

## 無潤滑下における硬質炭化クロムめっき

鈴木 張 介\*

Hard Chrome Carbide Plating Under Oil-Free Conditions

Chosuke SUZUKI\*

無潤滑の環境下における耐摩耗性の研究が進められているなかで混合触媒を用いためっき法を開発した。本法は分子間結合度の高い硬質炭化クロムを耐摩耗性の基地金属とする工法である。摩擦熱の上昇に伴って基地金属の摩擦面は強力な酸化金属となり、不動態の皮膜に変化して摩擦係数の降下を示し、相手材の摩耗量をも減少させる。高温、高速、高荷重の条件下において摩耗の主因である金属間融合を阻止するメカニズムについて解説する。

### 1. まえがき

各種の機械部品がある大きさの荷重を受けて相対的な運動を行うと接触面に摩耗や焼付き現象を生ずる。

従来よりこの現象を改善する目的から種々な潤滑剤の研究も含め高周波焼入れ、浸炭、窒化、浸硫あるいは硬質クロムめっき処理など、また最近では TiC、TiN などを被覆するイオンプレATINGやイオン注入などいろいろな表面改質が行われ、それなりに実績を挙げている。

本報告は硬質クロムめっきの一種であるが、当社が開発した混合触媒(SC-7)を用いて、母材の表面に炭化金属クロム合金(化学式  $Cr + Cr_{23}C_6$ )をめっきし、摩擦熱によって生成する不動態質

( $Cr_2O_3$ )と相接する金属との耐凝着性、耐摩耗性を主目的とした表面改質工法(以下ダイクロンと呼ぶ)である。特に無潤滑下における耐摩耗性及び耐焼付き性に優れている。

本処理法は工業的に評価され実績が得られているので、他の表面改質と比較検討しながら解説する。

### 2. 表面生成物

湿式電解法によって金属表面にめっきされる金属皮膜の性質は、電解溶液の浴組成と触媒の電気化学的な反応によって大きく変化する。また、電流、浴温、電極間の距離、電極の材質、形状、溶液のかくはん速度、めっきされる材質の化学的成分、めっきされる物体と液面との距離などによっても異なる。すなわち、これらはめっきの厚さにも影響を及ぼすが、触媒の成分によって析出する生成物の化学的組成も変わるといわれている。

従来の硬質クロムめっき皮膜(従来法と呼ぶ)は大きな内部歪みと水素を多量に吸蔵したCr単体が生成するのに対し、ダイクロンは当社開発の混合触媒を用いることにより、母材の表面との密着性に優れしかも耐摩耗性の高い( $Cr + Cr_{23}C_6$ )を生成させる。特に摩擦面の温度が  $500^{\circ}C$  以下の場合には、優れた耐摩耗性効果を示し、また摩擦面温度が  $500^{\circ}C$  以上に上昇すると( $Cr + Cr_{23}C_6$ )が基地となり、大気中の活性酸素を吸着して金属酸化物( $Cr_2O_3$ )を生成して不動態質となり、凝着摩耗を阻止する表面生成物となる。

\* 千代田第一工業(株)代表取締役 (〒105 東京都港区新橋1-13-12(堤ビル) ☎03-591-1601)  
Chiyoda Dai-ichi kogyo Co., Ltd. (13-12, Shinbashi 1-chome, Minato-ku, Tokyo 105)

### 3. 皮膜の硬さ

従来法で処理した場合の表面硬さは前述したごとくCrが主体であり、このCr層中に存在する内部歪、水素の吸蔵あるいは層内の結晶粒の微細化などによりHv(0.1)950程度のかたさを示す。しかし、ダイクロンの場合はCrの他にCr<sub>23</sub>C<sub>6</sub>の炭化物が生成されているためHv1000とわずかに高い値を示す結果が得られている。

しかしながら、滑り接触摩耗においては多くの要因が影響を及ぼしているため、硬さのみで議論することはできない。すなわち、接触摩擦熱で生成されたダイクロンの表面生成物Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>はオンゲストローム厚さのため硬度測定はできないが、後述するごとく耐摩耗性、耐焼付き性にすぐれている。

図1は従来法とダイクロンの断面硬さ変化を測定した結果を示したものである。図より明らかなごとく、従来法はめっき層から母材金属に達すると急激に硬さが低下するのに対し、ダイクロンの場合は緩やかに傾斜する傾向が認められる。

この硬さ分布曲線における傾斜現象が後述する密着性あるいはしゅう動時のはく離阻止に大きく影響しているものと考えられる。なお、めっき層の厚みに差が認められるのは、めっき処理条件の相違によるものである。

また、硬さの相違はめっき後の加熱あるいは高温硬さにおいても顕著に認められる。すなわち、従来法はCr単体のため、加熱温度の上昇にとも

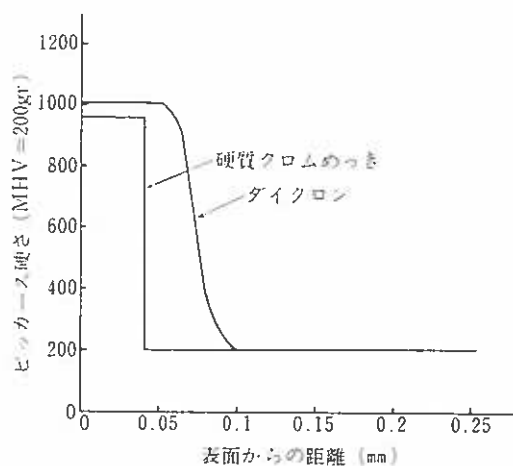


図1 硬さ推移曲線

ない内部歪が除去され、吸蔵水素量も減少するため硬さの低下を生じ、特に500°C以上になるとこの傾向が著しい。これに対し、ダイクロンの場合は(Cr+Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub>)の炭化クロム複合金のため、硬さの低下割合が小さく比較的高温においても高い値を示す。例えば600°Cの高温硬さにおいては従来法が約Hv450、ダイクロンがHv680程度である。

### 4. 母材との密着性

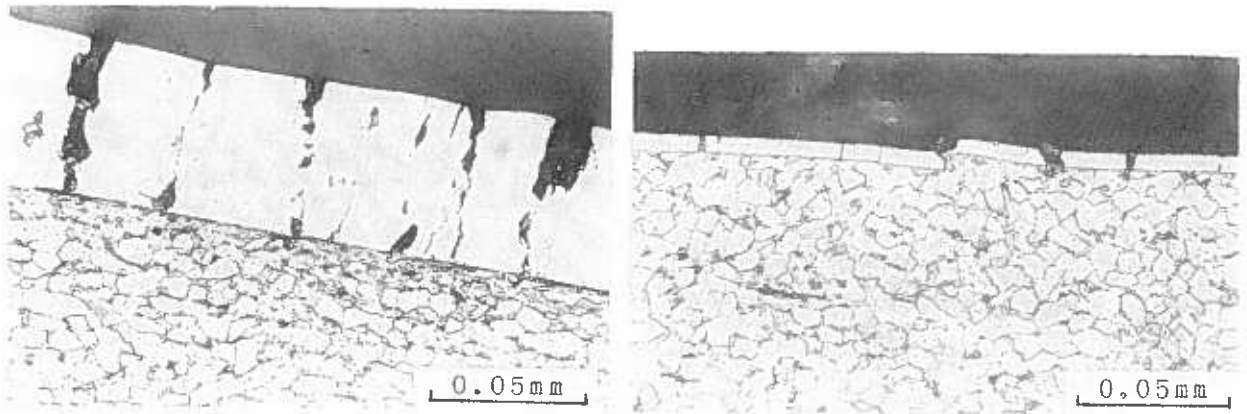
浸炭、窒化あるいは、浸硫などのごとく拡散をともなう表面改質法は別として、イオンプレATINGや溶射、プラズマによるコーティングなどの表面改質においては耐久性、耐寿命性を左右する大きな因子の一つに生成された層と母材との密着性の問題がある。ダイクロンはめっき層と母材金属との密着力を強化するため混合触媒を用いることで分子間結合度の高い炭化クロム複合金(Cr+Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub>)によって強力に密着させたものである。

従来法とダイクロンの密着性の比較をJISによる折曲げ試験法によって両者を比較検討した結果によると、いずれの処理も曲げ角度45°でめっき層の表面に微細なクラックの発生が認められ、曲げ角度90°になると従来法ではクラックが成長して母材にまで達しはく離現象を生じる。これに対しダイクロンではさらに逆に90°曲げても、クラックの成長は認められるもののはく離現象は生じない。

すなわち、従来法とダイクロンの密着性の差は混合触媒の効果によるものであり、従来法ではめっき層の硬さと母材の硬さが急激に変化して硬さの断層を形成しているが、ダイクロンの場合は層の硬さが緩やかに傾斜して降下するので、母材との断層が緩和されるために分子間の結合度が高くなることが要因と考えられる。写真1は両者を比較したものである。

### 5. 耐摩耗性

硬質クロムめっきは高い硬さが得られるばかりでなく、摩擦係数も小さく、また摩擦の相手材の



ダイクロン

硬質クロムめっき

写真1 折曲げ試験後の断面状況  
(素材S45C焼なまし材)

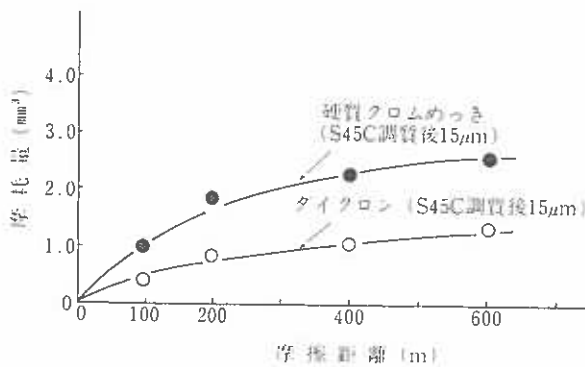


図2 各試験片における摩擦距離と摩耗量との関係  
すべり速度：0.208m/sec  
最終荷重：12kgf  
回転試験片：S45C調質材（非潤滑下）

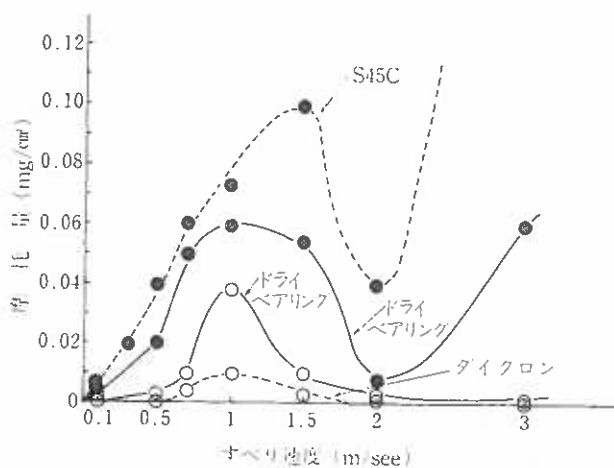


図3 各試験片におけるすべり速度と摩耗量との関係  
接触圧力：1 kgf/cm<sup>2</sup>  
すべり距離：1000m  
固定試験片：ドライベアリング  
回転試験片：S45C調質材、ダイクロン処理材（非潤滑下）

摩耗も減少させることから各種の工具類、金型類、ゲージ、シリンダー類などの耐摩耗用部品に広く応用されている。

したがって工業的な面においてもめっき層の厚みをいろいろ変えた場合、相手材を変えた場合、あるいは潤滑剤が異なる場合、さらに試験方法が異なる場合などそれぞれの結果について数多く報告されている。図2はめっき層の厚みを一定にし、大越式摩耗試験機によって比較検討した結果を示したものである。図より明らかなごとく摩擦距離が短い場合は両者とも顕著な差は認められないが、長い距離になると大きな差が認められる。

すなわち、このような現象は前述したごとく従来法においては接触面の温度上昇によって(Cr)から(Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)に変化するが、内部歪及び吸蔵水素の減少などにより硬さが低下し摩耗量が増加する。またダイクロンでは接触表面の温度上昇により(Cr+Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub>)と分子間結合したCr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>に順次変化する。(Cr+Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub>)と結合したCr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>はSC-7の効果により強力な不動態となるため、耐摩耗性を維持するものと考えられる。

図3は黒鉛入りの金属系ドライベアリング材を固定試験片とし、これに組合わせる回転試験片にS45C調質材を用い100%滑り摩耗実験結果を示し

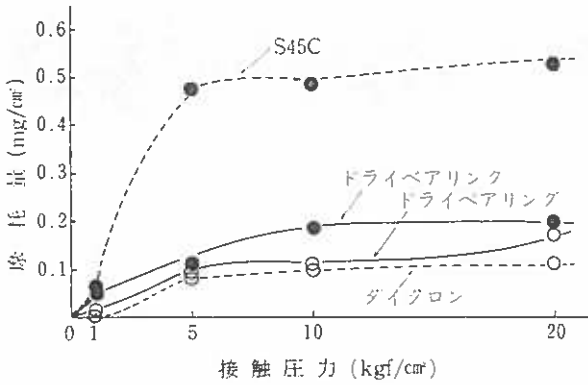


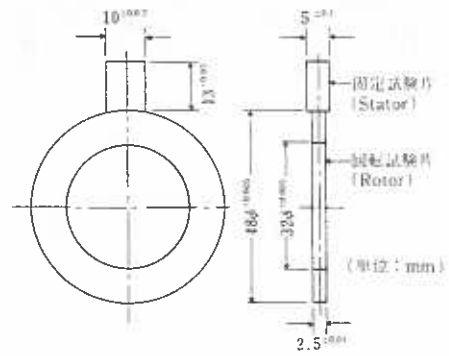
図4 各試験片における接触圧力と摩耗量との関係  
すべり速度：0.7m/sec  
すべり距離：1000m  
固定試験片：ドライベアリング材  
回転試験片：S45C, ダイクロン材

たものである。図より明らかなごとく、いずれの組み合わせの場合も滑り速度 1 m/sec 前後に摩耗量の最大値が認められ、ドライベアリング材と S45C の組み合わせの場合は、より高速になると溶解及び凝着摩耗へと移行する。これに対して、ドライベアリング材とダイクロンを組合わせた場合は 2-3m/sec と高速になっても摩耗量が少なく優れた耐摩耗性を示す。

また、図4は同一組合わせによる接触圧力と摩耗量の関係を求めた結果である。いずれも接触圧力 5 kgf/mm<sup>2</sup> 程度までは急激な摩耗損量が認められ、より高圧になると定常となる。しかしながらその摩耗量は組合わせた材料によって異なる傾向を示し、ドライベアリング材とダイクロンを組合わせた場合は高面圧においても摩耗損量が著しく低い値を示す。

これらの結果より、滑り速度が上昇するほど、また接触圧力が高くなるほどしゅう動面は摩擦熱によって温度が上昇するにも拘わらずダイクロンは相手材の摩耗量も減少させ、かつ溶解あるいは凝着現象が認められず、優れた耐摩擦及び耐摩耗の特性を示している。なお、鉛入フッ素系ドライベアリングとの組合わせにおいても同様な結果が得られた。

以上のように、ダイクロンはしゅう動摩擦熱によって接触面が熱的変化を生じ不動態となる工法であるため、母材が溶けない限り凝着、焼付



(参考) 実施した摩耗方式

き現象が生じないものと推察される。

### 6. 耐凝着試験

摩耗現象の大きな因子の一つに凝着現象がある。耐焼付き性とは別に優れた潤滑剤を用いても接触面に過大な荷重が負荷されたり、あるいは摩擦面温度が上昇したりすると激しい凝着現象、つまり焼付き現象を生じる。この焼付き現象を防止することあるいは少なくすることは、工業的な面において重要なことである。特に無潤滑下あるいは温度上昇が生じるような部分においては耐寿命性を大きく左右するものであり、潤滑剤の開発を含めて摩擦係数の小さな材料あるいは表面改質処理方

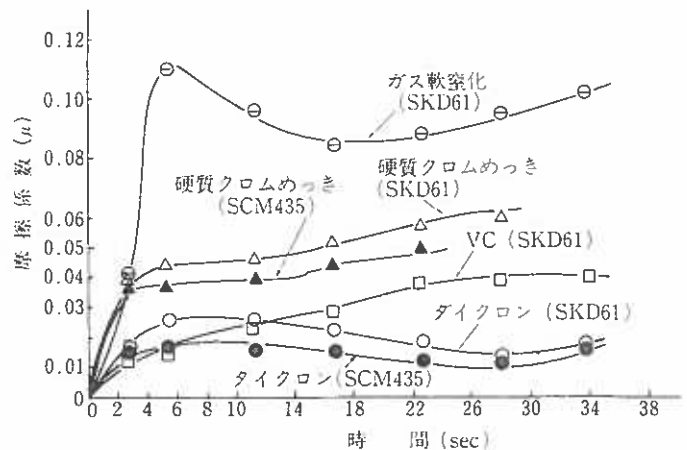
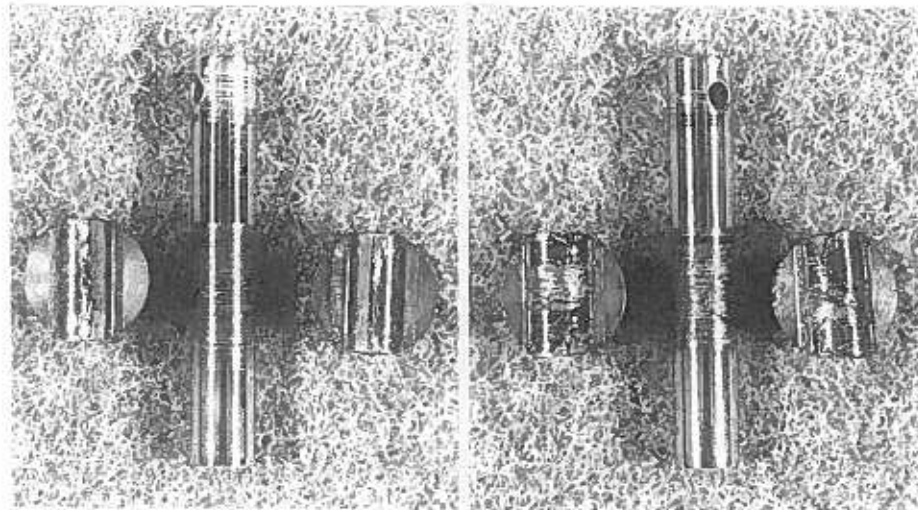


図5 各種表面処理鋼の耐焼付き性試験結果  
V型試験片：S45C調質材  
ピンの硬化層はいずれも15μm





ダイクロン  
(摩擦係数 $\mu$ : 0.017)

硬質クロムめっき  
(摩擦係数 $\mu$ : 0.06)

写真2 耐焼付き試験後の表面状況  
(SKD61: いずれも27秒後)

法の開発が急がれているのが現況である。

図5は、いろいろな方法によって表面改質を行った場合の摩擦係数をファレックス試験機により求めた結果を示したものである。図からも明らかなようにSKD61、SCM435いずれの鋼種においても、ダイクロンは他の表面改質したものと比較して低い摩擦係数を示す傾向が認められ、特に接触試験時間が14-15秒経過するとさらに減少する結果が得られた。写真2は従来法とダイクロン法における試験後の外観の一例を示したものであり、従来法は激しくかじりあって損傷が著しいのに対し、ダイクロンは全く凝着の跡が認められず接触部はにぶい光沢を呈している。このような現象はダイクロンの表面に生成した $(Cr+Cr_2C_6)$ が摩擦熱によって $(Cr_2O_3)$ に変化し強力な不動態性を発揮して金属間融合を阻止したものと考えられる。(特許出願公開-昭 61-149493)

## 7. あとがき

無潤滑下で耐摩耗性を目的に耐焼付き性の開発をてがけて20年、硬質クロムめっき浴に混合触媒を加えることにより、母材との密着性がよく硬い層が得られ、無潤滑下において優れた摩耗特性を示す表面改質法ができた。種々な潤滑材を用いて解決している環境下の部品はそれなりに効果が得られているが、現実的に潤滑剤を使用できない清浄空気を必要とする環境下(例えば、駆動装置や発熱源を内蔵する両内電気装置や工作機械)の機器の部品にダイクロンが採用されれば幸いである。

なお、本報告のデータは都立工業技術センター及び徳島県工業試験場に依頼し得られたデータを抜粋して執筆したものである。

### 参考文献

- (1) MJUDY: CHROMI, 1 (1950) P113
- (2) 佐藤教夫: 金属表面技術, 37, No. 8
- (3) 佐藤健児: 金属の摩耗とその対策(養賢堂)
- (4) 白井俊明: 現代化学読本(日本評論社)  
104, 129(1960)



# 無潤滑下における硬質炭化クロムめっき(2)

— 実用例を中心として —

鈴木 張 介\*

Hard Chrome Carbide Plating Under Oil-Free Condition(2)

Chosuke SUZUKI\*

前報では、無潤滑の環境下における耐摩耗性および耐焼付き性に優れた硬質炭化クロムめっきのメカニズムを主として解説した。本稿では、実用例を中心として解説する。

## 1. まえがき

技術の真価は実用化にあり、その評価はコストによって決まる。前報<sup>1)</sup>において硬質炭化クロムめっき(ダイクロン処理)は大気中において、自ら発生する摩擦熱によって接触界面を強力な耐摩耗性に優れた不動態に改質すること、また、その不動態膜が無潤滑の環境下において相手材の摩耗も少なくし、総摩耗量を低下させることを報告した。

本回はその実用例と摩耗量を低下させるメカニズムについて報告する。

## 2. ダイクロンとは

ダイクロンは混合触媒を用いためっき法で、分子間結合を高め基材によく密着し、ぜい性を緩和した硬質炭化クロム(化学式 $\text{Cr} + \text{Cr}_{23}\text{C}_6$ )である。これは特質の電析層であって、たとえばぜい性が緩和された電析層は摩擦による層の破碎を抑制して嚙込み摩耗性を防止する。

\* 千代田第一工業(株)代表取締役(〒105 東京都港区新橋1-13-12(堤ビル), ☎03-591-1601)

Chiyoda Dai-ichi Kogyo Co., Ltd. (13-12, Shinbashi 1-chome, Minato-ku, Tokyo 105)

また、摩擦による自己発生熱によって接触界面は不動態の $\text{Cr}_2\text{O}_3$ に変化し、無潤滑下の凝着を抑制して焼付を防ぐなど、画期的な耐摩耗性とそれに至る過程と界面の挙動を図1に示す。

図1-Aは分子間結合度が高く、基材によく密着した $\text{Cr} + \text{Cr}_{23}\text{C}_6$ を電析させるのが本工法の基本条件である。

電析された $\text{Cr} + \text{Cr}_{23}\text{C}_6$ 層を一段層と呼ぶ。一段層は摩擦による界面温度が $500^\circ\text{C}$ 以下における耐摩耗性で耐ひっかき性にすぐれている。その因子は分子間結合度が高いからだと思われる。

摩擦熱が $500^\circ\text{C}$ 以上に上昇すると一段層の界面は図1-Bに示すように $\text{Cr}_2\text{O}_3$ に改質して不動態となる。一段層の $\text{Cr} + \text{Cr}_{23}\text{C}_6$ は熱化成した界面の $\text{Cr}_2\text{O}_3$ の基地金として下支えとなる。

図1-Bは一段層の摩擦面の界面温度が $500^\circ\text{C}$ 以上に上昇すると、接触界面は $\text{Cr} + \text{Cr}_{23}\text{C}_6$ から $\text{Cr}_2\text{O}_3$ に改質した結晶の変化を模式的に示したものである。図で示すように $\text{Cr}_2\text{O}_3$ は一段層の $\text{Cr} + \text{Cr}_{23}\text{C}_6$ を基地金として強く結合してはく離し

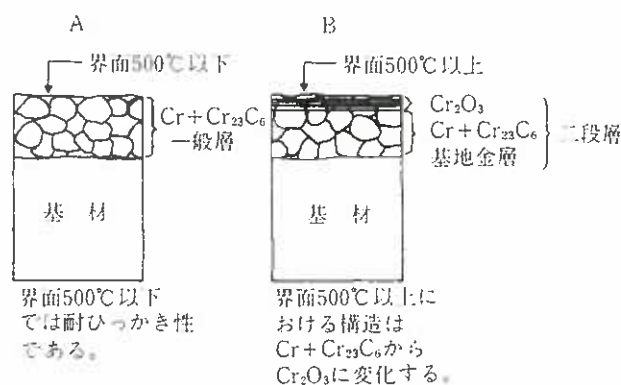


図1 ダイクロン処理の耐摩耗性メカニズム

表1 ダイクロン処理皮膜の特性

区 分	界面温度500℃以下	界面温度500℃以上
分子構造	$Cr+Cr_{23}C_6$ $\alpha_0=10^\circ 64'$ の立方体	$Cr_2O_3$ $\alpha_0=54^\circ 58'$ の六方晶体
比 重	6.75	3.4
水 溶 性	水に溶けない	水に溶けない
蒸 気	750-800℃で反応 放出した炭化水素は -80℃で凝固	
硬 さ	HVO-1 1000以上	モース硬度10として9
溶 点	1550℃	2435℃
熱電導率		$45 \times 10^{-4} \text{ W a t}$ $\text{cm} / ^\circ\text{C}$
電気抵抗	20℃ 12.9 (U Ohm C. m)	20℃ $3.4 \times 10^{-6}$ - $1.2 \times 10^{-4} \text{ Ohm}^{-2}$ $\text{cm}^{-1}$

表2 摩耗試験機による摩耗量比較

条 件		潤滑 (炭素鋼)	無潤滑 (炭素鋼)
炭 素 鋼	しゅう動	0.55 mg/16hr	170 mg/4hr
	静止	0.44 mg/16hr	128 mg/4hr
ダイクロン	しゅう動	0.13 mg/16hr	82 mg/4hr
	静止	0.12 mg/16hr	28 mg/4hr

試験条件：荷重 0.57 kgf / m. m<sup>2</sup>  
 潤速 2.06 m/sec  
 (潤滑下) 油量 約0.1ml/min

ない。Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> はモース硬度9とダイヤモンドに近い硬さであるが、ひっかき、その他の因子による摩耗は避けられない。しかし基地金のCr+Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub>層がCr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> に改質をつづけるための供給源となる。この層を二段層と呼ぶ。

なお、ダイクロン皮膜の物性を表1に、炭素鋼どうしの組み合わせ及び炭素鋼とダイクロンの組み合わせによる耐摩耗性の実験結果を表2に示した。潤滑下における相対摩耗量はダイクロン処理することにより約1/4、また無潤滑下では1/3に減少する。特にSKD, SCM 材は前報で述べたように耐焼き付き性の向上に効果がある。

なお、電析によって生成された層は一般硬質クロムもダイクロンも基材の材質によって摩擦係数は変化する。したがって耐摩耗性に関係を及ぼす。

表3 ダイクロン使用実用例

業 種	工 程	部 品 名
ゴム プラスチック	バンパリー ビート押出 成型	スクリュー、ローター、ロール スクレーパー、金型 カッター
電 線	伸線 集合	ドラフトリング、ダイス、 キャプスタン、伸線釜 プーリー、ニップル
鉄 鋼		薄鋼板用レベラーロール
製 罐		キャリアバー、フィンガー、 ポンチカッター、縁曲げブロック
織 維		ガイド、ロール
機 械		各種ポンプ部品 シリンダー、ロット類、 各種金型

### 3. 実例と得られた効果

従来より実施し優れた効果が得られている実用例を表3に、またその得られた効果について説明する。

#### (1) プレス絞り金型

ケースガード第二絞り型の焼付現象を生産数量と金型の研磨回数について、拡散をともなったT処理とダイクロン処理との比較検討の結果を示す。いずれもダイス鋼である。

ダイクロン処理 生産数量 448千個

193千個で1回研磨

T 処理 生産数量 230千個

この間29回研磨

なお、写真1は最終生産加工後の金型および加工品を示したものである。

#### (2) シリンダーとロット

塗装用の部品であるがダイクロン使用効果は6ヶ月の交換周期が2年以上に延びた。(写真2)

#### (3) プーリー

使用条件は対物：銅線であるが交換周期6ヶ月から1年であるが、ダイクロン使用により2年-4年以上一定した品質が保証される。(写真3)

#### (4) ポンチカッター

ダイクロン使用効果は

(イ)薄板 (0.2-0.4mm) 600,000-1,000,000 枚



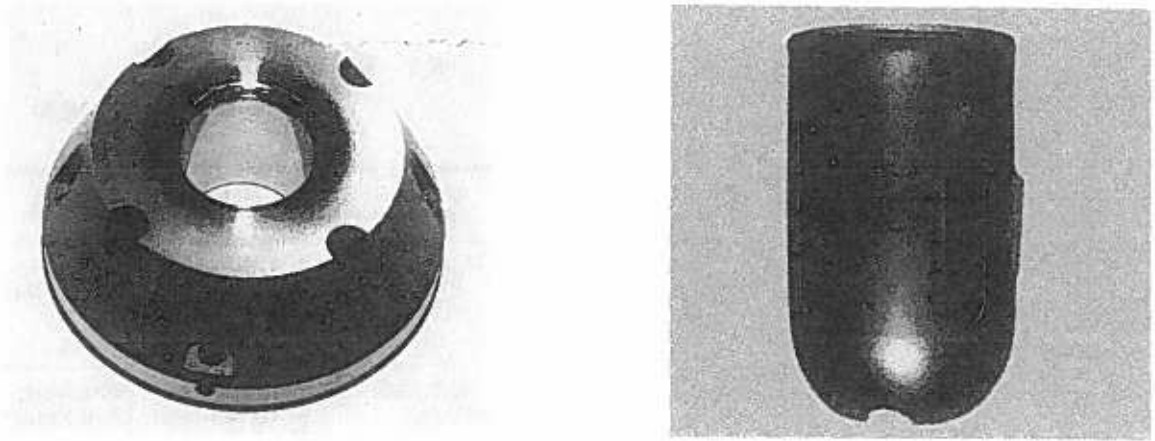


写真1 絞り型（左）と製品（右）  
ケースガード第二絞り型での使用後の状態（4,480,000 個目）

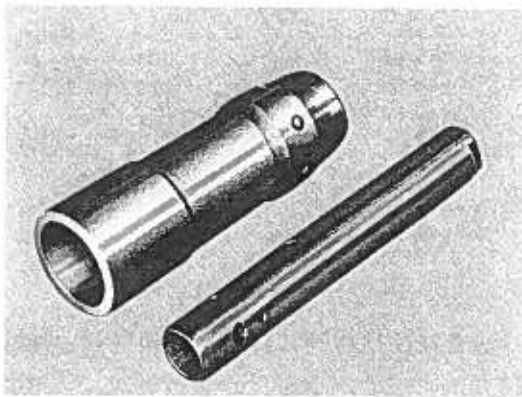


写真2 シリンダー・ロッド（使用条件 塗装機用）

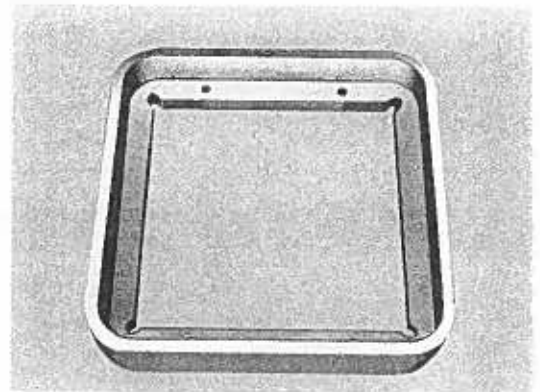


写真4 ポンチ・カッター

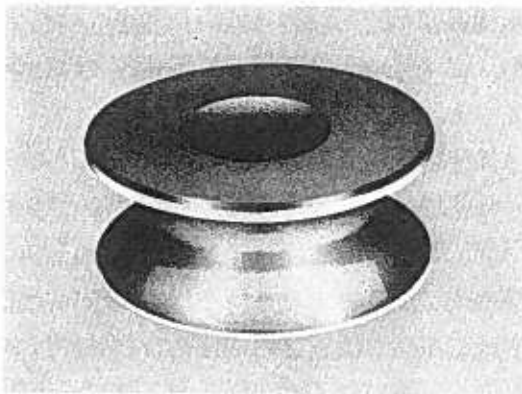


写真3 プーリー（使用条件 対物：銅線）

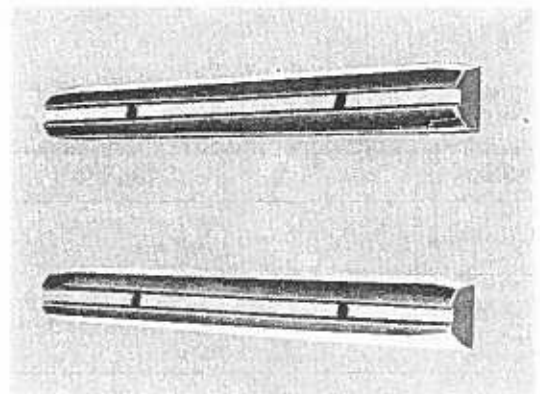


写真5 ガイド・スチール  
（使用条件 薄板（0.2～0.4 mm）のガイド）

(4) 絞性がよくなる

(5) 再生処理することができる。（写真4）

(5) ガイドスチール

ダイクロンの使用効果は一般硬質クロムめっきの5倍～8倍である。（写真5）

(6) ブレーキドラム

ダイクロン使用効果としては交換周期が大幅にのびること（5年以上）と、その上ブレーキ効果もあがる。（写真6）

(7) スクリュー

ダイクロン使用効果は3～6ヶ月の交換周期が1年以上に延びた。（写真7）

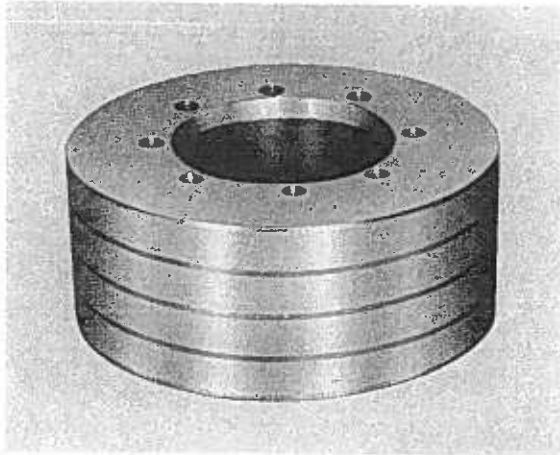


写真6 ブレーキ・ドラム

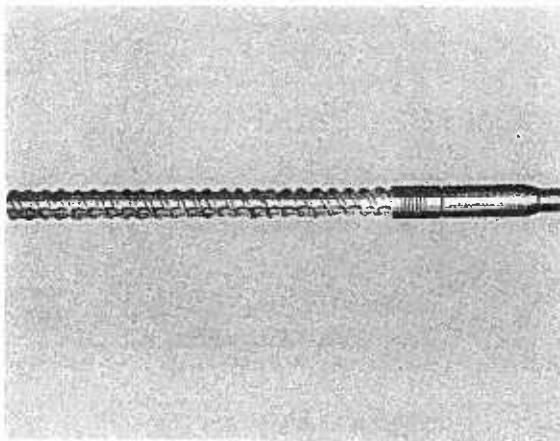


写真7 スクリュー (使用条件 ガラス繊維入り樹脂)

表5 使用目的に応じた膜厚と表面の状態および対象物

目的区分 膜厚と界面物質	研 磨 方 法	対 象 物
切削工具類 8-15μm Cr+Cr <sub>23</sub> C <sub>6</sub> → Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	荒研磨はGC, WA 仕上げは油砥石を 使用する	丸鋸刃 軟質材切削用刃物
高速, 高圧 絞型等 15-30μm Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	すべり接触面は バフ研磨を行ない 輝面を保持する	各種の金型, 又無 潤滑下の耐摩耗に 効果あり
軽荷重用 30-200μm Cr+Cr <sub>23</sub> C <sub>6</sub>	同上 接触面が輝面を失 なわれないよう注意	通常の耐摩耗部品
肉盛り用 100-500μm Cr+Cr <sub>23</sub> C <sub>6</sub>	向 上	同 上
特 殊 1-3μm Cr+Cr <sub>23</sub> C <sub>6</sub>	特殊仕上げ	

表4 使用目的に応じた基地の熱処理条件

目的区分	基 材	基地の硬さ
刃 物 類	SKS, SCM SKH, SK	焼入れ, 低温焼戻し 調質を完全に行なう
各種金型 高 荷 重	SKD, SKS, SKH SK, S45C	焼入れ, 焼戻しによっ て硬さを充分に上昇さ せる
耐摩耗性 一 般 軽 荷 重	SK, SKS, SUJ SUS, FC, SCM S45C 真ちゅう, Ni合金	焼入れ, 焼戻し 調質, 固溶化処理

#### 4. ダイクロンに適した材料

ダイクロン処理が可能な材料はCr, Ni, Co, Mo, Feなどの金属およびこれらを含む鉄系材料である。また、鉄系ではあるがV, Ti, Mnなどの金属、あるいはこれらを多量に含有するものは電気化学的理由から密着性があまりよくない。

表4は使用目的に応じた適用材料と基地硬さを得る熱処理方法を表したものである。用途に適した母材基地を選択することによって優れた特性を示す。なお、いずれの基材においてもダイクロン処理温度が50℃前後と低いので歪みは発生しないが、ごく薄い平面基材の片面処理では注意が必要である。

基材は使用される条件(面圧, 高じん性)に適した基地硬さを選定する必要がある。つまり、高い面圧で使用する場合は焼入れ, 焼戻しによって基地硬さが上昇する基材を用い、低い面圧でしかも高じん性が要求される場合は調質を行い、硬さが低く、高いじん性が得られる基材を選ぶ必要がある。いずれの場合も、ダイクロンは他の金属と比較して摩耗係数は小さく、すべり性が耐摩耗性に優れ、かつ相手材の摩擦量も減少させる。

なお、表5に使用目的に応じた膜厚と表面状態を対象物とともに示した。

#### 5. おわりに

無潤滑下で凝着を阻止し耐摩耗性, 耐焼付き性を向上させるダイクロンについて実施例を解説し

た。また、この他多数の実施例があり実際に使用されている部材も数多くあり、特に3年数ヶ月にわたって絞型の寿命を比較調査して下され、清浄環境機器製造メーカーとして業界を代表されているSMC 株式会社大村進社長の御厚意に深く感謝する次第である。

## 参考文献

- 1) 鈴木張介；実務表面技術, 35 (7) 1 (1988)
  - 2) MJUDY ; CHROMI, 1 (1950) P153
  - 3) 佐藤教夫；金属表面技術, 37, No. 8
  - 4) 佐藤健児；金属の摩耗とその対策 (養賢堂)
  - 5) 平井教夫；現代化学読本 (日本評論社)  
104-129 (1960)
  - 6) 小林吉定；実務表面技術, 35 (4) 177  
(1988)
-

