

新耐傷性エナメル線の開発

吉田 健吾*・伊藤 秀昭・小谷野 正宏
福原 雅昭・上岡 勇夫

Development of Anti-Scratch Magnet Wire — by Kengo Yoshida, Hideaki Itou, Masahiro Koyano, Masaaki Fukuhara and Isao Ueoka — The market for magnet wire for refrigerant compressor motors is one of the largest magnet wire markets in China. It is important for a magnet wire manufacturer to maintain and expand its share in this market. In general, refrigerant compressor motors are impregnated with varnish at 160 to 180 degrees C. Therefore there are two main user demands. One is to balance high wire lubricity with high impregnating-varnish bond strength, and the other is to balance anti-scratch property with adherence after heating. Presently Sumitomo Electric Wintec has magnet wire MTZ™ for this market, but MTZ™ satisfies only the first demand. By developing a new magnet wire that satisfies both the two user demands, the Company can expand its share in the market. In this paper the author report on the successful development of a new anti-scratch magnet wire HGZ™ that satisfies both demands.

1. 緒言

近年、部品の小型化、高性能化のため高占積率を要求される機器が増え、使用される耐熱エナメル線には過酷とも言える加工が施されるようになって来ている。

このような過酷な加工に耐え得るエナメル線を当社では「耐傷性エナメル線」と称し、この分野で常に業界をリードし続けてきた。

当社の耐熱エナメル線開発の歴史は1970年代に開発されたATZ®-300に始まり、この品種はエステルイミド/アミドイミド（以下EsI/PAIと記載）という材料で構成される現在の耐熱エナメル線の基本構成を確立したフラッグシップモデルとなった。耐傷性エナメル線としてはこのATZ®-300をベースに自己潤滑皮膜を付与したHLW®が1980年台に完成、さらに潤滑性能を向上させ、導体との密着性を付与する事で耐傷性を極限にまで高めたUTZ®が1990年台半ばに完成し、現在に至っている。耐熱エナメル線開発の歴史を図1に記す。

このUTZ®は当社を代表する耐傷性エナメル線であり、世界初のHEVとして知られるトヨタ自動車(株)初代プリウスに採用され、その心臓部とも言える駆動モーターの高出力化、小型化に大きく貢献した。

当社の製品群は上記HEV駆動モーターに代表される「電装品分野」とエアコン・冷蔵庫などの冷媒中で駆動するコンプレッサーモーターに代表される「家電分野」の2つに大別され、モーターの種類として更に細かく含浸・非含浸の2つに別けられる。各分野において耐傷性エナメル線のニーズは高いが、先に紹介したUTZ®は含浸分野において少し使い勝手が悪い（理由は後述）。含浸とはモーターの絶縁信頼性を高める為に、コイルを熱硬化性絶縁樹脂（以下

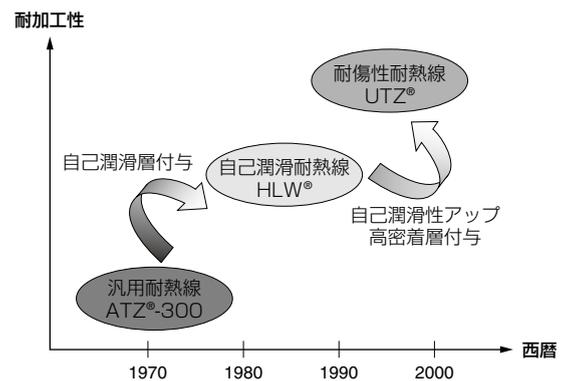


図1 耐熱エナメル線開発の歴史

含浸ワニスと記載）でモールド（熱処理）する操作であり、一般的には不飽和ポリエステルやエポキシ系の樹脂が使用されている。熱処理条件はユーザー・含浸ワニスの種類によって様々であるが、我々の知る限り160～180℃×4～6時間というのが最も厳しい条件である。当該分野におけるユーザーニーズをまとめたものを表1に示す。

先述した様に高占積率化を行うに当たり、耐加工性、コイル捲作業性が重要である事は言うまでもない。加えて当該分野において重要な項目は a) 含浸ワニス適合性と b) 含浸ワニス処理後密着性の2つであり、双方共に実機における絶縁信頼性に大きく影響を与えるファクターである。しかしながらUTZ®は下記の理由からこの2点において解決すべき課題がある。

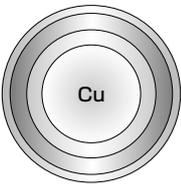
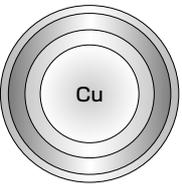
UTZ®は最外層皮膜に表面張力の小さい微粒滑材を分散

表1 ユーザーニーズとエナメル線特性の関係

ユーザーニーズ	巻線特性	評価試験名
耐加工性 (耐傷性)	機械強度 滑り性	一方向摩耗 動摩擦係数
コイル捲作業性	滑り性	スロット挿入圧力
耐冷媒性	過負荷時耐冷媒性	プリスター*発生温度 プリスター*後絶縁破 壊電圧
	抽出特性	冷媒抽出率
含浸ワニス適合性	表面濡れ性	含浸ワニス固着力
含浸ワニス処理後密着性	加熱後膜浮き	加熱後 急激伸長膜浮き

*プリスター試験：過負荷時に急激にモーターが温度上昇すると皮膜中に浸透していた冷媒が急激に気化する事により皮膜の発泡が生じる恐れがある。この事を想定したのが冷媒処理後のプリスター試験である

表2 当社製品概要と特性比較

品 種	UTZ®	MTZ™ (現行品)
構 造		
1層目	高密着 EsI	EsI
2層目	PAI	PAI
3層目	高潤滑 PAI	潤滑 PAI
一方向摩耗	2200gf	1600gf
含浸ワニス*固着力	13.6kg	37.3kg
* 180℃/6h*後急激伸長膜浮き	20.0 ~ 40.0mm	5.0 ~ 10.0mm

*含浸ワニスはELANTAS社製PED923-50を使用

* 180℃/6h急激伸長膜浮きを以下「加熱後膜浮き」と記載

させる事で海一島構造を作り出し、高い潤滑性を実現している点に特徴がある。しかしながら最外層の表面張力の低さは含浸ワニスの濡れ性を低下させる事に繋がり十分な固着力が得られない。さらにUTZ®は最下層に密着力を高める為の添加剤を配合した高密着タイプのEsIを使用している点に特徴がある。しかしながらこのタイプのEsIは通常のEsIと比べると加熱により密着が低下する傾向があり、ユーザーにおける含浸ワニス処理条件にある程度の制約を課してしまう。これら2点、特に前者の理由からUTZ®は含浸分野にはあまり適しておらず、当社ではUTZ®の耐傷性をデチューンしたMTZ™を上市しているに留まっていた。UTZ®とMTZ™の概要と特性比較を表2に示す。

しかしながら、近年含浸分野においても小型化を目的とした更なる高占積率化が求められて来ており、現行のMTZ™では将来的に対応出来なくなる可能性が高い。日系コンプレッサーモーターメーカーの製造拠点となっている

中国ではローカルメーカーの台頭も著しく、MTZ™の市場競争力は低下し続ける事が予想される。そこで今回我々はUTZ®同等の優れた耐傷性を維持したまま a) 含浸ワニス固着力 b) 加熱後密着力低下を改善した新耐傷性エナメル線HGZ™の開発に着手、成功したのでここに報告する。

2. 開発コンセプト

・自己潤滑層（含浸ワニス固着力改善）

滑材量と滑り性は正の相関であり、滑材量と含浸ワニス固着力は負の相関である。両者がクロスするポイントでは目標を達成しない為、滑材量の調整だけでは本課題は解決不可能であると言える。そこで今回は自己潤滑層の改善に加え、表面塗布油の開発を行い、両者の組み合わせにより滑り性と含浸ワニス固着力の両立を図るべく検討を行った。

・高密着層（加熱後急激伸長膜浮き改善）

密着添加剤と初期密着力は正の相関であり、密着添加剤と加熱後密着力は負の相関である。しかしながら相関は前者の方が強く、添加剤量の低減はそのまま初期密着力低下による耐傷性の低下に繋がる。従って密着添加剤量の調整では本課題の解決は不可能であり、密着添加剤とは異なる手法、つまり「化学的」な手法とは異なる手法で初期密着力を高めてやる必要があると考えた。そこで今回は皮膜の残留応力に注目、その低減により「物理的」に密着力を高める事で耐傷性と加熱後密着力の両立が可能かどうか検討を行った。

3. 結果と考察

・自己潤滑層（含浸ワニス固着力改善）

種々検討を行った結果、ある特定の潤滑層とある特定の塗布油と組み合わせる事により、高い滑り性と含浸ワニス固着力が両立出来る事が明らかとなった。

開発自己潤滑層と開発塗布油の組み合わせにより含浸ワニス固着力を維持しつつ、動摩擦係数を約40%、スロットへの挿入圧力を20%低減させる事が可能となった(図2)。

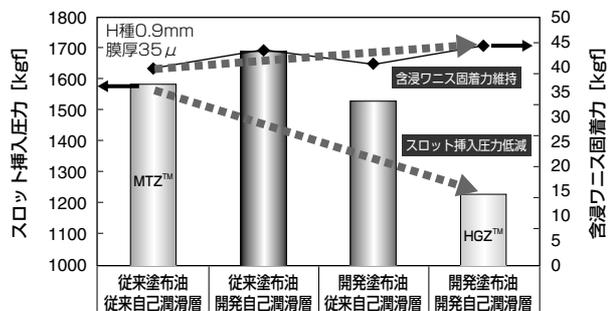


図2 従来塗布油と開発塗布油の実力比較

*スロット挿入圧力：分布巻ステータヘコイルを挿入する際に必要な力

潤滑層と塗布油、どちらか一方が異なると各効果は小さく目標を達成しない。この結果から開発塗布油は開発自己潤滑層に対し特異的な濡れ性を有し、エナメル線表面に均一な油膜を形成する事で動摩擦係数、スロット挿入圧力を大幅に低減せしめたと結論付ける。

・高密着層（加熱後急激伸長膜浮き改善）

熱硬化性ポリマーの場合、残留応力はポリマーの運動性と密接な関係があり、ポリマーの運動性は架橋の程度によって決定される事は広く知られている。架橋の程度は一般的に架橋点間分子量Mcによって記述され、ポリマーの動力学スペクトルを温度の関数で記した際その平坦部の幅がMcに依存する。そこで今回はMcの最適化を行い、分子の運動性を制御する事で残留応力を緩和、密着力を向上させる事が可能かどうか検討を行った。

鋭意開発の結果、ある特定の樹脂に対し数種の硬化剤を併用する事で高い耐傷性と加熱後密着力を両立させる事が可能となる事を見出した（図3）。開発高密着材料の実力評

表3 ベース樹脂違いによる各特性比較

開発材料名	A	B	C	D
ベース樹脂	I	II	III	IV
硬化剤	A	A	A	A
一方向摩耗 [gf]	1850	1650	1780	1650
加熱後膜浮き [mm]	15.0	35.0	50.0	50.0

表4 硬化剤種/量による各特性比較

開発材料名	A	E	F	G	H	I	J
ベース樹脂	I	I	I	I	I	I	I
硬化剤A量 [指数]	100	50	50	50	50	50	0
硬化剤B量 [指数]	0	0	50	100	50	100	100
一方向摩耗 [gf]	1850	1850	1900	2000	1830	1860	1870
加熱後膜浮き [mm]	15.0	10.0	6.0	4.0	5.0	4.3	6.4

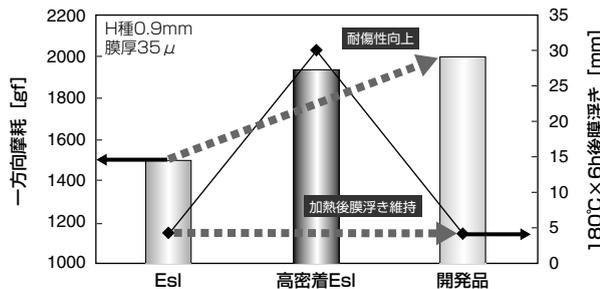


図3 開発高密着材料実力比較

価は、最下層のみを変更したエナメル線にて行った。耐傷性に関しては自己潤滑層による寄与も大きい為である。

開発材料名Gにおいて総合的に最も優れる結果が得られた。1種の硬化剤のみ（表3）ではこの様な特性は達成出来ず、複数の硬化剤を組み合わせる（表4）事で初めて実現可能となった。以上の結果から骨格の異なる複数の硬化剤の併用はMcの調整に不可欠であり、Mcの調整による分子運動の制御が密着力発現に非常に有用であると結論付ける。

4. 開発品一般特性

表5 一般特性比較

試験項目		HLW [®]	MTZ [™]	UTZ [®]	HGZ [™]	
寸法	仕上径 [mm]	0.967	0.967	0.967	0.967	
	導径 [mm]	0.897	0.897	0.897	0.897	
	皮膜厚 [mm]	0.035	0.035	0.035	0.035	
機械特性	一方向摩耗 [gf]	1400	1600	2200	2000	
	動摩擦係数 [-]	0.13	0.10	0.04	0.07	
	可とう性	1d良	1d良	1d良	1d良	
	初期急激伸長膜浮き [mm]	2.0	2.0	0.50	0.50	
電気特性	加熱後膜浮き [mm]	4.0	4.0	30.0	4.0	
	ピンホール [個/5m]	0	0	0	0	
熱的特性	劣化後絶縁破壊電圧 [kV]	240℃/168h	14.5	15.2	14.9	14.2
		260℃/168h	11.3	11.5	12.1	13.4
	耐熱衝撃性	220℃/1h	1d良	1d良	1d良	1d良
		240℃/1h	1d良	1d良	1d良	1d良
	耐酸化温度 [℃]		410	410	410	410

※測定値であって規格値ではない

5. 開発品耐冷媒特性

表6 耐冷媒特性比較

試験項目	HLW [®]	MTZ [™]	UTZ [®]	HGZ [™]	
R22 浸漬後 プリスター	120℃	0	0	0	
	140℃	3	3	3	
	160℃	4	4	4	
R22 浸漬後 絶縁破壊電圧 [kV]	120℃	15.8	16.0	16.5	16.3
	140℃	15.5	15.8	16.0	16.2
	160℃	15.1	15.7	15.8	15.5
	200℃	13.5	14.2	14.5	15.0
NEMA 抽出試験	0.02	0.02	0.02	0.02	

※測定値であって規格値ではない

6. 開発品実機想定評価

表7 実機想定評価比較

試験項目		HLW [®]	MTZ [™]	UTZ [®]	HGZ [™]	
コイル捲作業性	スロット挿入圧力 [kgf]	1680	1580	1036	1230	
含浸ワニス適合性	含浸ワニス固着力 [kg]	41.5	37.3	13.6	44.0	
冷凍機油適合性	鉱物油 R22	スラッジ*生成有無	ナシ	ナシ	ナシ	ナシ
		全酸価* [mgKOH/g]	0.00	0.00	0.00	0.00
	エステル油 R410A	スラッジ*生成有無	ナシ	ナシ	ナシ	ナシ
		全酸価* [mgKOH/g]	0.04	0.04	0.04	0.04
	エーテル油 R407C	スラッジ*生成有無	ナシ	ナシ	ナシ	ナシ
		全酸価* [mgKOH/g]	0.02	0.02	0.02	0.02

※測定値であって規格値ではない

*スラッジとは冷凍機油の加水分解、添加剤の分解などによって生じる濁りで、スラッジの生成はコンプレッサーモーターのキャピラリーチューブ閉塞を招く

*全酸価とは冷凍機油中の酸成分の割合を示し、過度な酸価の上昇は冷凍機油の粘度上昇、スラッジの生成を招く

7. 結 言

鋭意開発の結果、UTZ[®]同等の耐傷性を有し、MTZ[™]同様含浸ワニス固着力が高く、加熱後密着が低下しない新規耐傷性エナメル線HGZ[™]の開発に成功した。HGZ[™]はエアコン・冷蔵庫用コンプレッサーモーターの更なる高占積率化を可能とし、絶縁信頼性向上による品質向上に寄与出来るものと期待する。

*本製品は住友電工運泰克有限公司にて既に製造・上市されているものである。特許出願済み。

執 筆 者

吉田 健吾*：住友電工ウインテック(株) 技術開発部 開発グループ

伊藤 秀昭：住友電工ウインテック(株) 技術開発部 技術グループ

小谷野正宏：住友電工ウインテック(株) 技術開発部 開発グループ
グループ長

福原 雅昭：住友電工ウインテック(株) 技術開発部 主幹

上岡 勇夫：住友電工ウインテック(株) 執行役員 技術開発部長

*主執筆者