

PFAS を意図的に添加しない表面処理・アンチフリクションコーティングの開発

Development of non-intentional added PFAS Anti-Friction Coating

デュポン・東レ（正）*林 昭人 デュポン・東レ（正）佐々木 貴彦 デュポン・東レ（正）山口 哲司

Akito Hayashi, Takahiko Sasaki, Tetsuji Yamaguchi

DuPont Toray Specialty Materials K.K.

1. はじめに

アンチフリクションコーティング（Anti-Friction Coating=AFC）は二硫化モリブデン、グラファイト等の固体潤滑剤の微粒子を有機系もしくは無機系樹脂バインダーと共に適切な溶剤中に溶解、分散させた塗料タイプの潤滑剤であり、塗布、乾燥、硬化により摺動部材に形成された潤滑被膜は、基材の低摩擦化および耐摩耗性付与に寄与し、機器寿命を延長することができる¹⁾。



ポリテトラフルオロエチレン（PTFE）は、耐熱性・耐薬品性・電気的特性など優れた特徴を有していることから半導体、自動車、石油化学、食品機械など様々な産業で利用されている。摺動特性においては、低摩擦係数を示すことを特徴とし、前述の二硫化モリブデンやグラファイトと並ぶ代表的な固体潤滑剤としても広く使用されている²⁾。しかし、近年、PFAS（ポリフルオロアルキル化合物の総称で化学構造中に-CF₂-または-CF₃を持つ 10,000 を超える有機フッ素化合物群）に関する制限案が欧州 5 カ国において作成され、欧州化学品庁（ECHA）により公開された。PTFE もまた本制限案の PFAS の定義に該当すると考えられており、PTFE を意図的に添加しない潤滑剤への要求が高まってきている³⁾。筆者らは、その要求に応えるため、PFAS を含有しない微粒子を固体潤滑剤として用いた研究開発を実施し、その結果、PFAS を意図的に添加しないアンチフリクションコーティングが PTFE を含有するものと比較して、同等以上の潤滑特性を示すことを見出した。本発表では、塗膜の潤滑特性およびその他の塗膜性能について報告する。

2. 試験

2.1 PFAS を意図的に含有しない AFC の作製

PFAS を含有しない固体潤滑剤である Powder A と加熱硬化型の有機樹脂バインダーを適切な溶剤中に混合し、従来の分散機を用いることで AFC-1 を作製した。得られた AFC-1 および比較として PTFE からなる AFC-R の液性状およびスプレー・ディップスピンにおける塗装性を評価した。結果を Table 1 に示す。


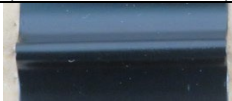
Table 1 Liquid property of AFC-1

Sample	AFC-1	AFC-R (Ref.)
Viscosity (mPas)	<200	<200
Agglomeration	None	None
Sedimentation	Soft	Soft
Paintability	 OK	 OK

2.2 塗膜性能の評価

2.1 で作製した AFC-1 の塗膜性能について評価した。SPCC の鋼板に AFC を塗装したものを試験片とし、鉛筆硬度、基盤目密着性試験、耐溶剤性試験、塩水噴霧試験、折り曲げ試験を実施した。AFC-R との比較を Table 2 に示す。

Table 2 Film performance of AFC-1

Sample	Test method	AFC-1	AFC-R (Ref.)
Pencil hardness	JIS K 5400	3H	3H
Cross cut	JIS K 5400	100/100 (No delamination)	100/100 (No delamination)
Solvent resistance	Rubbing test	OK (Not soluble)	OK (Not soluble)
Salt spray test (h)	JIS Z 2371	>300 (No corrosion / blister)	>300 (No corrosion / blister)
Bending test	JIS K 5400	 NG (2φ)	 OK (2φ)

2.3 密着性の改善

AFC-1 の密着性を改善するため、種々の密着促進剤の添加を検討した。折り曲げ試験の結果を Table 3 に示す。

Table 3 Adhesion improvement of AFC-1

Sample	AFC-5	AFC-6	AFC-7	AFC-1	AFC-R (Ref.)
Adhesion promoter	A	B	C	None	None
Bending test	OK (2φ)	OK (2φ)	OK (2φ)	NG (2φ)	OK (2φ)

2.4 摺動性の評価

2.3 で検討したサンプルの摺動性を評価するため往復摩擦摩耗試験機を用いた摺動試験を行った。SUS301 の鋼板に塗装した試験片を用い、SUJ-2 の鋼球を荷重 1 kg、摺動速度 120 cpm、摺動距離 4 mm の条件で往復摺動させたときの摩擦係数の変化を Fig. 1 に、試験後の摺動面の外観を Fig. 2 にそれぞれ示す。

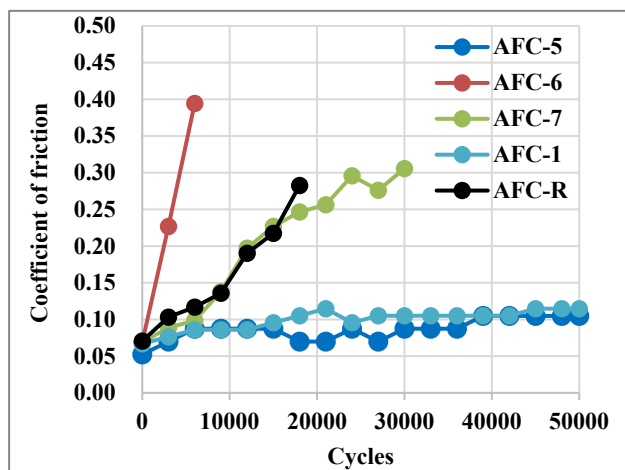


Fig. 1 Comparison of friction performance

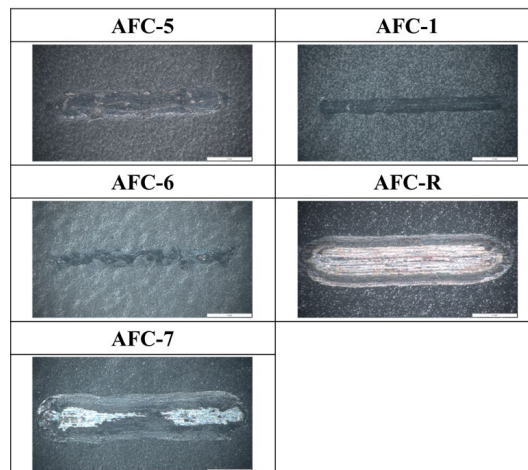


Fig. 2 Appearance of film after test

考察

2.1 の AFC-1 の液性状についての検討では、AFC-1 は、PFAS 非含有である Powder A に変更することで、攪拌不足による凝集物の発生や沈降物がハードケーキ化するなどの懸念があったが、AFC-R と比較しても遜色ないことが分かった。塗装性においても、AFC-R と遜色ない結果となっており、固体潤滑剤を変更したことによる塗装性への影響はなかった (Table 1)。2.2 における塗膜性能の比較では、AFC-1 は、ほぼすべての項目において、AFC-R と同等の性能を示したが、折り曲げ試験のみ異なる結果を示し、塗膜の顕著な剥離が観察された (Table 2)。これは、PTFE の代わりに用いた Powder A が塗膜と基材の界面に作用したためであると推定され、PTFE と Powder A の性質の違いに起因するものであると考えられる。2.3 では、2.2 で観察された剥離を改善するため、密着促進剤 A～C の添加を検討した。A～C をそれぞれ添加した AFC-5～7 は、いずれの場合においても、密着性改善効果を示し、折り曲げ試験の結果は、AFC-R の結果と遜色ないものとなった (Table 3)。これは、添加した密着促進剤が適切に界面に作用し、塗膜と基材の密着性を向上したためであると考えられる。2.4 では、2.3 で作製された AFC-5～7 の潤滑性について評価した。密着促進剤 A を用いた AFC-5 においては、添加前の AFC-1 と同等の潤滑性を示すことが分かり、密着促進剤 A が潤滑性を犠牲にすることなく密着性を改善できることが分かった。一方、密着促進剤 B と C では、潤滑性の著しい低下が観察され、潤滑性と密着性の両立には、密着促進剤の選択が重要であることがわかった (Fig. 1)。塗膜性能と潤滑性を最適化した AFC-5 は、摺動環境においてより焼き付きが起きにくくなっており、機器寿命の延長に貢献できると期待できる (Fig. 2)。

3. おわりに

PFAS を含有しない固体潤滑剤である Powder A と加熱硬化型の有機樹脂バインダーを用いて最適化された AFC-5 は、PTFE からなる AFC-R と遜色ない塗膜性能を示すことが分かった。さらに、AFC-5 は、AFC-R よりも優れた潤滑性を示し、摺動試験において、より低い摩擦係数およびより長い耐久性を示すことが分かった。本技術は、PFAS を意図的に添加しない製品の開発に有用であると期待でき、今後の PFAS 規制に対する開発アプローチの一つになると考えている。

文献

- 1) 伊藤：乾性被膜潤滑剤の特徴，トライボロジスト，36，2 (1991) 126.
- 2) 竹田，三村：PTFE 系複合材のトライボロジー，トライボロジスト，62，7 (2017) 455.
- 3) 石川：有機フッ素化合物 (PFAS) 規制化の最新動向，潤滑経済，722，5 (2025) 24.