

半田付け可能な耐熱3層絶縁電線“TEX-B”の開発

Development of Solderable Heat-Resistant Triple Insulated Winding Wire "TEX-B"

石井 禎*

Tadashi Ishii

金 容薫*

Yong Hoon Kim

東浦 厚*²

Atsushi Higashiura

森 邦彦*³

Kunihiko Mori

小林 勇*⁴

Isamu Kobayashi

概要 当社の汎用3層絶縁電線TEX-Eは、スイッチング電源トランスの小型化やその製造における低コスト化を可能とし、また、材料点数の削減がトランスの解体を容易にすることなど、環境に優しいトランス設計に貢献していることから幅広く使用されるようになった。しかしながら、電源ユニットは更なる小型化や高効率化にシフトしてゆくと推測される。その場合、構成部品からの発熱や小型・高密度実装化による放熱の影響が問題となり、使用部材に対しては更なる耐熱化等の要求がある。

この要求に対応するため、ポリマーアロイ技術やその評価技術、薄肉成形加工技術等を駆使して、半田付け可能なB種の耐熱性を有する耐熱3層絶縁電線TEX-Bを開発した。スイッチング電源トランスに関する重要な安全規格については、既に各国の認証機関から認定を受けている。本報告ではTEX-Bの開発とその特性について詳述する。

1. はじめに

近年、電子・電気機器の小型化が進むにつれ、それに使用される電源ユニットも小型軽量化、高効率化、低雑音化、低コスト化するというニーズが高まっている。現在、電源ユニットを小型化するために主流となっている技術は、スイッチング電源と呼ばれ、スイッチング方式によって制御された直流安定化電源の一種である。それは、商用電源又は直流電源を入力とし、これを半導体の高速スイッチング作用を利用して可聴周波数以上の高周波電力に変換し、制御・整流して所定の直流を得るものである。このような電源ユニットではスイッチング周波数を高くすることにより、トランスの巻き数を減らして小型化が図られてきている。更なる薄型化や高密度実装化等を目指した場合には、構成部品による発熱や放熱性の悪化が問題となり、使用部材に対して耐熱化等が要求される。

今回はその要求に対応可能となる半田付け可能な耐熱3層絶縁電線TEX-Bを開発した。TEX-Bは導体上に3層で100 μm （1層約33 μm ）の薄肉絶縁層を設けた構造であり、スイッチング電源トランスに関する安全規格からの要求に対応し、任意の2層が3000 V_{rms} にて1分間の耐電圧に耐えることが出来る。また、B種の耐熱性を有し、半田付けが可能であることや、課電寿命及び高温中での部分放電開始電圧を向上させたことに特徴がある。本報告では、このTEX-Bの開発とその特性について述べる。

2. 安全規格と3層絶縁電線の役割

スイッチング電源を使用する最終製品は、重要な安全規格が2つある。それは、IEC（国際電気標準会議：International Electrotechnical Commission）規格のIEC 60065（電源に接続して使用する電子機器その他これに類する機器であって、家庭又は同等の場所で使用するものに関する安全性：Safety Requirements for Mains Operated Electronic and Related Apparatus for Household and Similar General Use）とIEC 60950（IT機器の安全性：Safety of Information Technology Equipment）である。

これらの安全規格からトランスに対して要求される安全性は、主に1次コイルと2次コイルの巻線間の絶縁性と所定の沿面距離を確保することにある。トランス設計の際、エナメル線（エナメル皮膜は絶縁体として認められない）を使用する場合では、1次コイルと2次コイルの巻線間に層間テープやバリアーを挿入しなければならない。しかし、当社の3層絶縁電線を使用すると、絶縁層（3層）がその役割を果たすため、層間テープやバリアーは不要となり、トランス構造の簡略化と小型化が可能となるのである。

3. TEX-Bの開発

当社の汎用3層絶縁電線TEX-Eは、電源の小型化が進むとともに幅広く使用されるようになってきた。しかし、更なる薄型化や高効率化、そして、高密度実装化等を目指した場合には、構成部品による発熱や放熱性の悪化が問題となり、より高い耐熱性を有した線材が要求されるようになる。そこで、ポリマーアロイ技術やその評価技術、及び薄肉成形加工技術等を利用して検討を行った。

* 環境・エネルギー研究所 高分子材料技術センター

² 環境・エネルギー研究所 有機分析室

³ 巻線事業部 技術部

⁴ 巻線事業部 平塚巻線工場

3.1 ポリマーアロイ技術

トランスの巻線に利用されることから、基本的には巻線としての諸特性を有していることが必要である。そのうち、B種の耐熱性を保持することを第一の目標に掲げた。その他に重要な特性としては、トランス製造に対する取り扱い性として、半田付け性と耐薬品性をあげた。

巻線の諸特性を有したうえで、B種の耐熱性と半田付け性の2つの特性を併せ持つことは難しい。それは、この2つの特性が相反するからである。半田付け性のメカニズムの一つとして、次のような考え方がある。汎用3層絶縁電線TEX-Eを半田浴に浸けると、その半田浴の熱によって絶縁層が溶融又は熱分解し、半田は瞬時に絶縁層と導体間の隙間に進入する。こうして半田が濡れて短時間に導体へ付着するのである。半田をより早く付着させるために、導体上にすずメッキする方法が取られることもある。

一方、絶縁層側から見れば、十分な耐熱性を有することが必要であることから、半田付け時の熱で簡単に溶融又は熱分解されないことが求められる。高耐熱性の熱可塑性樹脂について、耐熱性と半田付け性の関係を調べてみると、半田付け性に有効な素材では、どれも耐熱性がB種より低いレベルにあることが分かった(図1)。

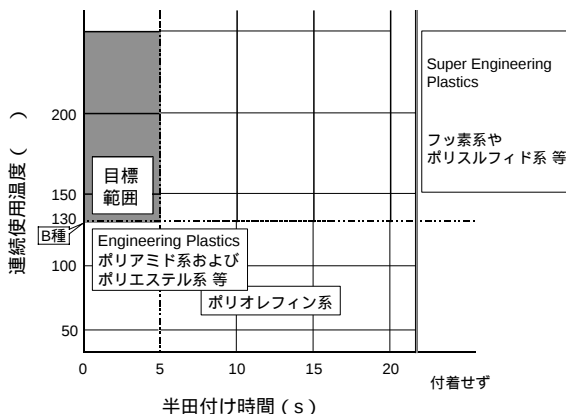


図1 耐熱性ポリマーと半田付け性
Solderability for engineering plastics

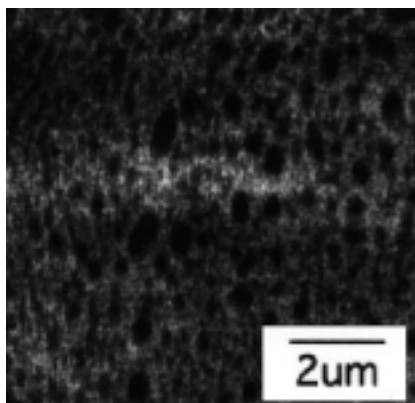


写真1 変性ポリエーテルスルホンの相構造 (SEM)
Morphology of modified poly(ethersulfone)

そこで、ポリマーアロイ技術を利用し、耐熱性と半田付け性の相反する特性を有する樹脂を組み合わせることによって、両者の特性を併せ持つ樹脂組成の検討を行った。様々な検討の中から、樹脂の選択とその配合割合の最適化を行うことによって、特に変性ポリエーテルスルホン樹脂がこの要求に適していることを見出した。この樹脂は、高耐熱性マトリックス樹脂中に半田付け性可能な樹脂が均一に微細分散した相構造を形成しているものである(写真1)。

また、耐熱性と耐薬品性を有する樹脂については、幾つかの高耐熱性の熱可塑性樹脂が候補に挙がったが、高速かつ薄肉成形加工性に適するという面などを考慮してポリフェニレンスルフィド樹脂を選定した。以上より、半田付け可能な耐熱3層絶縁電線TEX-Bの基本的な材料構成として、1層目及び2層目に変性ポリエーテルスルホン樹脂、3層目にはポリフェニレンスルフィド樹脂を適用した。

3.2 薄肉成形加工技術

当社の汎用3層絶縁電線TEX-Eにて培ってきた薄肉成形加工技術は、このTEX-Bの開発にも生かされている。高耐熱性の熱可塑性樹脂を高速かつ薄肉に成形加工するには、樹脂の適切な溶融粘度と高速成形に必要な溶融張力等が求められる。

加工温度における樹脂の溶融粘度や溶融時の粘弾性挙動を把握することによって成形加工時の樹脂の特長をつかみ、実際の成形加工性と比較しながら検討を繰り返し、前述の2種類の樹脂について、成形加工条件の最適化を図った。

4. TEX-Bの特性

次ぎにTEX-Bの特性として、巻線としての基本的特性のほかに、このTEX-Bの特徴を如実に示す注目すべき電気特性や半田付け性などについて以下に述べる。

4.1 諸特性

主な特性を表1に示す。TEX-Bは、E種の耐熱性を有する汎用3層絶縁電線TEX-Eと特性比較をしても、種々の特性は遜色ないことが確認できる。また、スイッチング電源トランスに関する安全規格として、IEC 60950のAnnex U及びModified Annex Cについても、B種の条件にて合格することが確認された。しかしながら、皮膜自身の強度という面から見ると、TEX-Bの被膜はエナメル線と異なり柔らかい。巻線時の張力等には十分な配慮が必要である。また、TEX-Bは半田付けが可能であるが、TEX-Eと比べると、半田浴温度を若干上げなければならない。

4.2 V-t特性

常温、商用周波数(50 Hz)におけるV-t特性を測定した結果を図2に示す。汎用3層絶縁電線TEX-Eと比較すると、TEX-Bの寿命時間は格段に長くなり、課電寿命の向上していることが確認された。これは、TEX-Bを構成する絶縁層の耐熱性が向上し、課電時に生じる発熱に耐えうる効果が現れたためと推定される。

4.3 部分放電開始電圧の温度依存性

正極矩形波: 10 kHz, パルス幅: 10 μs, 検出感度: 10 pCにて、部分放電開始電圧の温度依存性について測定した結果を図3に示す。TEX-Bは、定格温度は130 であるが、140 にて測定した場合でも、常温時と同レベルの部分放電開始電圧を

表1 TEX-BとTEX-Eの特性の比較
Comparison for characteristics of TEX-B and TEX-E

特性項目		TEX-B	TEX-E
寸法	導体径 (mm)	0.400	0.400
	仕上がり外径 (mm)	0.600	0.600
	皮膜厚 (mm)	0.100	0.100
絶縁破壊電圧 (kV _{rms})		26.0	23.4
半田付け性〔420〕 (秒)		< 10	3.0
半田付け性〔450〕 (秒)		5.0	-
ヒートショック (150 × 1 hr)		1D	1D
上昇軟化温度 (°C)		245	231
一方向摩耗 (N)		21.57	19.31
往復摩耗 (回)		260	285
静摩擦係数		0.11	0.085
密着性 露出 (mm)		4.0	< 0.5
耐薬品性	キシレン	4H	3H
	スチレン	3H	3H
IEC 60950	Annex U.2.1	Pass	Pass
	Annex U.2.2	Pass	Pass
	Annex U.2.3〔E種〕	Pass	Pass
	Annex U.2.3〔B種〕	Pass	-
	Annex U.2.4	Pass	Pass
	Modified Annex C〔E種〕	Pass	Pass
	Modified Annex C〔B種〕	Pass	-

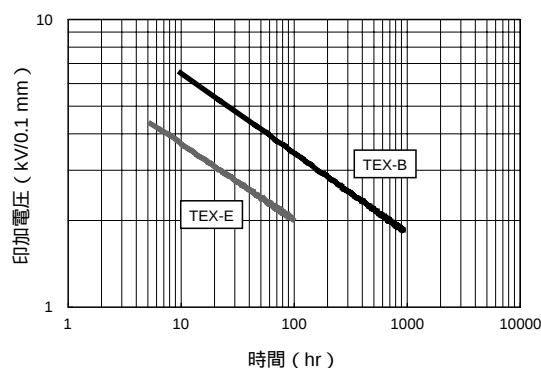


図2 TEX-BとTEX-EのV-t特性 (at 50 Hz)
Comparison of V-t characteristics between TEX-B and TEX-E

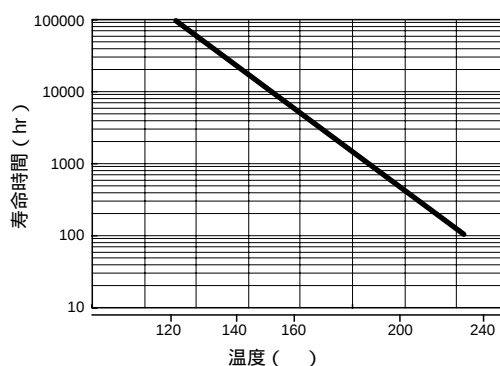


図4 TEX-Bの耐熱寿命
Temperature index for TEX-B

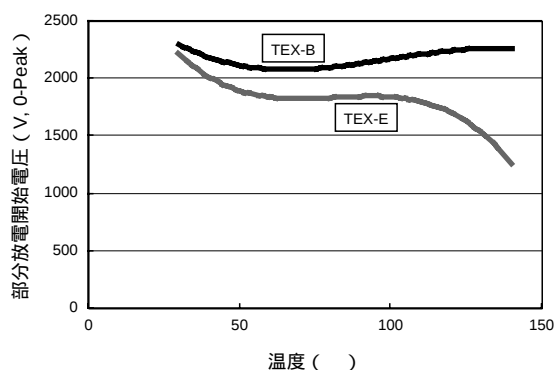


図3 TEX-BとTEX-Eの部分放電開始電圧 (at 10 kHz)
Comparison of partial discharge inception voltage between TEX-B and TEX-E

維持していた。その一方、汎用3層絶縁電線TEX-Eでは、高温になるほど、部分放電開始電圧値の低下する傾向が見られた。これらの現象には、絶縁層に適用した樹脂のガラス転移温度 (T_g) や化学構造が関係していると考えられる。

4.4 耐熱寿命特性

エナメル線の耐熱温度指数を求める規格 (IEC 60172) に準じて測定した結果を図4に示す。アレーニウス・プロットによって求めた20,000時間に相当する耐熱温度指数は耐熱B種レベルを満足していることが分かる。

4.5 半田付け性

TEX-B (40 mm 長) を半田浴に数秒浸漬し、半田の付着した長さを測定した試験では、450 °C の場合に、5秒以内に30 mm



写真2 半田付け後のTEX-B
TEX-B after soldering

表2 TEX-Bの安全規格取得状況
Safety codes certified for TEX-B

認定機関	国名	取得規格
CSA	Canada	CAN/CSA-C22.2 No.1-98 CSA Std C22.2 No.66-1988 CAN/CSA-C22.2 No.223-M91 No.234-M90 No.60950-00 CAN/CSA-E60065-00 IEC No.60065 (6 th Ed) UL 506 1310 1585 1411 1950, 3 rd Ed
NEMKO	Norway	IEC60950 3 rd IEC60950/FDIS 4 th Ed IEC60065/FDIS 7 th Ed
UL	USA	UL1950 (OBJT2)
VDE	Germany	DIN EN 60950 (VDE 0805):2001-12 EN 60950:2000 IEC 60950:1999+corr.2000 modif. DIN EN 60065:1998 (VDE 0860:1999-10) IEC 60065:1998 mod.
BSI	UK	BS EN60065:1998 IEC 60065 6 th Ed:1998 BS EN 60950:2000

以上の半田が付着するという結果（表1）が得られており、汎用3層絶縁電線TEX-Eに比較するとやや劣る。しかしながら、TEX-Bをフェノール樹脂製ボビン材料に巻き付けた状態で半田付け性を確認したところ、ピンに半田が付着したあとの溶け上がり状態では、電線側に対するダメージもほとんどなく、信頼性の高い半田付けが可能であることが確認された（写真2）。

5. 安全規格の取得

TEX-Bは各国の認定機関から、スイッチング電源トランスに関する安全規格の認定を受けている（表2）。

2001年10月にCSA（カナダ）から認定を受け、つづいて2001年11月にNEMKO（ノルウェー）、12月にUL（米国）、更に2002年1月にはVDE（ドイツ）、3月にBSI（英国）から認定を受けた。

6. おわりに

半田付け可能なB種の耐熱性を有する耐熱絶縁電線TEX-Bを開発し、電線として、スイッチング電源トランスに関する重要な安全規格の認定を、各国の認証機関から受けた。今後は、ボビン材料等を含めた絶縁システム（UL1446: Systems of Insulating Materials - General）の取得を行っていく予定である。

また、スイッチング電源の技術動向では、今後、更なる薄型化や高効率化、高密度実装化等が積極的に検討されつつある。当社の3層絶縁電線も幅広い視野にたち、様々な分野でその役割を果たしていきたいと考えている。