

**Fe および Fe-Cr 合金めっきを施した Al 合金のすべり摩擦, 摩耗特性について**

竹内 榮一・及川 渉・小室文稔・梶沢 均

**On the Sliding Friction and Wear Characteristic of Fe and  
Fe-Cr Alloy Plating on Aluminum Alloy**

**Eiichi TAKEUCHI, Wataru OIKAWA, Fumitoshi KOMURO  
and Hitoshi KABASAWA**

# Fe および Fe-Cr 合金めっきを施した Al 合金のすべり摩擦, 摩耗特性について

竹内 榮一\*・及川 渉\*・小室文稔\*\*・梶沢 均\*\*\*

## On the Sliding Friction and Wear Characteristic of Fe and Fe-Cr Alloy Plating on Aluminum Alloy

Eiichi TAKEUCHI, Wataru OIKAWA, Fumitoshi KOMURO  
and Hitoshi KABASAWA

### [概要]

Al 合金の機能性, 特に耐摩耗性の改善を目的として, 汎用技術に属するめっきならびに窒化系の熱処理を複合させたものについて潤滑下における摩擦, 摩耗特性を検討した。その結果によると, 熱処理に伴う加熱により, Al と Fe の熱膨張率の相違から Fe または Fe-Cr 合金めっき面に亀甲模様のき裂が発生し, かつめっき界面には相互拡散が観察されるようになる。このような現象から, めっき皮膜の密着性向上ならびにき裂による油膜保護のため潤滑下において低摩擦, 低摩耗状態を得ることが可能になったものと考えられる。

(2004 年 1 月 5 日受理)

**Key words :** Iron Alloy Plating, Diffusion Treatment, Sulphonitriding, Crack on Plating Face, Friction and Wear Resistance, Aluminum Alloys

## 1. 緒言

自動車などの軽量化を目的とする場合, Al 合金の利用はきわめて有効と考えられる。しかし, これを機能部品の材料として採用するときは機械的強さのうえから改良の余地がある。ことに, 摺動部材として用いる場合は耐摩耗性の向上を目的とする表面改質処理が必要といえる。

Al 合金の表面処理には多くの方法があげられるが<sup>(1)</sup>, 本研究ではすでに汎用技術とされているめっきおよび窒化系の表面熱処理技術を複合させた処理を行い, これについて潤滑下でのすべり摩擦, 摩耗特性を検討したものである。

## 2. 実験に用いた試料ならびに方法

### 2.1 実験に用いた摩耗試験片

実験に用いた回転試験片は A5052P を図 1(A) に示す形状に機械加工したのち, 次項で述べる方法に従って

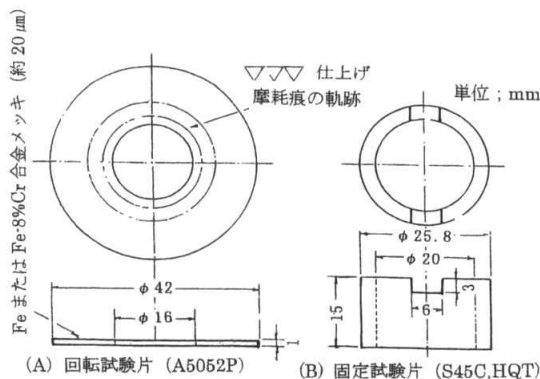


図 1 実験に用いた摩擦, 摩耗試験片

厚さ約 20  $\mu\text{m}$  の Fe あるいは Fe-8% Cr 合金めっきを施し, さらに, 窒素雰囲気中 500°C で拡散処理, あるいは同じ条件でガス浸硫窒化処理を施した。また, これと組み合わせる固定試験片は S45C を図 1(B) に示す形状に仕上げたのち, 900°C から油焼入れ, 580 ~ 600°C で焼戻処理を行い, 組織を微細パーライトとしたもので, 硬さは 240 ~ 250 HV である

なお, 回転試験片の平面度については, 実験開始前, 試験片を試験機に取り付けた段階でその振れをダイヤルゲージ (最小目盛; 1 / 1000 mm) をもって計測し, それが 1.0  $\mu\text{m}$  以下であることを確認してから実験を開始

\*日本プレーテック (株) (Nippon Plating Co., Ltd., 7-334 Nishimishima Nishinasuno-machi Nasu-gun Tochigi 329-2756)

\*\* (株) ムロコーポレーション (Muro-Corporation)

\*\*\* 日本テクノ (株) (Nihon-Techno Co., Ltd.)

表1 Fe および Fe-Cr 合金めっきのめっき条件と組成分析の結果

試験, 測定項目	硬質 Fe めっき		Fe-8%Cr 合金めっき	
めっき液の組成	硫酸第一鉄	250 g/l	トライクロムプラス	100%液
	塩化第一鉄	40 g/l	硫酸第一鉄	40 g/l
	塩化アンモニウム	20 g/l		
	L-アスコルビン酸	3 g/l		
	クエン酸	1.2 g/l		
電流密度 (A/dm <sup>2</sup> )	2		5	
液温 (°C)	40 ~ 45		40 ~ 45	
めっき時間 (min)	60		35	
めっき層の厚さ (μm)	約 20		約 20	
めっき層の硬さ (HV)	600 ~ 700		750 ~ 800	
組成分析結果			元素	
(蛍光 X 線分析) エネルギー分散方式 ターゲット: Rh, 時間: 60s 照射径: 3 mm 電流: 50 μA, 電圧: 15 kV	回数		Fe (%)	Cr (%)
	1		93.03	6.55
	2		93.00	6.54
	3		91.45	8.45
	4		92.83	6.74
		5	91.69	7.86

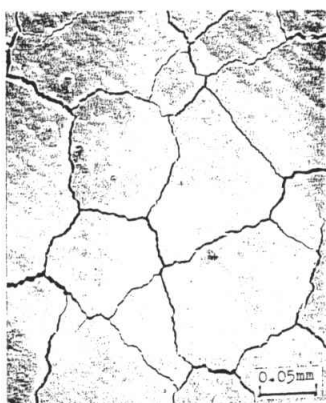


図2 400°C-1 h, 真空加熱した Fe-8%Cr 合金めっき面に現れた亀甲模様とこれを形作るき裂

した。また、回転ならびに固定試験片の摩耗試験前の表面粗さは Rmax 1.0 μm に一定とした。

## 2.2 Al 合金 (回転試験片) への Fe および Fe-8% Cr 合金めっき

Al 合金試験片への Fe または Fe-8%Cr 合金めっきは予備実験の結果、下地めっきを施すことなく、直接素地にめっきするとき、めっき皮膜の密着強さに最も優れていることが確認された。したがって以後は、いずれも直接めっき法による試験片を用いて実験を行った。

Fe めっきの場合、本実験では表 1 に示す条件で硬質 Fe めっき (600 ~ 700 HV) に属する硫酸第一鉄を主要成分としためっき浴を用いて処理を行った。

また、Fe-Cr 合金めっきは同表に示す条件で処理を行った。この場合、Cr 含有量についてはめっき条件を調節することによっておよそ 2 ~ 20 % の範囲で変化させることが可能であるが、本実験ではめっき後に行うガス浸硫窒化処理のことを考慮して Cr 8 % を目標とす

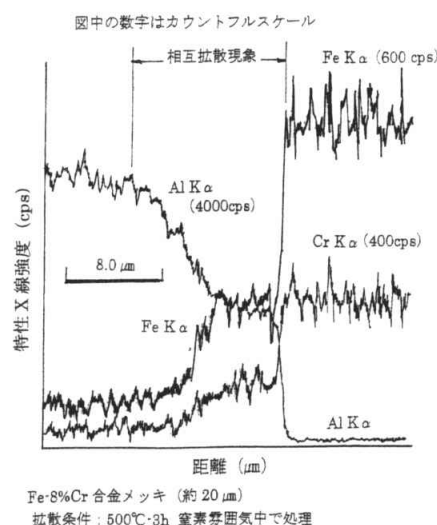


図3 500°C-3 h 窒素雰囲気中で加熱した Fe-8%Cr 合金めっき層と Al 合金との界面に現れた相互拡散現象

る処理についてのみ行った。めっき層における Cr の分布状態は蛍光 X 線分析, あるいは EPMA による Fe および, CrKα 線の面ならびに線分析により検討した。その結果, Fe, Cr はいずれも均一分布していることが認められた<sup>(2)~(4)</sup>。

## 2.3 加熱に伴って生ずるめっき面の亀甲模様のき裂とめっき界面における相互拡散

Al 合金に Fe 系のめっきを施したものを加熱すると, Fe および Al の熱膨張率の相違からめっき面に亀甲模様のき裂が現れる。図 2 はその一例として 400°C-1 h 真空加熱した Fe-8%Cr 合金めっき面を示したもので, 亀甲模様の大さは一辺が約 50 ~ 100 μm, き裂幅は 3 μm 前後となっている。このき裂は潤滑下の摩擦において油道または油溜りとしての効果が期待される。

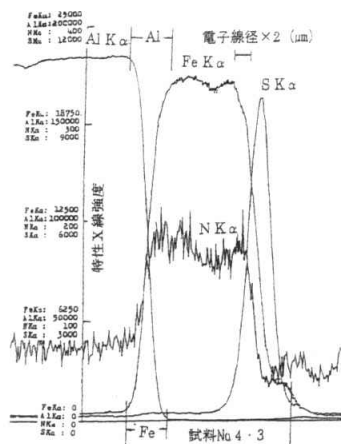


図4 500°C-5 h ガス浸硫窒化処理した Fe-8% Cr 合金めっき層における N および S の浸入とめっき界面における相互拡散現象

また、この加熱処理によってめっき面には Fe と Al の相互拡散が認められる。例えば A5052P に Fe-8% Cr 合金めっきを施したのち 500°C-3 h 窒素雰囲気中で加熱したときは図 3 にみられるように約 10 μm の厚さをもった相互拡散層が観察された。これがめっき皮膜の密着強さを向上させる原因になっているものと判断される。

ただし、ガス浸硫窒化性雰囲気中で処理したものは、めっき層の大半を鉄-窒素化合物層によって占められるため相互拡散層の厚さは図 4 にみられるように 1.5 ~ 2.0 μm となる。しかし、この場合でもめっき皮膜の密着強さの向上に対して有効に作用している。

#### 2.4 ガス浸硫窒化処理

Fe および Fe-8% Cr 合金めっきを施した A5052P 回転試験片を 450 ならびに 500°C の各温度で 3 ~ 5 h ガス浸硫窒化処理を行った。使用した雰囲気は NH<sub>3</sub>15 l/min、それに浸硫性ガス (N<sub>2</sub> で希釈された H<sub>2</sub>S ; 667 ppm) 20 l/h の混合雰囲気、また、処理終了後は常温まで N<sub>2</sub> 雰囲気中で冷却した。

前掲、図 4 は一例として 500°C-5 h 処理した Fe-8% Cr 合金めっき層の Fe, N および SKα 線による線分析結果から浸硫窒化状態を観察したものである。また、この試験片を X 線回折により反応生成物の同定を行った。

これらの結果から、最表面に生成された SKα 線強度の高い部分は Fe<sub>1-x</sub>S, FeS によって構成され、その下層にある NKα 線の高い領域は εFe<sub>2-3</sub>N, γFe<sub>4</sub>N からなることが確認された。この現象は Fe めっき皮膜についても同様な結果が得られた。

他方、これらの処理によって得られた化合物層の厚み

を光学顕微鏡で観察した結果、Fe めっきの場合、20 μm 弱、Fe-8% Cr 合金めっきでは 15 ~ 18 μm となり、処理温度の高いものほど厚くなる傾向が見られる。

また、化合物層の硬さについては 500°C で処理した Fe-8% Cr 合金めっき層が 1100 ~ 1150 HV で最も硬く、450°C 処理の Fe-8% Cr 合金めっき、ならびに 450 および 500°C 処理の Fe めっき層はいずれも 770 ~ 840 HV であった。

### 3. 摩擦、摩耗に及ぼす複合めっき処理の効果

#### 3.1 摩擦、摩耗試験の方法

実験は前掲図 1 に示す試験片を用い、鈴木式摩擦試験機と類似の機能をもつすべり摩擦方式のもとで行った。実験条件は接触圧力を 0.196 MPa に一定とし、高負荷条件のときに限り 0.49 MPa とした。また、摩擦速度は 0.50 ~ 4.00 m/s の範囲に変化させ、摩擦距離 50000 m を限度とし、実験中摩擦係数を自動記録させてその値が 0.20 以下に維持されている状況までの連続摩擦距離、およびその時点での比摩耗量と摩耗痕の深さを求めた。したがって、実験の途中で瞬間的にも摩擦係数が 0.20 を越える値が現れたときは、その時点で実験を中止し、比摩耗量等を測定した。

実験では、まず試験を開始する直前に約 20°C に保たれたエンジン油 (7.5W30SE) 中に回転試験片を 15 秒間浸漬し、次にこれを取り上げて垂直に 10 秒間保持 (以後、これを油 1 回塗布と記す) したのち、試験機に取り付けて摩擦、摩耗試験を行った。なお、この試験方式の欠点は摩擦速度、すなわち回転試験片の回転数が高くなるに伴って遠心力により油が飛散することであり、これが摩擦、摩耗に影響を及ぼすことが予測された。

比摩耗量ならびに摩耗痕深さは回転試験片の場合、蝕針式仕上面粗さ試験機を用い、直径方向に沿って 8 箇所摩耗痕の形態 (幅と深さ) を測定し、その平均値から求めた。また、固定試験片についてはこれが均質体であると仮定して、化学天秤により摩耗減量を秤量し、その結果から計算により比摩耗量を求めた。なお、このときの比重は 7.8 g/cm<sup>3</sup> とした。

#### 3.2 めっき皮膜の摩擦、摩耗特性

予備実験の観点からめっき処理を施したままのものすべり摩擦試験を行った。回転試験片に Fe-8% Cr 合金めっきを施した A5052P を用いた。この試験片のめっき面には、き裂による一辺の長さが 100 ~ 150 μm の亀甲模様が観察され、そのき裂幅は約 1.0 μm の細いものである。

図 5 に得られた摩擦試験の結果を示す。これによる

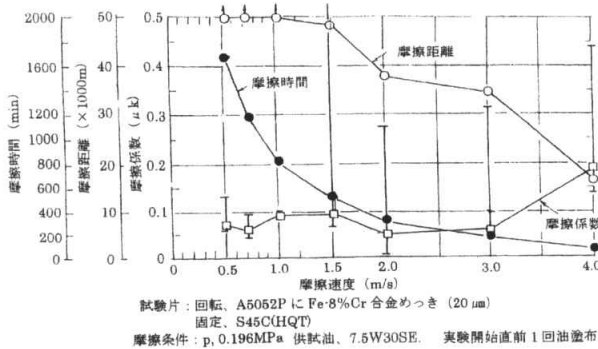


図5 Fe-8%Cr合金めっきを施したA5052Pのすべり摩擦特性

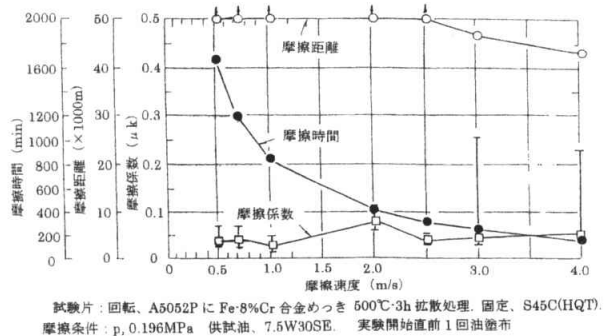


図7 500°C-3h拡散処理を施したFe-8%Cr合金めっき皮膜のすべり摩擦特性

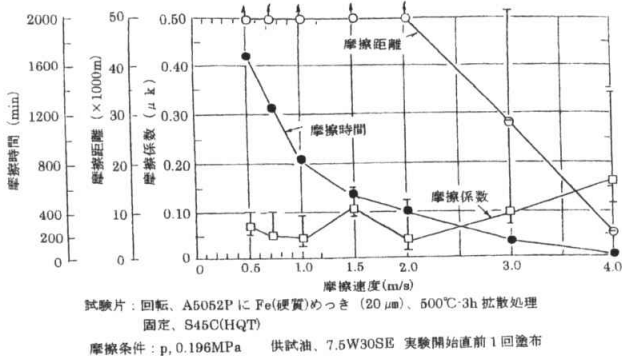


図6 500°C-3h拡散処理を施したFeめっき皮膜のすべり摩擦特性

と摩擦速度 1.00 m/s 以下の低速側では摩擦係数が 0.05 ~ 0.10 の範囲に安定した状態が距離 50000 m まで継続される。しかし、速度 1.50 m/s になると距離 49000 m 付近で瞬時的ではあるが 0.20 を超える摩擦係数が現れたため、この時点で実験を中止した。なお、この現象は摩擦速度が高くなるほど漸次短距離側に現れるようになり、例えば速度 4.00 m/s では距離 14500 m 前後で 0.20 を超える摩擦係数が認められた。

以上の結果から、めっきしたままのものでも亀甲模様のき裂が存在するものについてはそれが大きく、かつ幅が狭いものであっても油道あるいは油溜りとしての役割を果たし、低摩擦でしかも耐摩耗性に優れた状態が得られるものと判断された。

Feめっきの場合はめっきのままの状態でき裂は観察されず、したがって低摩擦状態を維持することは難しく、本実験の範囲では容易に摩擦係数が 0.20 以上に達することが認められた

### 3.3 拡散処理を施しためっき皮膜の摩擦、摩耗特性

めっき後 500°C で 3 h 拡散処理を施すことによってめっき界面に相互拡散を起こさせ、めっき皮膜の密着強さの向上を図るとともに、Fe と Al の熱膨張率の相違か

らめっき面に亀甲模様のき裂を生成させた試験片について摩擦、摩耗特性を検討した。

図6はFeめっきしたのち拡散処理を行った回転試験片についての摩擦特性を示したものである。これによるとめっき面の亀甲模様は一辺がおおよそ 50 ~ 80 μm に細分化され、かつ、き裂幅も約 3.0 μm に拡張されるため、油道あるいは油溜りとしての効果が大きく、速度 2.00 m/s 以下では距離 50000 m まで摩擦係数が 0.05 ~ 0.10 の範囲に安定した値をとることが認められた。

しかし、これよりも高速側においては 0.20 以上の摩擦係数の現れる距離が急激に減少し、速度 4.00 m/s では約 5000 m で摩擦係数 0.20 以上が観察された。

これに対して Fe-8%Cr 合金めっきを施した試験片では図7に示すように速度 2.50 m/s 以下において距離 50000 m まで摩擦係数が 0.20 を越すことはなく、0.04 ~ 0.07 の範囲に安定していることが認められた。しかし、これよりも高速側では摩擦係数の平均値が約 0.05 に維持されているにもかかわらず、瞬時的には 0.20 を超えることがあり、その距離は 43000 ~ 47000 m で、前掲図6のFeめっきと比較して摩擦挙動に顕著な相違がみられた。

図8はこのときの摩耗特性曲線を示したものである。これによると、回転試験片の比摩耗量は速度 0.50 ~ 2.00 m/s においておおよそ  $5 \times 10^{-11} \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{mm}$ 、また、これを摩耗痕深さで表すと 0.50 μm 前後となり、明らかにめっき層内での摩耗となる。また、これよりも高速側では速度が高くなるに伴って損耗には増加の傾向が見られるようになる。しかしこの場合でも、摩耗が最も大きな値となる速度 4.00 m/s の摩耗痕深さは約 3.0 μm で、上述と同様、めっき層内の摩耗を表している。これに対して相手側の固定試験片の損耗はきわめて少なく、おおよそ  $6 \times 10^{-15} \sim 2 \times 10^{-13} \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{mm}$  の範囲にある。

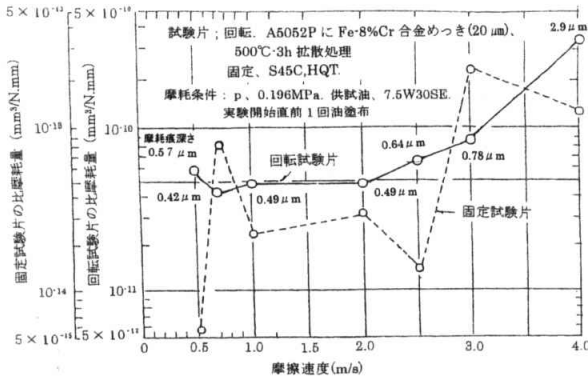


図8 500°C・3h 拡散処理を施した Fe-8%Cr 合金めっき皮膜のすべり摩耗特性

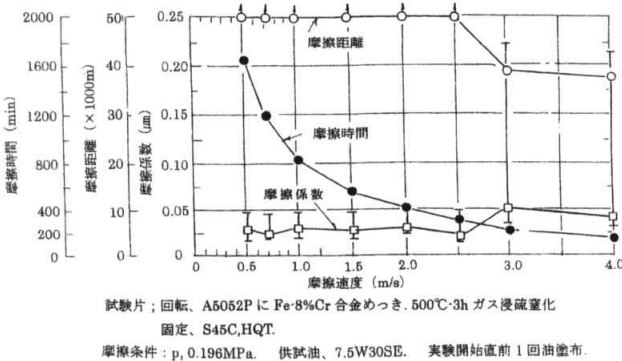


図9 500°C・3h ガス浸硫窒化処理を施した Fe-8%Cr 合金めっき皮膜のすべり摩擦特性

### 3.4 ガス浸硫窒化処理しためっき皮膜の摩擦、摩耗特性

めっき層の表面改質とめっき界面における相互拡散を兼ねて、めっき後の回転試験片を 500°C で 3 h ガス浸硫窒化処理を施したのについてすべり摩擦、摩耗試験を行った。

図9は摩擦特性を示したもので、速度 2.50 m/s 以下の領域では摩擦係数の平均値が 0.02 ~ 0.03 で、距離 50000 m までは瞬時的といえども 0.20 を越す現象は認められなかった。しかし、3.00 および 4.00 m/s ではそれぞれ 39600 または 38000 m 付近に 0.20 を越す摩擦係数が現れるようになるが、この場合でも平均値は 0.04 ~ 0.05 の低い値を示す。これを前掲図7の拡散処理したものと比較すると摩擦係数は約 1/2 の低い値となっている。これは浸硫窒化処理によって最表面に生成された  $Fe_{1-x}S$ 、 $FeS$  などの硫化物の影響で、これらの存在により凝着現象が抑制されることに起因すると判断される。

また、このときの摩耗特性曲線を図10に示す。これによると摩擦速度 2.50 m/s 以下の領域における比摩耗

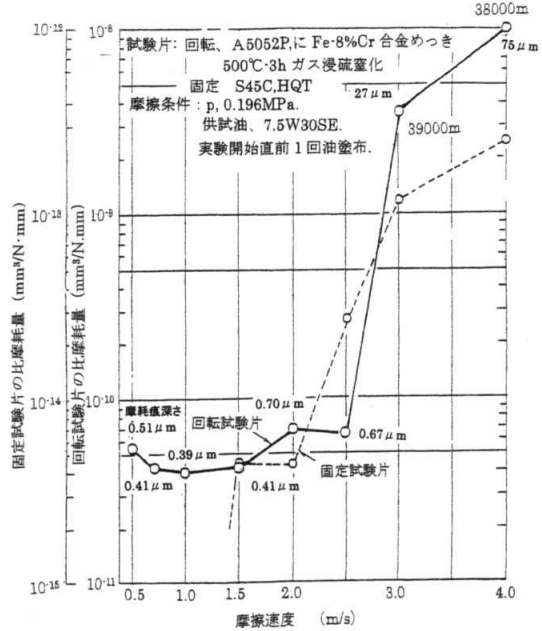


図10 500°C・3h ガス浸硫窒化処理を施した Fe-8%Cr 合金めっき皮膜のすべり摩耗特性

量は  $4 \sim 7 \times 10^{-11} \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{mm}$  の範囲にある。これを摩耗痕深さをもって表すと  $0.40 \sim 0.70 \mu\text{m}$  で、浸硫窒化層内に相当する。しかし、これよりも高速側では損耗が激しく、比摩耗量は速度 3.00 m/s のとき  $3.5 \times 10^{-9} \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{mm}$ 、また 4.00 m/s では  $10^{-8} \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{mm}$  となり、いずれも摩耗痕深さは図中に記載してあるようにめっき層厚さよりも大きく、めっき皮膜は完全に摩耗損失しているものと解される。この現象は摩耗粉末として脱落した硬質の化合物層が摩擦面に介在してアプレシブ摩耗を発生していることに起因すると考えられる。

他方、固定試験片の損耗は傾向的には回転試験片と類似しているが、前述と同様、きわめて少ないことが認められた。

### 3.5 高負荷条件下の摩擦、摩耗特性に及ぼす複合処理の影響

接触圧力を 0.49 MPa としたときの Fe-8%Cr 合金めっきおよびガス浸硫窒化処理を複合させた A5052P 回転試験片について摩擦、摩耗特性を検討した。なお、この実験における摩擦条件は接触圧力を除いて前述までのものと同じである。

図11は摩擦特性を示したものである。これによると、速度 1.50 m/s 以下の低速領域では距離 50000 m まで継続して摩擦を行った場合、摩擦係数は約 0.025 にほぼ安定した状態が保たれ、0.20 を越すことはない。しかし、これよりも高速側では平均摩擦係数が 0.03 ~ 0.06 の範囲であるにもかかわらず、瞬時的であっても



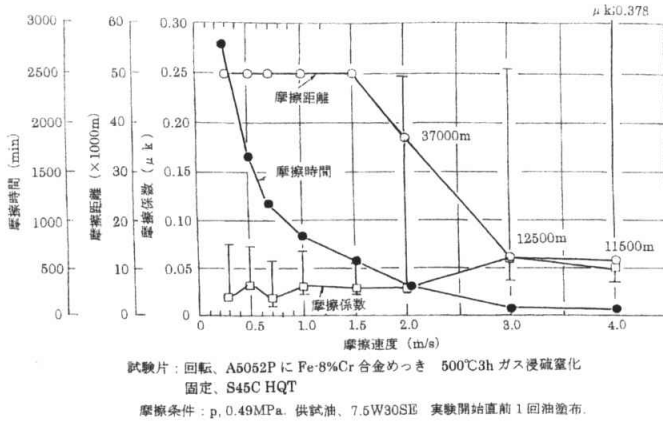


図 11 ガス浸硫窒化処理した Fe-8%Cr 合金めっき皮膜の高負荷条件下におけるすべり摩擦特性

0.20 を越す現象が見られるようになる。例えば、摩擦係数の平均値が 0.03 の速度 2.00 m/s では距離 38000 m 付近で、速度 3.00 m および 4.00 m/s では距離 12000 m 前後において 0.20 を越す状態が観察されるようになる。ことに 4.00 m/s においてはその値が約 0.38 にまで達することが認められた。

この結果から、広範囲にわたる摩擦条件の下において摩擦係数の平均値が低い値に安定した状態を保ちえることは、前述と同様、浸硫窒化処理によって摩擦面に生成された硫化物の凝着抑制効果によるものと考えられる。

次に上述の実験で得た摩耗特性曲線を図 12 に示す。これによると、摩擦係数が 0.025 付近の低い値に安定している速度 1.50 m/s 以下の領域における比摩耗量はおおよそ  $2 \sim 4 \times 10^{-11} \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{mm}$  で、このときの摩耗痕深さは  $0.54 \sim 0.78 \mu\text{m}$  の範囲にあり、いずれも浸硫窒化層内の摩耗である。

しかし、摩擦係数が 0.20 を越す状態が現れるようになると損耗も激しくなり、速度の増加に伴って比摩耗量もほぼ直線的に高い値を示すようになる。すなわち、速度 2.00 m/s では  $1.5 \times 10^{-9} \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{mm}$ 、また、4.00 m/s では  $1.5 \times 10^{-8} \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{mm}$  となる。これを摩耗痕深さをもって表すと、図中に示すごとく 25 ~ 85  $\mu\text{m}$  となり、いずれもめっき層が完全に脱落し、素地である Al 合金の摩耗となっている。図 13 は摩擦係数が高い値を示し、しかも損耗が激しく起こった速度 4.00 m/s で摩擦したときの摩擦面で、激しい凝着あるいは摩擦面間に介在する摩耗粉末によると思われる引掻きを伴ったアブレシブ摩耗が観察される。

#### 4. おわりに

Al 合金 A5052P に Fe あるいは Fe-8%Cr 合金めっ

試験片：回転、A5052PにFe-8%Cr合金めっき 500°C・3hガス浸硫窒化  
固定、S45C,HQT.

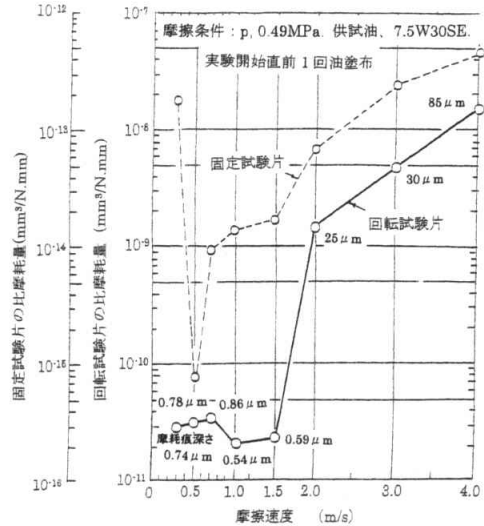


図 12 ガス浸硫窒化処理した Fe-8%Cr 合金めっき皮膜の高負荷条件下におけるすべり摩耗特性

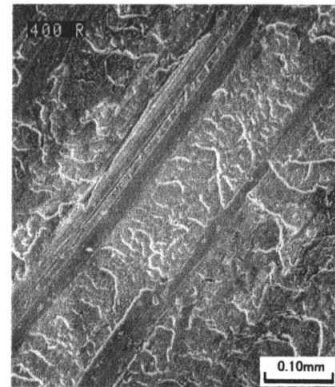


図 13 Fe-8%Cr 合金めっき後浸硫窒化処理した Al 合金の苛酷な条件 (P; 0.49 MPa, V; 4.00 m/s) 下で摩擦したときの摩擦面

きを施し、さらにガス浸硫窒化処理を複合させた回転試験片と S45C 固定試験片を組み合わせ、潤滑すべり摩擦の下における摩擦、摩擦挙動を検討した。その結果を要約すると次のようになる。

(1) Fe または Fe-8%Cr 合金めっきを施した試験片を真空あるいは窒素雰囲気中 400 ~ 500°C で加熱すると Fe と Al の熱膨張率の違いから、めっき面には亀甲模様を呈するき裂が発生するとともに、めっき界面に相互拡散が見られるようになる。この現象は浸硫窒化雰囲気中で処理した場合でも認められる。

(2) 摩擦面に発生した亀甲模様のき裂は潤滑下の摩擦において油道あるいは油溜りとしての役割を果たし、摩擦係数の低下、ならびに比摩耗量の軽減に有効に作用する。

(3) 摩擦, 摩耗試験の結果, Fe-8%Cr 合金めっきしたままの試験片は速度 1.00 m/s が摩擦係数 0.20 以下の限界となる。これと比較して拡散処理を施した Fe めっきは 2.00 m/s, 拡散ならびに窒素処理を施した Fe-8%Cr 合金めっきのものはいずれも 2.50 m/s が低摩擦の限界速度となる。

(4) 浸窒素処理したものの安定した領域における摩擦係数は窒素雰囲気中で拡散処理を行ったものと比較して約 1/2 に軽減される。

(5) 接触圧力 0.49 MPa の高負荷条件下において Fe-8%Cr 合金めっきと浸窒素処理を複合させたものは低摩擦の限界速度が 1.50 m/s となり, このときの摩擦係数の平均値は 0.025 で低い値を示す。しかし, より高速側では摩擦, 損耗ともに激しくなる。

(6) 以上の実験から摩擦係数が 0.20 を越すことのない状況下で観察される摩耗現象を摩耗痕の深さから検討した場合, いずれもめっき層内あるいは浸窒素処理に伴う化合物層内の摩耗であることが認められた。

(7) 共通した現象として, 相手材となる S45C 固定試験片の損耗はきわめて低い値を示す。

#### 参 考 文 献

- (1) 恒川好樹: あたりあ, 36, 6, p.730 (1995).
- (2) US Patent No.6 149 790.
- (3) European Patent No.98, 305, 172, 3.
- (4) 中華人民共和国特許 第 123739 号.

#### 質 疑 応 答

Q ; 摩擦係数の限界値を 0.20 とした理由について。

A ; 潤滑下の摩擦において, 一般的には摩擦係数が 0.15 前後で稼働していることが多いと考えられます。この実験では摩擦係数が 0.05 付近であるときは摩擦面にほとんど凝着あるいはこれに起因するアプレシブ摩耗は観察されませんでした。しかし, 瞬間的であっても 0.20 を越える値が検出されたときの摩擦面からは油膜が破断して固体接触を起こしたことが原因と思われる凝着現象が観察されるようになります。もちろん, 摩擦係数が大きな値をとるようになると凝着現象もいっそう顕著に現れるようになります。そこで, 摩擦係数を一応 0.20 をもって限界値と定め, これ以上に達するときは凝着に起因する摩耗が発生し, それ以下では表面付近の塑性流動 (plastic flow), あるいは酸化摩耗が損耗の主体になると判断されます。

Q ; 亀甲模様のき裂の数や大きさは加熱によって制御

できますか?

A ; Al 合金上への Fe または Fe-Cr 合金めっきを施したのち, これを加熱することによってめっき面に生ずる亀甲模様のき裂は両者の熱膨張率の相違に起因することは明らかです。この実験では常温, 400, 450 および 500°C の 4 条件のものを比較していますが, 常温のものと較べて加熱処理したものはいずれも細粒化の傾向がみられます。しかし, 400 ~ 500°C の範囲ではほとんど相違はみられません。むしろ膨張量に影響されると考えられますので, Al 合金の占める容量, ならびにめっき層のもつ容量が関係すると思われる。ことに前者の容量が大きく影響するものと判断しております。したがって, 加熱温度あるいは加熱時間だけで亀甲模様の大きさならびにき裂幅を制御することは難しいと考えます。

Q ; ガス浸窒素処理による硫化物がすべり性, 耐焼付き性を向上させるが, これは PV 値を高めると考えてよいですか?

A ; 結論から申し上げますと, ご意見のとおり PV 値を高める効果があると判断してもよろしいかと思えます。ただし, PV 値とは軸受けの焼付きや歯車の歯面に生ずるスコアリングの安定限界を判定するための値です。したがって PV 値がある限界に達したとき, 焼付きやスコアリングが生ずるといふもので, この値が大きいほど耐久性に優れていることを表しています。このような現象を広義に解釈した場合, 本研究のような摩擦方式のものにも適用されると考えてもよいのではないかと思います。すなわち, 非処理のものと比較して浸窒素処理したものは焼付きの生ずる接触圧力 (P) および摩擦速度 (V) が高負荷, 高速条件にありますので当然 PV 値は高いということになります。

なお, 一般的には摩擦面に生成された硫黄化合物は摩擦係数を低下させると考えられており, 実際にそのような結果の得られることが多々あります。しかし, このような現象の現れる原因は硫黄化合物の存在が相手材料との間に生ずる凝着や焼付きを抑制する効果があり, その結果として摩擦係数の低下する現象が観察されるようになります。もし, 直接的に摩擦係数を低下させるには塩化物皮膜が有効といえます<sup>(1)</sup>。

#### 参 考 文 献

- (1) F.P. Bowden and D. Tabor : Friction and lubrication of solids. pp.233, Oxford Univ. Press (1950).  
曾田範宗訳: 固体の摩擦と潤滑, pp.222, 丸善版 (1961).