

電気絶縁性を有する潤滑コーティングの開発

Development of Anti-Friction Coating with Electric Insulation Property

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

Takahiko Sasaki, Tetsuji Yamaguchi, Akito Hayashi

DuPont Toray Specialty Material K.K

1. はじめに

アンチフリクションコーティング剤（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とも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る。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・耐摩耗性付与に貢献し、機器寿命の延長が期待できる。

有機系樹脂バインダーの一つとして使用されるポリアミドイミド（PAI）樹脂は、その優れた熱安定性、機械的強度、耐薬品性のみならず高い電気絶縁特性を有しているため、ステーターコアのマグネットワイヤへの絶縁被覆材料としても使用されている。一方で、それら樹脂バインダーと二硫化モリブデン、グラファイト等の代表的な固体潤滑剤と組み合わせた AFC の塗膜を作成した場合、その電気絶縁特性が失われてしまうことが分かっている。その主な要因としては固体潤滑剤自身の電気絶縁特性への影響のみならず、AFC 塗膜を形成した際の表面平滑性や、高温での焼成・硬化過程に発生する塗膜内部の泡（欠陥）やブリスターによるものと考えられている。潤滑性と絶縁性を両立する研究も行われているが^{2,3)}、コーティング剤としての取り扱いには依然難しい。

筆者らは、当社製品の一つである PAI 樹脂系 AFC に着目し、これをさらに最適化するべく、PAI 樹脂系以外の電気絶縁性を有するバインダーの選定ならびに固体潤滑剤の最適化を行ってきた⁴⁾。本報告ではこれらの研究を経て開発された潤滑性を有し、かつ塗膜内部欠陥およびブリスター発生を抑制した高い電気絶縁性を有する AFC の特性、および期待される用途について報告を行う。

2. 試験

2.1 AFC の選定、潤滑性および絶縁耐力測定

初期評価では加熱硬化・造膜可能な有機樹脂バインダーとして PAI バインダー、およびエポキシ（Ep）樹脂バインダーを用い、固体潤滑剤として二硫化モリブデン（MoS₂）、グラファイト、ポリテトラフルオロエチレン（PTFE）粉末を分散した AFC を作成した。Reference として固体潤滑剤を含まない PAI バインダー溶液を準備した。

次にそれらを冷間圧延鋼板（SPCC-SB）基材へ塗装し高温焼成後の膜厚を 50～60μm に調整した後、100kV Dielectric Strength Tester を用いて絶縁耐力を測定した。具体的には ASTM D149-09 に準拠した手法にて AC 交流電流下 20 秒ごとに 0.5kV ずつ上昇させ、通電する前の電圧を膜厚で除した値を絶縁耐力値とした。

リングオンプレート試験ではプレート側の基材（S45C）に対して AFC 膜厚を 10～15μm となるように調整した後、荷重 100kg にて未塗装のリング（S45C）を押し当て、回転速度 2,000rpm にて焼き付くまでの摩擦係数、ならびに試験時間を摩耗寿命とした。処方の一例を Table 1、評価結果を Fig.1 に示す。

Table 1 Comparison of AFC samples

Sample name	Binder	Solid lubricant	COF(μd) before seizure
Ref.	PAI	-	0.25
AFC1	PAI	MoS ₂ /Graphite	0.13
AFC2	PAI	PTFE/Graphite	0.09
AFC3	Ep	PTFE	0.12

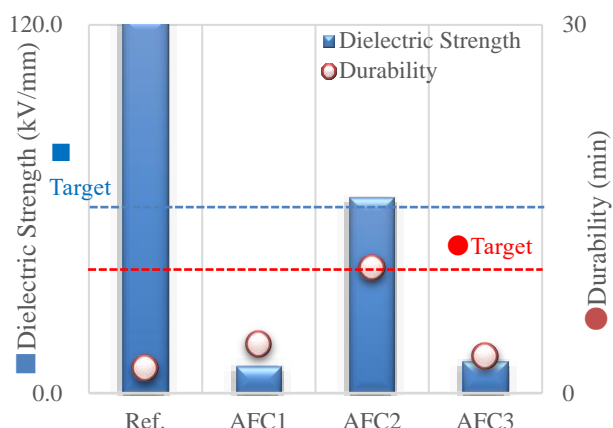


Fig.1 Test result of Dielectric strength and lubrication durability

PAI バインダーの絶縁性は高いもののそれだけでは潤滑性に劣ることが分かる。一方で PTFE/Graphite を組み合わせ

た AFC2 は焼き付く前の摩擦係数は低く、また潤滑寿命ともに絶縁耐力ともに Target 値に近いことが分かった。

2.2 バインダーおよび固体潤滑剤の最適化

AFC2 の処方を基にさらに電気絶縁性および摩擦寿命を向上させるため、グラファイトを除去し固体潤滑剤の最適化を行うとともに PAI 以外の樹脂バインダーとしてポリイミド (PI) 樹脂、ベンゾシクロブテン (BCB) 樹脂など一般的に電気絶縁性が優れるとされるバインダーの選定を行った。処方の一例と評価結果を Table 2 に示す。

PAI だけでなく PI, BCB 樹脂などが電気絶縁性を有する候補品となることが分かった一方で、潤滑特性については大きな向上が見られなかった。これについては、樹脂バインダー自身の硬さ、弾性率、基材との密着性など種々要因が考えられるが、この点についての考察は今後の課題としたい。

Table 2 Binder/Solid lub. optimization of AFC samples

Sample name	Binder	Solid lubricant	COF(μ d) before seizure	Durability (min)	Dielectric Strength (kV/mm)
AFC2	PAI	PTFE/Graphite	0.09	10.2	63.6
AFC2-1	PAI	PTFE	0.07	11.4	69.3
AFC4	PI		0.08	10.1	97.5
AFC5	BCB		0.11	9.1	79.6

2.3 高膜厚下でのブリスター、塗膜欠陥抑制

実際の用途においてはさらに高膜厚、かつ様々な表面粗さを有する基材に処理する場合がある。2.2 の検討にて得られた候補サンプル AFC2-1, AFC4 を 100 μ m 以上の膜厚となるよう処理した際、塗膜表面上の発泡 (ブリスター) が認められた。主要因としては AFC 中に含まれる溶剤の揮発等が考えられるが、硬化条件を見直すだけでは電気絶縁性だけでなく摺動特性を犠牲にってしまう。そこで筆者は両特性を維持しつつブリスター、および塗膜中の欠陥を抑制するため種々添加剤の検討を行った。Fig.2 には、AFC2-1 と添加剤 B の添加によりブリスター抑制を実現したブリスター抑制後のサンプル AFC2-1B の結果を、また Fig. 3a, Fig.3b にはそれぞれの外観写真を示した。

添加剤 B による効果としては、塗膜最表面の乾燥を遅らせることで塗膜内部の溶剤を均一に揮発させ、ブリスターを抑制し絶縁耐力の向上に貢献したものと考えられる。また塗膜内部の欠陥を抑制することで摩擦への影響を最小限とし結果摩擦寿命の増加に繋がったと推測する。

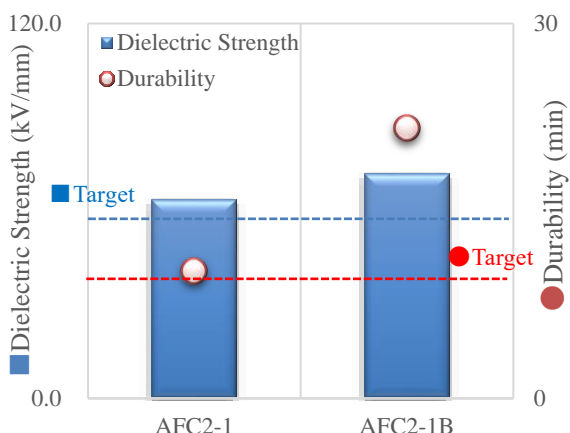


Fig.2 Test result of Dielectric strength and lubrication durability w/o additive

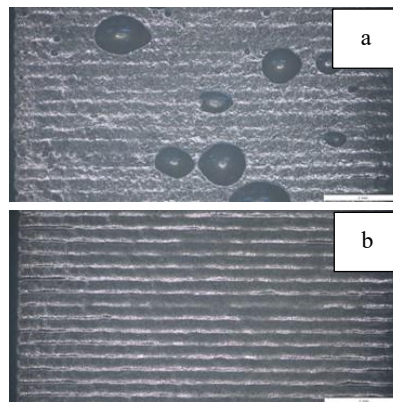


Fig.3a Surface appearance of AFC2-1

Fig.3b surface appearance of AFC2-1B

3. おわりに

有機系樹脂バインダーと固体潤滑剤の最適化、さらには添加剤の検討により容易に高膜厚化ができ、かつ電気絶縁性、潤滑性に優れるコーティング技術を確認できた。今後も電動化に伴い電気絶縁性が必要とされる用途 (例えば軸受け、ステーターコア表面) などへの展開が期待される。

文献

- 1) 吉田：ポリアミドイミド樹脂塗料及びこれを用いた絶縁電線，特開 2010-031101, 2010. 2. 12
- 2) Xian Cheng et al., Preparation of MoS₂@PDA-Modified Polyimide Films with High Mechanical Performance and Improved Electrical Insulation, Polymers 2024, 16(4), 546
- 3) Jian Hao et al., Preparation Nano-Structure Polytetrafluoroethylene (PTFE) Functional Film on the Cellulose Insulation Polymer and Its Effect on the Breakdown Voltage and Hydrophobicity Properties, Materials 2018, 11(5), 851
- 4) 佐々木, 杉浦：コーティング組成物，特開 2025-32051, 2025. 3.11