に採用することにはちゅうちょせざるを得ない現状である。

著者はすでに種々の観点から、電着条件とポーラスとの関係、電解液中における鉄イオンがポーラスにおよぼす影響、電源波形がポーラスにおよぼす影響などについてポーラスクロムメッキを解明した¹⁾。

本研究はポーラスクロムにおけるポーアの性状と耐摩耗性との関係およびしばしば表われる異状に大きな摩耗の現象の原因を究明しようとするものである。

クロムの摩耗過程を追跡するためには、その摩耗量が小さいために検出感度のよい測定方法を用いることが必要である。ラジオアイソトープ (RI) をトレーサとして摩耗を測定する方法は今までに広く行なわれている^{2)~9)}が、本研究においては転移または遊離したクロムの摩耗全量を相手摩擦面上に保持してその放射能を測定する方法を採用した。

ポーラスクロムメッキの耐摩耗特性を知るためには、特に潤滑の場合においては、ポーアの効果を生かすために点または線接触の状態では不十分であると考えられたので、平面同志を摩擦する方法を採用した。

この報告では、往復運動式による摩耗試験機を用いて乾燥摩擦を行ない、各種の荷重について摩耗を測定した結果について述べる。

2. 実験方法

2-1 試料

上試片；直径 8mm，高サ 15mm の軟鋼製のもので、これを試験機にとりつけ、底面をエメリー紙 05 を用いて荷重 5kg，5min のすり合わせを行ない、脱脂したのちメッキ液中で陽極処理 (60°C，30A/dm²，10s) してからクロムを施した。

クロムメッキおよびエッチングの条件は第 1 表および第 2 表に示す通りである。

これによって得られたメッキ厚さは 0.11~0.13mm

[†] ポーラスクロムメッキの耐摩耗性の研究 (第 1 報)

* 工業技術院機械試験所 (東京都杉並区井草町)

The Government Mechanical Laboratory

** 富士ホーニング K K 土浦工場 (土浦市川口町天王松)
Fuji Honing Co.

第1表 クロムメッキの条件

浴 組 成 (g/l)	温 度 (°C)	D_K (A/dm ²)	時 間 (h)
CrO ₃ 250, H ₂ SO ₄ 2.5	60	100	3

第2表 エッチングの条件

浴 組 成 (g/l)	温 度 (°C)	D_A (A/dm ²)	時 間 (min)
クロムメッキ液と同じ	50	40	5

第3表 共晶黒鉛鋳鉄の組成

元素名	C	Si	Mn	P	Ti
%	3.47	2.59	0.89	0.13	0.21

試片の大きさは 70×18×15mm で摩擦面はグラインダ仕上げ後実験直前にエメリー紙 05 で仕上げた。

であるが、このものを再び試験機にとりつけ、前記同様の方法で研磨をかねたすり合わせを行なった。この研磨しろは 0.01~0.02mm であるので、最終メッキ厚さは 0.10~0.12mm の範囲であった。第1図はすり合わせ後のメッキ層の顕微鏡写真である。

摩耗実験を行なうにあたっては、さらにこのものに対して原子炉中で熱中性子線照射を行なった。

下試片；下試片には耐摩耗性がよいといわれている共晶黒鉛鋳鉄（SH 鋳鉄）を使用した。第2図にその顕微鏡組織を示し、また第3表にその成分の分析値を示す。

2-2 摩耗試験

摩耗試験機は第3図に示すような往復運動方式で、その性能は次のようである。

荷重 5~40 kg (10~80 kg/cm²)

行程 4.4 cm 往復回数 410/min

2-3 放射化

上試片を放射化するため、JRRI 原子炉中で 5h×3 回の断続照射を行なった。各回の照射間における休止時間は毎回約 19h であった。また熱中性子線束密度は $3 \times 10^{11} \text{ n} \cdot (\text{cm}^2)^{-1} \cdot \text{S}^{-1}$ であった。

この結果メッキ層には、 $^{50}\text{Cr}(n, \gamma)^{51}\text{Cr}$ の反応によって ^{51}Cr を誘導する。 ^{51}Cr は K 電子捕獲のほか 0.32 MeV の γ 線を放出して壊変する。その壊変の半減期は 27.8d である。誘導放射能 A の値は次式によって計算される。

$$A = Nf\sigma(1 - e^{-0.693t/T}) \dots\dots\dots(1)$$

ここに、 N はターゲットの原子数、 f は熱中性子線束密度、 σ はターゲットの放射化断面積、 t は照射時間、 T は ^{51}Cr の半減期。

(1) 式は連続照射の場合に適用されるので、断続照射を行なった場合には休止時間によって影響される項を加えなければならない。しかし本実験の場合においてはそれ

第1図 ポーラスクロムメッキの組織(すり合わせ後)

第2図 下試片(共晶黒鉛鋳鉄)の組織

第3図 摩耗試験機

による誤差は無視できるほど小さいので省略することができる。(1) 式による計算の結果、本実験においては ^{51}Cr の誘導放射能は 0.7 mc/g であった。

2-4 摩耗試験

上試片を下試片の面に押しつけて荷重を加え、なるべく広い面積で接触させるようにして下試片をベッドのホルダーに締めつけた。実際に接触した面の状態は各回の実験毎に多少差があったが、摩擦初期のある過程を除けば総べての場合において、上試片の端面の約 60% 以上の接触面積が保たれた。

摩擦速度は 410 往復毎分 (平均速度 0.35 m/min) で行なった。摩耗量を測定するさいには下試片を取り外して行なった。そのときの摩擦回数は計数器の指示によって決定した。断続的な摩擦を行ない測定毎に下試片を取り外した場合と連続的な摩擦を行なった場合とでは摩耗現象に差が生じることが考えられたので連続摩擦による比較試験を行なったが、両者はよく一致し、そのような原因による誤差が少ないことが確かめられた。

下試片の摩擦面の周囲にアルミニウムの板で側壁をつくり、第 4 図のようにセロテープで張りつけて、上下試片の摩擦面から生じた摩耗粉が外に飛散することを防いだ。

2-5 放射能の測定と摩耗量の決定

デテクターのヘッドに $1'' \times 1'' \phi$ の NaI クリスタルをつけたシンチレーションカウンターによって下試片の摩擦面上の放射能を測定した。また上試片の面に付着した摩耗粉はベンジンを滲ませたガーゼで拭い、そのガーゼを 45 mm ϕ の面積を持ったバフン紙上にひろげ、セロテープで密封したのち放射能を測定して下試片の測定値につけ加えた。

(左) 較正用試料 (中) 下試片 (右) 上試片

第 4 図 上下試片および較正試料

第 5 図 放射能測定装置

カウンターおよび測定試片は、第 5 図に示すような鉛容器 (鉛厚 10 cm) の中に収容し、バックグラウンドをできるだけ遮蔽した。測定する放射線のエネルギーは下限のみをディスクリミネータで除いたので、それでもそのバックグラウンドは約 40~50 cpm であった。

上試片の照射のさいにクロムメッキの切片を同封して同時照射した。これを塩酸で溶解し水で希釈したのち所要量を試料皿にとり乾燥して較正用試料とした。この較正用試料との比較によって摩耗量を決定した。

3. 実験結果

3-1 クロム-51 の減衰曲線

第 6 図は誘導された ^{51}Cr の減衰曲線である。図によれば、その半減期は正確に 27.8 d を示し、しかも冷却時間を待たずに照射終了後間もなくから直線で表わされている。これはメッキ層のクロムが金属的不純物をあまり含んでいないことを示している。

3-2 摩耗曲線

第 7 図および第 8 図は摩擦時間と摩耗量との関係を示したものである。第 7 図は試験荷重 5 kg (10 kg/cm²) で行なった 2 回の結果を示す。図から見られるように、このような比較的低い荷重のもとにおいては、初めの接触面の状態の差異などの影響が大きく表われ、同様の実験結果を正確に再現することは困難であった。第 8 図は 5 kg, 10 kg, 20 kg, 30 kg, 40 kg の各荷重における結果を併わせて示したものである。この図に示されるような摩擦時間の少ない範囲では 5 kg で行なった各回の結果も殆んど差を認められない。そしてそれらの摩耗曲線は 5 kg 荷重のものを除いたすべての場合に、試験荷重

第 6 図 ^{51}Cr の減衰曲線

第7図 荷重 5 kg における摩擦・摩耗曲線

第8図 各種荷重における摩擦・摩耗曲線

に特有なある臨界値を持った屈折点が認められる。この臨界値に達するまでの初期の摩擦過程においては直線を示し、またその直線の傾斜は荷重に関係なく一定である。屈折点を過ぎた摩擦時間の範囲では完全な直線を示してはいないが、その平均の傾斜は前者に比して飛躍的に高い。しかもその傾斜の高さ（摩耗率）は荷重に比例していることが第9図から確かめられる。

4. 結果の考察

以上の結果から1次摩耗および2次摩耗の2つの領域が存在することが確かめられる。すなわち1次摩耗領域においては摩擦時間と摩耗との比（摩耗率）が一定であり、しかもその摩耗率は荷重によっても変わらないことから、この中でのクロムの摩耗が主として酸化層の生成・脱落の機構に基づくものであると考えられる。また2次摩耗領域においては、その摩耗の様相は1次摩耗領域におけるそれとは全く異なっている。この場合には機械的破壊または融着による摩耗であることが推測される。

後者のような摩耗現象を生じた場合には、その摩耗は異常に大きくなり、好ましくないことはいうまでもない。突如としてこのような現象が生ずる理由は未だ詳細には判明しない。けれども過去における多数の摩耗に関

第9図 2次摩耗領域（摩耗量 0.2～1.1 mg）における平均摩耗率曲線

する報告などが、その理解の上に大きな示唆を与えている。この問題は本研究の一環として今後行なわれる潤滑状態における実験の過程で追究する予定であるので、ここでは省略する。

5. 結 び

RI をトレーサとした実験方法の中では、比較的容易な測定方法によって摩耗量の少ないクロムの摩耗過程を追求めたが、その結果としては測定感度の上からも、追従性または信頼性の点からも十分に満足すべきものが得られた。今回の実験から得られたものを要約すると、

- 1) 摩耗過程において突然摩耗率が増加する点があり、その点を境として1次摩耗および2次摩耗の2つの領域に分けて考えられる。
- 2) 2次摩耗の生ずる点は荷重が小さい程摩擦量の大きな部分に移行し、また荷重が極端に小さくなるとこのような現象が起こりにくくなる。
- 3) 1次摩耗領域においては摩耗率がつねに一定で、荷重の大小にも影響されない。
- 4) 2次摩耗領域においては摩耗率が荷重に比例する。

(1964. 1. 18 受理)

文 献

- (1) 岸, 矢口, 星野, 中条, 本誌, **15**, 86 (1964)
- (2) J. T. Buewell, J. of App. Physics, **23**, 18 (1952)
- (3) E. R. Rabinowicz, Proc. of the Phys. Soc., **B-66**, 929 (1953)
- (4) W. R. Miller and H. R. Jackson, Lub. Eng., **11**, 238 (1955)
- (5) J. F. Archard and W. Hirst, Proc. of Royal Society Ser. A, **236**, 397 (1956)
- (6) R. P. Steijn, Trans. of the ASME J. of Basic Eng., **81**, 67 (1959)
- (7) 高木, 古沢, 田村, 松本, 機械試験所所報, **15**, 424 (1961)
- (8) 白井, 竹山, 長野, 機械試験所報告, No. 47 (1962)
- (9) R. B. Price, D. N. Sunderman and others, Lub. Eng., **18** (1962)