塗料講座 (塗料技術の新分野・第IV講)

(色材, 59 [9] 557-566, 1986)

摩擦・摩耗を制御するもの

潤滑塗料・滑り止め塗料

片 山 正 雄*

1. はじめに

われわれの日常生活の環境の中で、質量のあるもの同志の接触に伴う必然的な自然現象として摩擦があり、それによって換起される摩耗がある。もしも摩擦が無ければ、全てのものはほんのわずかの力、ほんの少しの傾きで滑ってしまい、とどまる所を知らない永久運動を続けてしまうことになる。

従って、われわれの日常身の回りに摩擦が存在するということは大変具合の良いことであるが、しかしその場の状況や用途によっては摩擦があり過ぎることや少な過ぎることが邪魔になることも起こっている。

従来は塗料というものは、一般に素材の上に塗布し、塗膜を形成し、腐食、劣化、破損等の環境から保護し、耐久性を持たせ、併せて着色、美装等の美的感覚を付与して素材の商品価値を上げることがを目的に考案されたものであるが、今日これらの凡用な塗料の形態から、より高機能を、より特殊な機能を付与したものに重点が置かれ、研究開発されるようになって来た。

それならば、邪魔になることのある摩擦を逆に利用し、コントロールすることにより、摩擦抵抗を下げ、潤滑性のある塗料を作り、素材の摩耗を高度に保護できないかということで潤滑塗料が、また摩擦抵抗が低過ぎて滑ったり、くずれたりするものに対しては、塗料を塗ることにより摩擦力を上げて押えられないかとの発想から、滑り止め塗料が考案され作られている。

潤滑塗料には大別して次の二つの用途がある。(1) 短期的に高潤滑性を要求される金属の冷間塑性加工用潤滑

被膜剤。従来金属の冷間塑性加工（引抜き、圧延、絞り、切削、切断、折曲げ、コイリング等）用潤滑剤としては、油脂類が用いられていたが、加工される金属も一般の鋼材やアルミ、銅等の比較的加工しやすい金属から、加工時の発熱と圧力の大きいステンレス鋼を始めとする特殊鋼の出現、発展と共に使用される加工用の潤滑剤も高度な極圧性能を持つものが求められるようになって来た。

そのため、必然的に油状のものから素材表面に十分付着し、融点が高く、素材を十分保護し得る固体状の潤滑剤が求められ、潤滑被膜として、軟らかく、展延性が良く、耐熱性があり、素材の変形加工に十分適応できる金属メッキ（鉛、銅、亜鉛、ニッケル等）を用いたり、素材の表面と化学的に反応し化成被膜を作る、リン酸塩やシュウ酸塩の被膜が用いられるようになった。これらの処理については、処理液の管理や作業中の蒸気、排水等による公害、加工後の脱膜処理（主に酸洗）の問題があり、これらに代る潤滑塗料の要求が出て来た。(2) 長時間にわたる安定した潤滑性を要求される金属やプラスチック素材の上に塗布し、防食や保護を兼ね、摺動部潤滑を目的とした摺動部品用潤滑塗料。これは極端な極圧潤滑は目的としないが、カメラを始め、精密機器の高性能化や小型化、低コスト軽量化によるプラスチック部品の採用等が、潤滑塗料の求められる背景となっている。

滑り止め塗料は、逆に塗布することにより摩擦抵抗を

〔氏名〕 かたやま まさお
〔現職〕 オリジン電気株式会社
塗料部 技術1課 課長代理
〔趣味〕 へたなテニス、読書（雑誌）
〔経歴〕 昭和31年、中央大学工学部工業化学科卒業、同年三共機械製作所入社、昭和36年オリジン電気株式会社塗料部入社、現在に至る。

昭和 61.4.2 受理
Control of Friction and Wear
—Lubricate Paint・Nonslipping Paint—
Masao KATAYAMA

* オリジン電気株式会社

東京都西多摩郡瑞穂町長岡下師岡 103 (〒190-02)

上げ、平滑な平面や斜面での摩擦力低下による滑り過ぎの各種のトラブルを押えることを目的としたものである。

2. 付着と摩擦の理論

2.1 付着理論

2.1.1 ぬれの尺度^{1,4)}

潤滑塗料も滑り止め塗料も、素材に塗布する塗料である以上素材に対しては良く付着しなければならない。良く付着させるためには塗料が素材面を十分にぬらす必要がある。ぬれとは固体の表面を液体で覆うことである。すなわち、固気界面を固液界面に置き替えることである。図-1 において、

$$A = \gamma_s - \gamma_{SL} \quad (1)$$

A : 湿潤張力 (ぬれの尺度), γ_s : 固体臨界面張力 (dyne/cm), γ_{SL} : 固液界面張力 (dyne/cm), $A \geq 0$ ならば $\gamma_s \geq \gamma_{SL}$ となり, A が大きいほど良くぬれる。

$$A = \gamma_L \cos \theta \quad (2)$$

γ_L : 液体 (塗料) の表面張力 (dyne/cm), θ : 接触角 (液滴と固体表面との成す角, ぬれ角), $\theta = 0$ となれば完全にぬれることになる。

2.1.2 ぬれの三形態^{2,3,9)}

ぬれには三つの違った形態がある。

(a) 拡張ぬれ (Spreading wetting), 一滴たらした液滴が薄い膜になって広がり固体表面をぬらすぬれ (図-2)。(b) 浸せきぬれ (Immerisitional wetting), 毛管現象で管壁をぬらしたり, 固体や粒子の表面をぬらすぬれ (図-3)。(c) 付着ぬれ (Adhensional wetting), 液滴をたらすと一部平たくなり固体表面にふれる。この液のふれた部分はぬれたと考える (図-4) があり, (a), (b), (c) のそれぞれのぬれ仕事を W_s, W_I, W_A とすると、

$$W_s = \gamma_L (\cos \theta - 1) \geq 0 \quad (3)$$

$$W_I = \gamma_L \cos \theta \geq 0 \quad (4)$$

$$W_A = \gamma_L (\cos \theta + 1) \geq 0 \quad (5)$$

が成り立ち, W_s は $\theta \geq 0^\circ$, W_I は $\theta \leq 90^\circ$, W_A は $\theta \leq 180^\circ$ がぬれの成立条件となる。一般に, 塗料や潤滑

図-1 ぬれ角度

図-2 拡張ぬれ

図-3 浸せきぬれ

図-4 付着ぬれ

図-5 水平面上における摩擦

等は (a) の形態に入る。

2.2 摩擦理論

2.2.1 摩擦および摩擦係数

固体, 気体, 液体を問わず, これが他の表面上を運動するとき, その運動を阻止しようとする力が運動方向と逆方向に作用する。この力を摩擦 (Friction) あるいは摩擦抵抗 (Friction resistance) といい, 運動の状態によって次の三種類の摩擦がある。

図-5 のように水平面 AB に重量 W を有する物体 S が静止しているとき, 接触面 AB に平行な力 P を作用させると, これを阻止しようとして逆方向に摩擦力 F を生じる。 P が S を運動させるに至らないときの摩擦力, 静止摩擦力 (Static friction) f_s は、

$$f_s = \mu_0 W \quad (6)$$

μ_0 : 静止摩擦係数 (Static coefficient of friction) で表わされる。静止摩擦は W と両面間の性質に関係し, 接触面の大きさには無関係であるが, P が十分大きくなって, ちょうど運動を始める瞬間の摩擦が最大摩擦であり, 一般にはこの時の摩擦係数 μ_0 を静止摩擦係数として測定している。物体が AB 面に沿って運動するときの摩擦, 運動摩擦 (Kinetic friction) f は

図-6 傾斜面上における摩擦

$$f = \mu W \quad (7)$$

で表わされる。 μ : 運動摩擦係数。一般に

$$\mu_0 > \mu \quad (8)$$

となる。垂直力 W と摩擦力 F の合力 R と W の成す角 θ を摩擦角 (Angle of friction) といい、物体 S が運動を起こしていないときの静止摩擦角 (Angle of static friction) θ は

$$\tan \theta = \mu_0 \quad (9)$$

の関係が成立する。 $\mu_0 = f_s / W$ であるから、

$$\mu_0 = \tan \theta = f_s / W \quad (10)$$

となる。図-6 で傾斜面上の物体 S が傾斜面を滑り始めたとき、

$$W \sin \theta = \mu_0 W \cos \theta \quad (11)$$

が成り立ち、式 (10) となる。

この摩擦力と摩擦係数については、古くアモントン、クーロン等により実験的に確立され、特にクーロンの三つの摩擦法則として知られている^{5,6,8)}。

第1法則 摩擦力、摩擦係数は滑り面の見かけの面積の大小に無関係である。

第2法則 摩擦力は荷重に比例して増加する。摩擦係数は荷重には無関係である。摩擦力を F 、荷重を W 、比例定数を C とすると

$$F = CW \quad (12)$$

の関係が成立する。また、摩擦係数を μ とすると

$$\mu = F / W \quad (13)$$

が成立する。

第3法則 運動摩擦係数は静摩擦係数より小さく、かつ滑り速度にはほぼ無関係である。

このクーロンの法則の裏付けとして、凹凸説や凝着説があるが、凹凸説は材料の材質に関係なく、表面の凹凸のかみ合いを引き動かす力が摩擦力とするものであり、凝着説は表面の凹凸には関係無く、素材の材質による表面硬さの違いにより生ずる弾性変形、塑性変形により起る凝着を破壊するせん断力であるとするものであるが、近年は凹凸説をも含み、また、プラスチック等のよう

に表面に帯電する静電引力に抗する力等も含んだ、融合した形での凝着説が確立されて来ている^{8,9)}。

いま、二つの固体を荷重 W で接触させた場合の接触面積 A は、

$$A = KW^n \quad (14)$$

で表わされ、 K : 定数、 n : 接触面が荷重を受けたときに生ずる変形の性質によって決る定数で、 $n=1$ のときは塑性変形、 $n=2/3$ のときは弾性変形となる。凝着をせん断する力、すなわち、凝着による摩擦力を F_a とすると、

$$F_a = SA \quad (15)$$

が成立する。 A : 実接触面積、 S : 軟らかい材料のせん断強さ (その部分のせん断強さ)。

式 (15) に式 (14) を代入すると、

$$F_a = KSW^n \quad (16)$$

となる。実際の摩擦力 F は、凝着のみでなく、凹凸のかみ合わせによる掘り起しの摩擦力 (F_p) もあるので、

$$F = F_a + F_p \quad (17)$$

であるが、 F_p は F_a と異なり接触面の形状に依存する。普通の接触面では、 F_p は F_a に比して小さく、無視できると考えられる。

塑性変形の場合 ($n=1$)、荷重 W と降伏圧力 P は、

$$W = AP \quad (18)$$

となり、式 (15) より $A = F_a / S$ であるから、これを式 (18) に代入すると、 $W = PF_a / S$ 、 $F_a / W = S / P$ となり、

$$\mu = F_a / W = S / P \quad (19)$$

となる。ここで材料の硬さ H と降伏圧力 P はほぼ等しいとみなせるので、

$$\mu = S / H \quad (20)$$

となる。この式 (20) は、摩擦係数がその結合部のせん断強さと硬さに依存し、その他の量、荷重、表面粗さ、速度、接触面の大きさ等には無関係なことを示し、この分野ではクーロンの法則が十分成り立つことを示している^{8,9)}。

しかし、従来広く認められていたクーロンの法則も、近年摩擦や摩耗の条件がいろいろと苛酷になり、測定条件も正確に種々の条件での測定が可能になるに従って、この法則が必ずしも適用できず、現在では、摩擦係数は、速度にも、荷重にも、見かけの面積にも依存することがわかっている⁸⁾。

2.2.2 摩耗

摩擦に伴って引き起こされる物質損失が摩耗であるが、その形態は条件によって幾つかに分類される^{7,8)}。

(1) アブレシブ摩耗 (Abrasive wear)

鋭い突起や凹凸部のかみ合い、砂等による引掻き等に

より生ずる。

(2) 凝着摩耗 (Adhesive wear)

接触部の凝着がひどく、その凝着部の破損に伴って起る摩耗。

(3) 疲労摩耗 (Fatigue wear)

鋭い突起により、弾性接触を繰り返して起こし、材料の内部疲労による変形の繰り返して起こる摩耗。

(4) ころ生成摩耗 (Wear by roll-formation)

延性の材料が比較的高摩擦でころ状摩耗粉を生成しながら摩耗する。

(5) 熔融摩耗 (Melting wear)

摩擦発熱によって熱可塑性樹脂等が軟化し、流動して摩耗する。

(6) 腐食摩耗 (Corrosive wear)

摩擦面の化学反応を伴って、変化層の生成と脱落を生じる。

(7) 浸食 (Corrosion)

硬い粒子の衝突等によって摩耗する。

等が考えられるが、摩耗量については、摩耗体積、摩耗面積、摩耗重量、摩耗根の大きさ、深さ等を時間、距離、速度、温度、圧力等の変化で摩耗率を求める等種々の方法が使われている。しかし、摩耗については、使用される環境条件、外的要因により極端に変わるので、使用条件、用途について十分考慮する必要がある。

2.2.3 潤滑 (Lubrication) と摩擦 (Friction)

互いに運動する物体間の摩擦は、その間隙に存在する潤滑剤の状態によって異なり、通常これを流体摩擦 (Fluid friction)、界面摩擦 (Interfacial friction) または境界摩擦 (Boundary friction)、乾燥摩擦 (Dry friction) あるいは固体面摩擦 (Solid friction)、混合摩擦 (Mixed friction) の四種類に分類される。

(1) 流体摩擦：接触二面間に流体の法則に従うような相当の厚さの潤滑剤が存在し、両面は液層によって完全に隔離されている場合で、この状態の潤滑を油膜潤滑

または流体潤滑といい、完全潤滑状態であって摩擦係数は最も小さく、 $\mu=0.01\sim0.001$ 程度である。面と面との接触無しに油分子の凝集力に対する抵抗のみであり、理想的潤滑状態といわれる。

(2) 界面摩擦または境界摩擦：流体摩擦と乾燥摩擦の中間の状態として、摩擦面にきわめて薄い層の潤滑油、たとえば、金属面に吸着させられた単分子層、あるいは数分子層の潤滑油の薄膜が存在する場合で、その潤滑の状態を界面潤滑、境界潤滑或は不完全潤滑という。完全潤滑に比して摩擦は大きく、摩擦係数は $0.1\sim0.3$ を有している。

(3) 乾燥摩擦または固体面摩擦：接触二面間に何等潤滑剤が存在しない場合で、最も摩擦は大きい。

(4) 混合潤滑：条件により潤滑剤が存在する状態と乾燥摩擦の状態が共存する場合である。

以上の完全潤滑と不完全潤滑の四つの形態の中で、一般的には(2)の境界潤滑による場合が多く、特に表-1に見られるように、従来の潤滑油等では対応できないような、高荷重、高温度の苛酷な条件下の境界潤滑は特に極圧潤滑 (Extremepressure lubrication) と呼ばれ、主に固形潤滑被膜型の潤滑剤が使用される。

2.2.4 極圧潤滑および極圧潤滑剤

表-1, Type 4 に見られるような極圧潤滑では、最早や脂肪酸や金属石鹸等ではその融点以上となり、潤滑性能を失うので対応し切れず、高温、高圧下での金属面との反応を利用するための極圧成分として最も多く使用されている物質はハロゲン化合物 (塩素、フッ素等)、イオウ化合物、リン化合物である。これらの作用は、高温、高圧下で滑っているうちに熱分解し、金属表面と反応して化成被膜を作り、これらが摩擦あるいは表面の損傷量を減少するのである。これらの化成被膜は破断されると直ちに次の化成被膜を生じ、次々と極圧潤滑作用を継続して行く。

表-1 境界潤滑剤の種類

Type	潤滑条件	備考
Type 1	低温・低圧境界潤滑	低速スリーブベアリング、板バネ。
Type 2	高温・境界潤滑	過熱蒸気シリンダー、内燃機関。
Type 3	高圧・境界潤滑	高圧下でローリングするが摩擦は小さい。ボールおよびローラーベアリング、平歯車。
Type 4	高温・高圧・境界潤滑	高荷重ハイポイドギヤ、その他の高荷重ギヤ、滑り摩擦の大きいもの。
	(極圧潤滑)	新しい摩擦の発生と局部的の高温が生ずる。引抜ダイスなど。

3. 要 求 機 能

3.1 潤滑塗料

3.1.1 金属の冷間塑性加工用潤滑塗料

(1) 極圧潤滑性の良いこと。

特殊鋼の加工では、加力、加工速度、繰返し回数等に伴って局部的にはきわめて高温（瞬間 1,000°C に達する場合もあるといわれているが、一般的には 400°C 位と思われる）になり、しかも加工硬化が激しく、被膜は十分に極圧潤滑に耐えるものでなければならない。

(2) ダイス (Die) や型の寿命をできるだけ長く保つこと。

潤滑剤の良し、悪しは高価なダイスや型の寿命に大きく影響を与える。潤滑被膜が悪いと、ダイスや型に焼付きを生じたり、傷を付けたりして駄目にしてしまう。また、ダイスや型を腐食させ使用できなくしてしまうこともあるので、大切な性能である。

(3) 金属への付着性の良いこと。

金属の加工においては、潤滑塗膜が生命線なので、加工前や加工時にハク離してはならない。

(4) 塗装作業性の良いこと。

素材金属はいずれも大きな形状で、重量物であることが多く、塗装作業が簡単で便利でなければならない。従って出来るだけ速乾性（常温または加熱乾燥）で、取り扱い時間の短いことが望ましい。

(5) 塗料の溶液管理が容易であること。

一般には量産体制に合わせて浸せき塗装等が用いられることが多く、槽としては相当大きなものが使用されるので、粘度や塗料の安定状態を常に一定に保つ必要があり、溶液管理が簡単でなければならない。また、分離、沈殿等起さず、長期間安定性を保ち、劣化、変質等による性能の変化が起ってはならない。

(6) できるだけ不燃性であること。

溶液は可燃性でも使用上は差しつかえないが、大きな浸せき槽では危険物の取り扱いの問題もあり、火災の危険もあるので、できるだけ不燃性であることが望ましい。

(7) 補助潤滑剤とのなじみの良いこと。

潤滑被膜は耐圧力は強く、強固であるが、初期の摩擦抵抗が大きく、滑り難いので、初期の摩擦抵抗を下げ滑りやすくする必要があり、補助潤滑剤（主に金属石鹸や油脂類）を併用するが、それらとのなじみが良くないと困る。近年は、直接潤滑塗料中に粉末の固型潤滑剤を混入し、そのまま使用する方法も多くなっている。

(8) 加工後の脱膜が容易なこと。

加工後潤滑被膜が残留したまま次の工程に回り再加工に使われる場合もあるが、最終的には必ず残留被膜をハク離除去する必要がある。主にトリクレン等の不燃性溶剤が浸せきと蒸気洗浄とを併用して用いられる。その他、ハク離剤を用いる場合や、酸、アルカリ等と併用でハク離する場合もある。いずれにしても出来るだけ短時間でハク離する必要がある。脱膜が完全でないと、無酸化焼鈍、主に N_2 ガス等を吹き込み、無酸化状態で 1,100°C 位の高温で焼鈍される。〔光輝焼鈍 (Bright aniling) ともいう〕が行われた場合、浸炭したり、発錆したりすることが多い。

3.1.2 摺動用潤滑塗料

(1) できるだけ素材との付着性が良いこと。

素材には金属、プラスチックその他の各種材料があり、電子機器部品、精密機器や各種機械類等の部品に塗り、摺動部に組み込まれて半永久的に使用される場合が多く、素材との付着性が最も重要な要素となる。

(2) 摩耗が極めて少ないこと。

使用中に摩耗し、剥げ落ちたり、塗膜が無くなったりすることが絶体あってはならないのは当然であるが、電子機器や精密部品等に使用された場合、表面が潤滑研磨されて生ずる粉落ちが重大な影響をおよぼすことが多いので、表面の粉落ちの無い塗料でなければならない。また用途により、相当厳しい使用条件もあり、低圧から高圧、低温から高温まで要求される。

(3) 長期に安定した低摩擦係数を示すこと。

一度塗装され、組み込まれた部品は、潤滑塗膜を取り替えたり、塗り替えたりすることはまず無く、そのまま長期間連続して使用されるのが普通である。従って、出来る限り低摩擦係数を保ち、安定した摺動特性を示す必要がある。

(4) 各種素材の材質に適合した塗料であること。

各種部品の素材は色々あり、プラスチック素材等では、素材に付着しなかったり、侵したり、割れ等を生じる場合も多くあるので、それぞれの材質に適合した塗料でなければならない。また、部品によっては周囲との組み合わせや外観上の問題から、着色の必要性が生じ、その場合は適合着色できるように考慮する必要がある。

(5) 塗装作業性の良いこと。

塗料としては当然の要求である。

(6) 塗料の貯蔵安定性が良いこと。

塗料の保管中に、分離、沈殿、ゲル化、変質等の経時変化を生じない安定した塗料でなければならない。

(7) 耐油、耐水、耐薬品の良いこと。

潤滑油等が併用して使用される場合があり、潤滑油に

溶けたり、侵されたり、フクレたり、ハク離したりしてはならない。また、湿気中や水中あるいは他の化学薬品等の中で使われる部品等に使用されることもあり、それに強いことが望まれる。

(8) 耐熱性、耐寒性の良いこと。

高温側、低温側あるいはそのサイクル条件で使われるりする場合があり、それらに適した塗料設計をする必要がある。特に高温側では摩擦も大きくなり、摩擦係数も高くなりやすくなるので十分留意する必要がある。

(9) 耐候性の良いこと。

外装部品兼用に使用される場合には、経時変色や外観が重視されるので、耐候性が良く、外観変化が少ないものでなければならない。

3.2 滑り止め塗料

「もしも摩擦力という力が存在しなかったら」人は歩けないし、机の上に置いた物が滑り落ち、全ての物が動き出し、わずかの傾斜に沿って低い方へ、低い方へと走り続けることになる。もちろん、ねじやボルト等も摩擦力を応用して止めているのであるから、簡単に抜けてしまうことになる。従って、摩擦力があるために助かっているといえる。潤滑塗料ではこの摩擦力をできるだけ低くすることを目的としていたが、余り摩擦力が低くなり過ぎて滑りやすくと具合の悪いことも多くある。また摩擦力が強過ぎると全く動かすことができなくなりこれも具合が悪い。そこで塗料を塗って摩擦力を制御し、適当な摩擦係数にしようとするのが滑り止め塗料ということになる。

4. 塗膜物性

4.1 潤滑塗料

(1) 成膜条件：指乾乾燥、常温乾燥または硬化、焼付硬化等の温度、時間等を設定する。

(2) 膜厚：付着性や硬さ等に影響があるので測定し設定する。

(3) 付着性：最重要物性なので、基盤目セロテープ、折曲げ、衝撃等の試験を行い確認する。

(4) 硬度：潤滑性能に影響するので、鉛筆硬度、シヨワー、ビッカス、デュロメータ等の硬度計で測定する。

(5) 摩耗性：摺動用等長期間使用される塗膜には特に重要。往復摺動の摩耗試験機、RCA テープ試験、テーパー摩耗試験、落砂摩耗等の試験機を用い確認する。

(6) 摩擦係数：最も大きな物性要素となる。傾斜式、水平移動式、回転式等の種々の測定機があるが、それぞれの材質、条件に合わせて選定し測定する。使用条件に

よっては、圧力、温度、速度等を変えて測定する。

(7) 環境試験：(1)～(6)までは塗膜の主特性であるが、使用される環境条件、使用条件、用途等により大きく異なるので、助特性（二次物性）として環境試験が必要となる。必要条件により、種々の環境条件で試験を行い、主特性との組み合わせで物性を調べる。

4.2 滑り止め塗料

(1) 成膜条件：一般的には比較的一時的なものが多く、必要な箇所に後から塗る場合が多いため、なるべく常温に近い状態での成膜を必要とする。しかし、一部ホットメルト型や熱硬化型のものも考えられる。

(2) 膜厚：一般には、摩擦力が強く、摩擦係数の高い方向にあるため、膜厚はある程度厚くする必要があり。

(3) 硬度：平滑で硬い塗膜はどうしても滑りやすくなる傾向にあるので、弾性があることで圧力に対して変形を起こし、なじみやすい方がよい。硬度は余り硬過ぎない方がよい。

(4) 表面平滑度：表面が平滑過ぎると滑りやすくなるので、砂を撒いたようなざらざらした面であることも必要である。また、多孔質物質等の混入した塗料では滑り止め効果は大。

(5) 付着性：やはり下の素材に対しては付着性が良くないと、せっかくの滑り止め塗料が剥れてずり落ちてしまっは何もならない。砂状に剥れると逆に滑りやすくなる。

(6) 摩擦係数：接着や粘着にならない程度に高くする。

5. 実 用 例

5.1 潤滑塗料

(1) 冷間加工用潤滑塗料

これは主に金属の各種の冷間塑性加工用に用いられる潤滑塗料であるが、素材の種類や加工条件、方法等によって苛酷な極圧潤滑を要求されるものもある。ここでは特に極圧潤滑の要求される特殊鋼、特にステンレス鋼の線材およびパイプの引抜き用潤滑塗料について紹介する。

(a) 1. ステンレス鋼線の冷間伸線用潤滑塗料

一般に線材は太い原線（主に5.5mmφ）より、何枚ものダイスの間を引抜いて通過させ細い丸い線材に仕上げる。線材の径、ダイス枚数と径、引き抜きスピード等の加工スケジュールにより、加工度（減面率（Redaction）で表わす）が決る。ステンレス鋼は熱伝導率が悪く、ダイスの孔を通過する際の大きな圧力と速度による摩擦熱

図-7 ステンレス鋼線工程図

が非常に高く、線材表面に蓄熱され、表面の加工硬化も大きく、著しい極圧潤滑状態となる。接触時の温度は300~400°C位には上昇し、瞬時1,000°Cに達するともいわれている。

従って潤滑塗料は付着性と耐熱性が要求されるが、塗膜のみでは極圧潤滑に耐え得ないので、ハロゲン成分やイオウ、リン等の反応極圧成分を含んだものが用いられる。

塗装は主に線材の束を浸せきして塗布する場合が多い。図-7の伸線工程図に見られるように、一度塗布するとそのまま連続で引抜かれ、次のスケジュールまでは塗布し直すことはない。潤滑被膜の滑りを良くし、寿命を延ばすために補助潤滑剤が供給される。伸線後脱膜し、光輝焼鈍する。

(a) 2. ステンレスパイプの引抜き

塗装は浸せき塗りが多く、線材と同じ塗料が使用できる。主に1回引きであるが、ダイスを通して、外側のみ絞る場合と、中にプラグを入れ内外面同時に引抜き絞る場合があり、特に後者は内面の発熱が大きく、熱が逃げないのできわめて苛酷な条件となる。

(a) 3. 引抜き用潤滑被膜の摩擦係数測定

写真-1に代用特性を求めるために筆者等が製作した静摩擦係数測定機を示す。バネ式ダイヤルゲージを用い、最大摩擦係数を測定し、静摩擦係数としている。これは往路のみ接触し、復路はフリーでもどりその間に荷

写真-1 静摩擦係数測定機

重の積み増しを行い、再び同じ面をこすり静摩擦を測るようになっている。熱劣化の傾向を見るためあらかじめ耐熱試験を行った試料板についても同様方法で試験し、代用特性として利用している。図-8a, b, cにそれぞれ一般グレード、高加工グレード、耐熱グレードの潤滑塗料の静摩擦係数の変化を示す。なお、この試験機のダイヤルゲージの最大摩擦力は200gで、それ以上はスケールアウトする。また、同じ箇所を何度もこするので付着や摩耗も見られる。

(b) 摺動部品用潤滑塗料

これはカメラの摺動部品に使用される1液焼付け型塗料の例であるが、特に一度組み込まれると取り替えることはまずあり得ないため、半永久的な潤滑塗料が要求される。特に塗膜のハク離や粉落ちはレンズに悪影響をおよぼすので絶対にさけなければならない。また、作動が軟

図-8(a)

図-8(b)

図-8(c)

写真-2 摺動用動摩擦係数測定機

図-9(a) エポキシ樹脂系潤滑塗料の摺動摩擦係数
荷重 200 g/cm², 摺動速度 200 mm/min, 2.5 往復/min, ストローク 80 mm, 200°C 2時間焼付け, 0.5×50×100 mm 鋼板

図-9(b) エポキシ樹脂系潤滑塗料の摺動摩擦係数
荷重 500 g/cm², 摺動速度 200 mm/min, 2.5 往復/min, ストローク 80 mm, 200°C 2時間焼付け, 0.5×50×100 mm 鋼板

かくスムーズでなければならない。余り悪環境下での使用は無いが、長期にわたり変動しない低摩擦係数が必要。写真-2 に筆者らが製作した摺動用摩擦係数測定機を示す。図-9 a, b に1液性焼付け型エポキシ系のカメラ摺動部品用潤滑塗料を200°C 2時間焼付けた鋼板上を、aが荷重200g, bが500gで測定した例である。いずれも長時間変動せず、非常に低い摩擦係数($\mu=0.083$)を示し、粉落ち無く、安定した摺動特性を示している。

5.2 滑り止め塗料

滑り止め塗料としては、次のような所に使用されている。

- (1) ねじ・ボルト・ロープ等の表面に塗布し、ゆるみ止め。
- (2) 靴・スリッパ等履物の裏に塗って滑り止め。
- (3) 家具や重量があり滑りやすい物の裏に塗って滑り止め。
- (4) 床・戸・敷居等に塗って滑り止め。
- (5) 斜面に塗って滑り止め。
- (6) 道路等の滑りやすい箇所に塗り滑り止め。
- (7) 道路等の水の上より塗り、水を吸い込み滑り止め。
- (8) 土砂くずれ防止。
- (9) 接着を兼ねた用途で搬送用等。

6. 将来の動向と技術的可能性

6.1 潤滑塗料

潤滑塗料が、従来の油や粉末の潤滑剤に代わり使われ始めているのは、油や粉末によるよごれや飛散が無く、形状、素材の如何を問わず簡単に塗装し使用できることが大きな理由であるが、摺動部品に見られるように、無給油の永久潤滑を目的とする潤滑剤である限り、部品と一体となった潤滑剤でなければならないということや、プラスチック成型品が増え油等が使えないこと等。さらに将来は内部に使用されている部品だけで無く、その優れた摩擦性や、傷がつかない、ごみが付着しない、よごれ難い等の利点を利用し、美装を兼ねた外用高級上塗り塗料として使用されて行く可能性が考えられる。また、より機能性を指向する上で、宇宙時代、海洋時代に向けて、より耐熱耐寒性の良いもの、より耐薬品性や耐放射線性の強いもの等、高性能潤滑塗料の研究開発が進むと思われる。

特殊鋼の冷間塑性加工分野においても、より薄く、より高性能で飛躍的に加工スピードを増大出来、脱膜無しで光輝焼鈍出来る潤滑塗料の指向がなされると思われる。

る。

さらに耐熱を向上させるために、有機と無機の結合あるいは無機系潤滑塗料への指向が成されると思われる。

6.2 滑り止め塗料

大きな用途としてはやはり自動車のタイヤの滑り止めが考えられ、特に氷や雪、水の上等で滑らないで長時間持つ耐摩耗性の良い塗料が求められる。また道路およびタイヤ等に塗布することにより、振動(磁気あるいは光エネルギー等)を与え、雪や氷等を溶かしながら走ることの出来る塗料等の開発も面白いかも知れない。その他、岩や土砂等の滑りによるくずれ防止に上から塗布することにより、石や砂、土等と反応して強固な被膜を形成し、完全に滑りを防止する塗料。一定荷重に対してはきわめて強い滑り止め効果を持つが、荷重を除くと簡単に取れる着脱自由で跡が全く残らない塗料。搬送用として、重量、大きさに応じて直ちに塗布使用出来る塗料。一定時間滑り止めで後は潤滑効果のある塗料。垂直面で使える塗料。等種々の要求機能を満足する塗料が開発されると思われる。

7. おわりに

紙面の関係もあり、かなり省略させて頂きましたので不十分な点も多いと思います。また、不勉強のため、独断的な思い付きで書いた部分もあると思いますが御容赦下さい。潤滑塗料を実現するために使用されている樹脂や固型潤滑剤等は、紙面の関係で省略致しましたが、参考文献として挙げて置きました、(13)、(4)、(17)、(18)および(19)~(22)の特許文献等の中に相当書いておりますのでご参照下さい。また、他の諸先生方のお書きになった文献中にも詳しく書かれているものもありますので、ご参照頂ければ良くわかんと思います。

参考文献

- 1) 井本、黄：接着とはどういうことか、岩波新書、岩波書店(1980)
- 2) 渡辺、玉井：表面および界面、共立出版社(1973)
- 3) 日本化学会：身近な現象の化学、培風館(1978)
- 4) オリジン電気：オリジン技術ハンドブック、塗料編、29~65(1971)
- 5) 曾田：摩擦の話、岩波新書、岩波書店(1971)
- 6) F. P. ボーデン・D. ティバー、原訳：摩擦の話、トリボロジー入門、河出書房新社(1974)
- 7) 内山：I. 摩擦及び摩耗の特徴と形態、プラスチックエージ、Apr, 125~129(1985)
- 8) 松永、津谷：固体潤滑ハンドブック、幸書房(1978)
- 9) 松原：トライボロジー—摩擦・摩耗・潤滑の科学と技術一、産業図書(1981)

- 10) H. チコス, 桜井訳: トライボロジー, 講談社サイエンスティフィク, 講談社 (1980)
- 11) パウデン・ティバー, 曾田訳: 固体の摩擦と潤滑, 丸善 (1961)
- 12) 日本潤滑学会: 潤滑用語解説集, 朝倉書店 (1970)
- 13) 片山: 塗料技術 10, 機能型コーティング材ガイドブック, 227~231, 理工出版社 (1984)
- 14) オリジン電気カタログ: オリジンルーパー (特殊鋼用潤滑剤) (1968)
- 15) オリジン電気カタログ: オリジンルーパー第2版 (特殊鋼用潤滑剤) (1977)
- 16) オリジン電気(カタログ): オリジンルーパー S (精密機械用潤滑剤) (1978)
- 17) 片山: *Origin*, [42], 102~119 (1979)
- 18) 片山, 関口, 金子: *Origin*, [46], 59~71 (1983)
- 19) 矢谷, 片山: 特公昭 49-29541 潤滑被覆剤
- 20) 片山: 特公昭 59-16384 潤滑用被覆剤
- 21) 片山: 特公昭 55-30758 潤滑用被覆剤
- 22) 片山: 特公昭 57-39636 潤滑用被覆剤

「日本学術会議だより」掲載について

日本学術会議は、第 13 期の活動の重点の一つとして、学協会との連携の強化に努めるため、その活動状況を定期的に広報するため、61 年 5 月から四半期ごとに「日本学術会議だより」を発行しており、各学協会誌にその内容を掲載するよう依頼がありました。当協会誌でもその意を汲んで、適宜、その既要を掲載しますので、御一読下さい。

日本学術会議だより (No. 2)

昭和 61 年 8 月 日本学術会議広報委員会

「日本高齢社会総合研究センター (仮称) の設立についての提言」(概要)

昭和 61 年 5 月 26 日

日本学術会議高齢化社会特別委員会

今日、高齢社会への移行の問題が大きく取り上げられているにもかかわらず、我が国の研究体制は国際的にみても遅れており、とくに人文・社会科学の分野においてそれがいちじるしい。そこで、この遅れを取り戻して時代の要請にも応えるために、我々は「日本高齢社会総合研究センター」(仮称)の設立を提言したい。

「中性子回折・散乱研究の推進に関する意見—

物理学、結晶学両研連の意見」を発表

本会議物理学、結晶学両研究連絡委員会は、このたび、

「中性子回折・散乱研究の推進に関する意見」をとりまとめ、本会議運営審議会の承認を得て、両委員会委員長の連名で、関係機関へ送付した。

研究連絡委員会 (略称「研連」) とは?

日本学術会議法により、科学に関する研究の連絡を図り、その能率を向上させることが、本会議の職務の一つとして定められている。そして、そのために必要な事項を調査、審議する目的で、180 研究連絡委員会 (以下、「研連」という。) が設置されている。

去る 4 月の第 100 回総会では「日本学術会議の運営の細則に関する内規」(以下「内規」という。) が制定されたが、この中で研連については、とくに一章を設け総括的な規定をした。研連については、多くの学協会の方々にとって関心が深いと考えられる。

多数の学協会の御協力により、「日本学術会議だより」を掲載していただくことができ、ありがとうございます。

なお、御意見・お問い合わせ等がありましたら下記までお寄せください。

〒106 港区六本木 7-22-34

日本学術会議広報委員会

(日本学術会議事務局庶務課)

電話 03 (403) 6291