

F種ハイボンエナメル線の接着性

Bonding Characteristics of Class-F High-bond Enameled Wires

野口 宏* 宮寺 康夫** 沢井 昭一***
Hiroshi Noguchi Yasuo Miyadera Shoichi Sawai

要 旨

自己融着エナメル線としては従来から接着層としてポリビニルブチラールを用いたものがテレビの偏向コイルなどに用いられているが、接着層が熱可塑性で耐熱性に乏しい。そこで電工作業の簡略化に寄与するため、ポリエステルイミドまたはポリアミドイミドエナメル線の外周に熱硬化性接着層を被覆したF種以上の耐熱性をもつ自己融着エナメル線を開発した。

このエナメル線はコイルに巻いた後、180~200℃、10分程度の加熱処理で強固に接着する。さらに溶剤浸せきを併用すれば、これより低い温度で良好な接着が得られる。高温における接着強度はF種コイルワニス処理品と同程度であり、長期熱劣化による接着強度の低下は小さい。またこのエナメル線の保管安定性は良好である。

1. 緒 言

自己融着エナメル線 (Self-bonding enameled wire) はエナメル線の絶縁層の上に接着剤を塗布して一様な接着層皮膜を形成させたもので、従来から接着剤としてポリビニルブチラールやポリアミドなどを用いたものがテレビの偏向コイルやスピーカのボイスコイルに用いられてきた。

自己融着エナメル線は接着層をもっているため、コイルに巻いた後、加熱するだけで線間の接着ができ、短時間にコイルを固めることができるのでワニス処理工程は不要である。したがって自己融着エナメル線をモートルやトランスの巻線に使用できれば、コイルのワニス含浸、乾燥などの電工作業が簡略化でき、工程の短縮、原価の低減が図れる。しかし従来の自己融着エナメル線に用いられていた接着剤は熱可塑性で、耐熱性に乏しいため静止機器に使用されるにとどまっていた⁽¹⁾。

そこで筆者らは、現在ワニス処理に用いられているコイルワニスと同程度の特性をもつ耐熱接着剤の開発を進め、F種以上の耐熱性をもつ自己融着エナメル線としてポリエステルイミドまたはポリアミドイミドエナメル線の外周に熱硬化性耐熱接着剤を被覆したものを開発した。

次にF種自己融着エナメル線 (以下、F種ハイボン線と略称する) の接着特性に関する実験結果を取りまとめて報告する。

2. F種ハイボン線の構造と一般特性

2.1 F種ハイボン線の構造

自己融着エナメル線に使用される接着剤は可とう性に富み、コイルの機械巻線に耐え、可使時間が長く、しかも短時間の加熱で接着でき、高温でじゅうぶんな接着力をもつことが要求される。

そこで筆者らは耐熱接着剤として反応性ある官能基を側鎖にもつ高分子量のポリマーと、その硬化剤とを比較的低温でBステージ状態の塗膜としておき、コイルに巻いて加熱することにより融着硬化させることにした。

F種ハイボン線は表1に示すように耐熱エナメル線をベースエ

表1 F種ハイボン線の構造

構成	内 容	寸 法
導 体	CuまたはAl	任 意
絶 縁 層	ポリエステルイミド ポリアミドイミド等	3~1種
接 着 層	熱硬化性耐熱接着剤	仕上がり 2~0種

表2 F種ハイボン線の一般特性

項 目	特 性	
導 体 径 (mm)	0.792	
皮 膜 厚 ()内は接着層厚	0.048 (0.016)	
仕 上 ぎ 外 径 (mm)	0.888	
密 着 性	良 好	
絶 縁 破 壊 電 圧 (V)	13,700	
可 とう 性 (巻付)	1倍径良	
ねん回はく離数 (回)	96	
耐 熱 劣 化 性 (200℃, 6h)	1倍径良	
耐 熱 衝 撃 性 (200℃, 1h)	1倍径良	
耐 熱 軟 化 性 (300℃, 6h)	良 好	
耐 摩 耗 性 (回)	200以上	
耐溶剤・薬品性 (常温, 24h)	常 態	5 H
	ベンゾール	5 H (接着層は変色)
	アルカリ (1%)	5 H
	硫酸 (比重 1.2)	5 H

ナメル線とし、この線の上に耐熱接着剤を塗装したものである。

本研究に使用したF種ハイボン線はいずれも1種皮膜厚のポリアミドイミドエナメル線に耐熱接着剤を被覆して0種に仕上げたものである。

2.2 F種ハイボン線の一般特性

導体径0.8mmのF種ハイボン線の一般特性は表2に示すとおりである。接着層がBステージ状態であるため加熱処理前の耐溶剤性、耐摩耗性は下層皮膜よりやや悪いが、そのほかの特性はベースエナメル線の特性と同じである。

* 日立電線株式会社電線工場

** 日立製作所日立研究所

*** 日立化成工業株式会社山崎工場

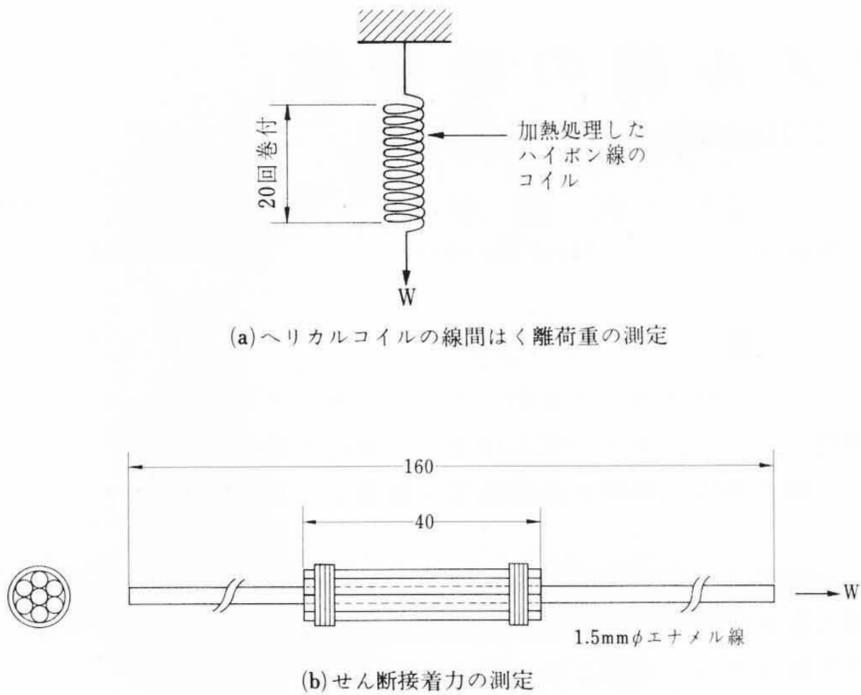


図1 ハイボン線の接着強度の測定法

3. F種ハイボン線の接着強度

3.1 ハイボン線の接着方法と接着強度の測定法

ハイボン線のコイルを固める方法としては一般に加熱だけによる接着と、溶剤浸せきを併用する方法のいずれかがとられている。後者はコイルを溶剤に短時間浸せきした後に加熱処理を行なう方法で、あらかじめ溶剤で外側の接着層が膨潤軟化しているため、加熱だけで接着するよりも低い温度で良好な接着が得られる。

本研究においてはF種ハイボン線をコイルに巻いて加熱処理した試料の接着強度をいろいろな条件で測定したが、コイルの接着方法は恒温槽(そう)中で加熱する方法によった。なおコイルの加熱処理の際、「おさえ」は用いなかった。

接着強度の測定方法としてはヘリカルコイルの両端で線を引っ張って線間のはく離荷重を測定する方法と、たばねた試料のせん断接着力を測定する方法を用いた。試験法の概略は図1に示すとおりである。

なおコイルの固着として必要な接着強度の大きさについてははっきりした数値がないので、現在使用実績のあるF種コイルワニスと比較することにより使用に耐えるかどうか判定することにした。

3.2 加熱処理条件と接着強度

供試コイルは導体径0.8mmのF種ハイボン線を5mm径の巻付棒に20回密に巻いたヘリカルコイルで、これを130、150、…220°Cの空气中でそれぞれ10分加熱処理した後、常温でジョッパ形引張試験機を用い、コイルの両端を引張り線間のはく離荷重(接着強度)を測定した。その結果(コイルの $\frac{2}{3}$ はく離荷重)は図2に示すとおりである。

F種ハイボン線は加熱処理温度を高くするとほぼ直線的に接着強度が大きくなり、加熱処理条件が200~220°C、10分のとき最大となる。

加熱温度を一定として加熱時間をかえた場合の接着強度は図3に示すとおりである。短時間の加熱で大きな接着力が得られる。加熱時間が長いほど接着強度は大きくなるが、60分でほぼ飽和する。これは硬化反応が比較的短い時間で完結するためと思われる。

F種ハイボン線はコイルに使用される他の絶縁材料の耐熱度も考慮すると、実用上は180°C、10~30分程度の加熱処理が適当と考える。

また溶剤浸せきを併用すると加熱処理温度を大幅に下げることができる。すなわち同じヘリカルコイルを用い、このコイルを常温のメタノール中に30秒浸せきし、10分程度空气中に放置した後100、120、…180°Cでそれぞれ10分の加熱処理を行ない、常温で

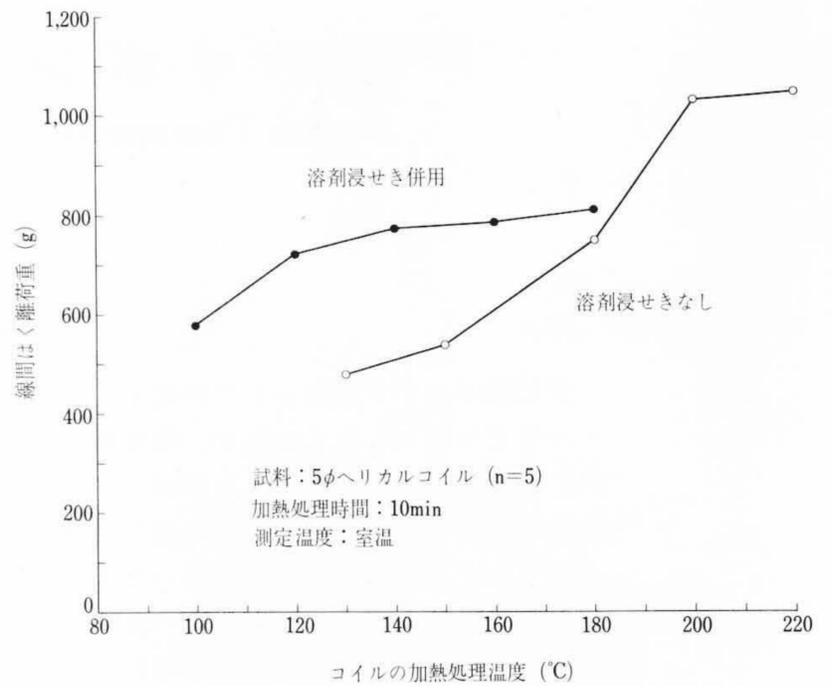


図2 加熱処理条件と接着強度

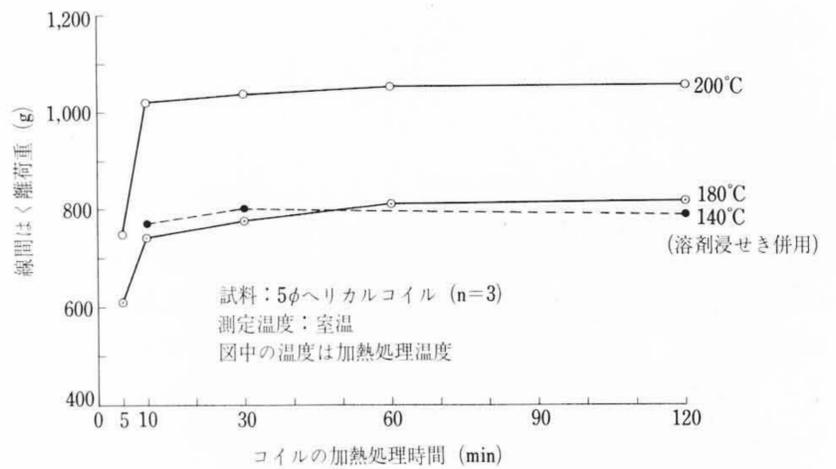


図3 加熱処理時間と接着強度

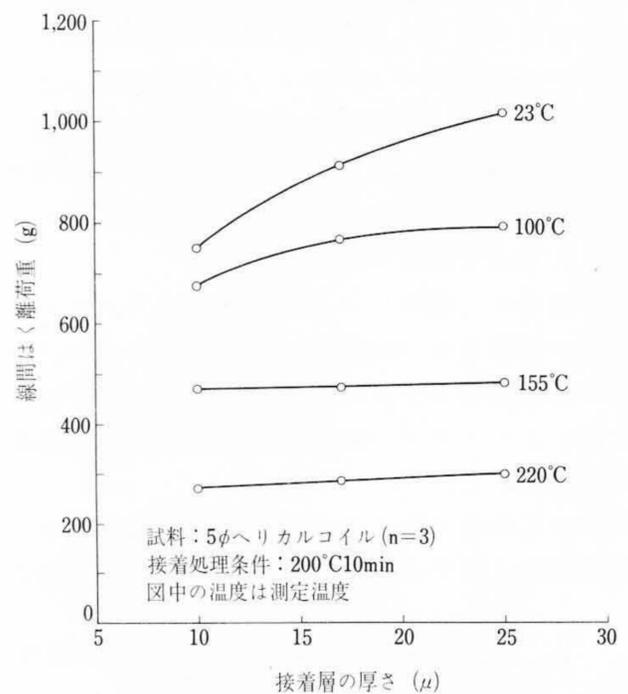


図4 接着層の厚さと接着強度

コイルの線間のはく離荷重を測定した。溶剤浸せきした場合140°C、10分の加熱処理で、溶剤を使わないで180°C、10分加熱処理した場合に匹敵する値を示している。

このように自己融着エナメル線のコイルを接着する場合に溶剤浸せきと加熱を併用すると加熱温度をかなり下げることができる。これは溶剤浸せきにより接着層が膨潤し、軟化溶解が比較的低温で起こりやすくなるためである。しかし大きいコイルの場合、溶剤浸せきに時間がかかり、あまり長時間に及ぶときは接着層のはく離、溶解が起こり、好ましくないため作業条件の選定に注意が必要である。

3.3 接着層の厚さと接着強度

自己融着エナメル線は用途に応じて絶縁層、接着層の厚さに種類のものがある。そこで絶縁層厚さが一定のベースエナメル線について接着層の厚さを種々かえたものを作り、接着強度を検討した。

供試線は導体径0.8mmのF種ハイボン線で、接着ワニスの塗布回数を変えることによって接着層の厚みの異なるものを作った。5φヘリカルコイルを用い、加熱処理条件200°C、10分の場合について線間はく離荷重を測定した。その結果は図4に示すとおりである。

いずれの場合も接着層が厚いほど接着強度は大きくなるが、測定温度が高くなるとその差は小さくなる。スペースファクタとのかねあいを考えると従来の0種仕上げ程度が標準と考える。

3.4 高温域の接着強度

加熱接着したF種ハイボン線のコイルとワニス処理したコイルの接着強度を常温から250°Cの範囲にわたり測定した。

供試コイルは導体径0.8mmのF種ハイボン線の5φヘリカルコイルを200°C、10分加熱処理したものと、ベースエナメル線の5φヘリカルコイルをワニス処理したものである。コイルワニスとしては現在F種機器に比較的多く使用されているイソフタル酸アルキドフェノール系とエポキシエステル系のワニスを選んだ。ワニス処理はコイルの上下を逆にして規定の乾燥条件で2回行なったが、ワニス付着量は0.080mm厚であった。なおハイボン線の接着層は0.016mm厚である。

これらのコイルについてオートグラフIM-100形を用い、常温から250°Cまでの接着強度を測定した。その結果は図5に示すとおりである。

F種ハイボン線コイルも、ワニス処理コイルも、ともに予想どおり温度が上昇すると接着強度は低下し、F種の温度155°C付近では500g程度になる。F種ハイボン線の常温の接着強度はワニス処理コイルの半分以下であるが、高温域においてはワニス処理コイル以上の接着強度をもっている。このことからコイルの固定という点ではF種ハイボン線の耐熱性はF種ワニス処理品と同等以上といえる。

3.5 熱劣化後の接着強度

加熱接着したF種ハイボン線とワニス処理したベースエナメル線を高温で熱劣化し、接着強度の変化を測定した。

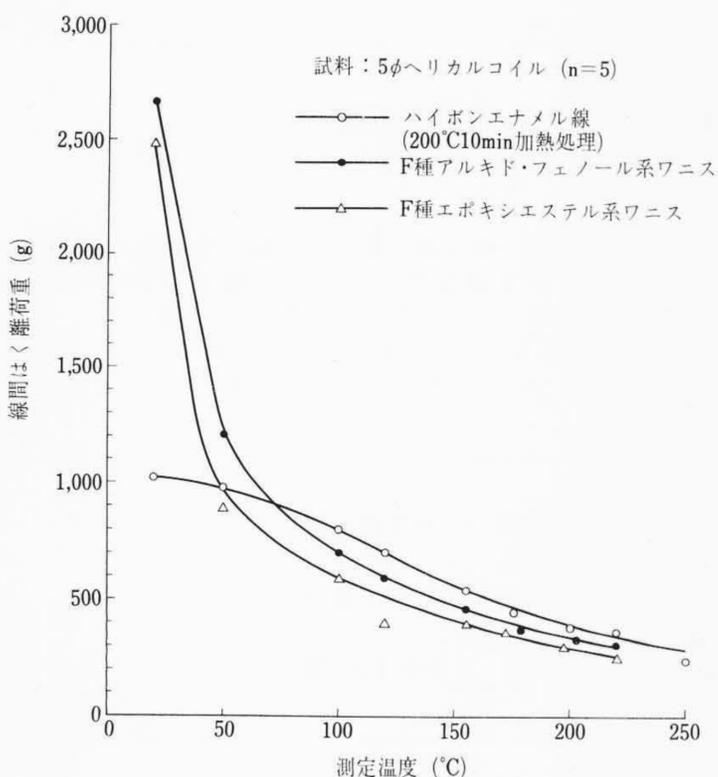


図5 高温域の接着強度

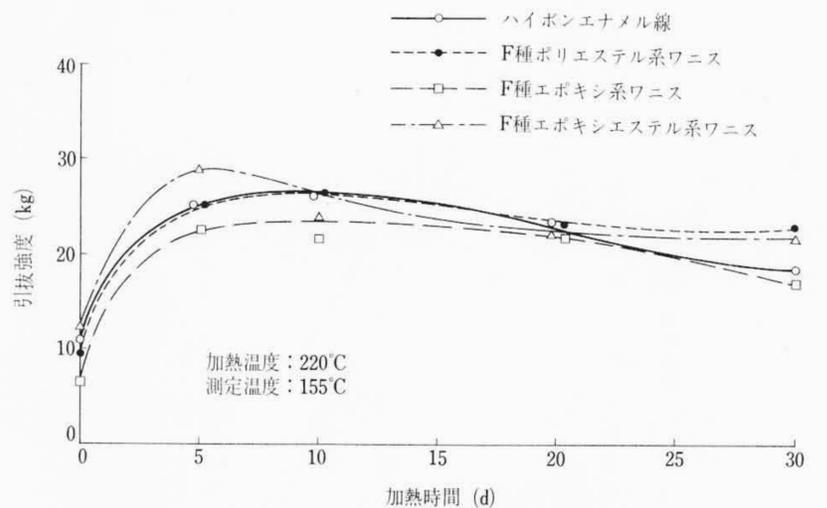


図6 加熱劣化後の接着強度

供試料は導体径1.5mmのF種ハイボン線を図1(b)のように長さ80mmの線2本を突き合わせたものを中心に、長さ40mmの線6本を用いてたばねたもので、これを200°C、10分加熱処理したものと、ベースエナメル線を同様に束にした後、ワニス処理したものである。コイルワニスとしては現在F種に使われているポリエステル系、エポキシ系、エポキシエステル系ワニスを選んだ。ワニス処理はそれぞれ規定の乾燥条件で2回行なわれた。ワニス付着量は試験片1個あたり、それぞれ0.32、0.23、0.16gであった。なおF種ハイボン線の接着剤は0.03gである。

これらの試験片を180°C、200°C、220°Cの恒温槽中でそれぞれ長時間加熱劣化した後、せん断接着力（中心の線を引き抜くに必要な力）を室温と155°Cで測定した。加熱温度220°C、劣化時間30日、測定温度155°Cの結果は図6に示すとおりである。

熱劣化初期においてはワニスの硬化が進み接着力の増加が認められる。F種ハイボン線の熱劣化によるせん断接着力の低下傾向はエポキシ系ワニス処理品と同じで、その接着力はエポキシ系ワニスよりやや大きい。

4. F種ハイボン線の寿命

4.1 保管寿命 (Shelf Life)

自己融着エナメル線は製造後少なくとも室温で6ヶ月間は初期の接着強度を保持していることが好ましい。

そこで製造直後の導体径0.8mmのF種ハイボン線をボビンに巻いた状態で室温と60°Cの恒温槽中に保管し、1ヶ月ごとに取り出して5φヘリカルコイルを作り、200°C、10分加熱処理した後、常温で接着強度を測定した。その結果は図7に示すとおりである。

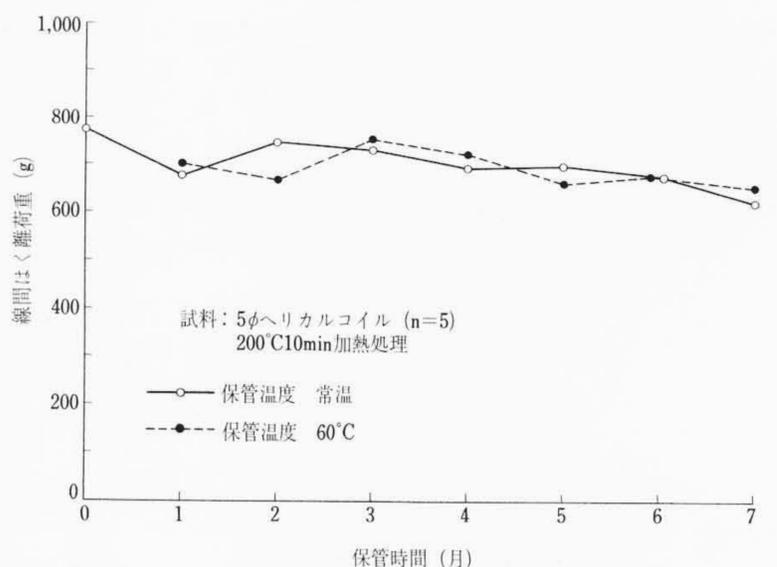


図7 ハイボンエナメル線の保管寿命 (Shelf Life)

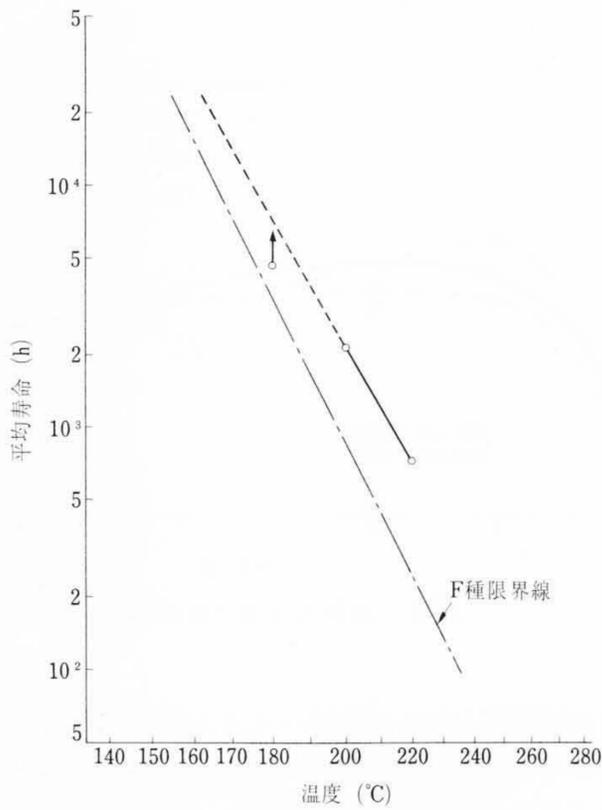


図8 F種ハイボン線の寿命

4 個月ごろからわずかずつ低下する傾向が認められるが、60°C に 7 個月間保管した後もボビンに巻かれた状態で線間の粘着もなく、接着力も高い値を保持していることからみて、F種ハイボン線の保管安定性は良好であると言える。

4.2 耐熱寿命

耐熱エナメル線は適合性の良くないコイルワニスと組み合わせで使用されると極端に寿命が短くなることがある。そこでF種ハイボン線についてASTM D-2703-64Tの試験法により耐熱寿命試験を行なっている。

導体径1.0mmのF種ハイボン線のより合せ試料を作り、AC3,000Vで初期耐電圧試験を行ない、合格した試験片を各劣化温度ごとに20本一組として試験に使用した。

試験途中であるが破壊までの平均寿命時間は図8に示すとおりである。試験が終わった200°Cと220°Cとの平均寿命時間から求めた20,000時間の耐熱温度は165°Cである。これは杉江氏⁽²⁾らが求め

たより合せ試験法による無溶剤エポキシワニスとポリアミドイミド線との組合せの耐熱温度とほぼ同じ値である。以上のことからF種ハイボン線用接着剤とポリアミドイミド線との組合せ、すなわちF種ハイボン線はF種絶縁組織としてじゅうぶん使用可能であることがわかる。

なおF種ハイボン線を用いてモータレット試験を実施している。

5. 結 言

新しく開発したF種ハイボン線について接着処理条件と接着強度、常温から250°Cまでの接着強度の変化、熱劣化後の接着強度の変化、ワニス処理との比較などについて検討した。結果を要約すると次のとおりである。

- (1) F種ハイボン線は180~200°C、10分程度の加熱処理で強い接着強度を示した。さらに溶剤を併用すればこれより低い温度においてじゅうぶんすぐれた接着が得られる。
- (2) F種ハイボン線の接着強度は一般に接着剤が厚いほど大きい。しかし高温になるとその差は小さい。
- (3) F種ハイボン線のコイルと現用F種コイルワニスで処理したコイルについて常温から250°Cまでの接着強度を測定した結果、F種ハイボン線は高温域においてワニス処理品以上の接着力を示した。
- (4) F種ハイボン線とF種コイルワニスで処理した試験片について高温の長期熱劣化試験を行ない、せん断接着力を測定した結果、エポキシ系ワニスと同程度の耐熱性をもつことがわかった。
- (5) F種ハイボン線の保管安定性は良好である。
- (6) より合せ試験法により求めたF種ハイボン線の耐熱度は165°Cで、F種絶縁組織としてじゅうぶん使用できる。

なお現在F種ハイボン線の実機による実用化試験を進めている。終わりに臨み終始ご指導いただいた関係各位にお礼申し上げる。

参 考 文 献

- (1) 外山：日立評論 44, 1751 (昭37-11)
- (2) 杉江：日立評論 53, 1186 (昭46-12)

第34巻	目 次	第 5 号
<ul style="list-style-type: none"> ・ グラフ／望ましき未来を開く ・ 解説／超高層時代の交通機関 ・ ルポ／400tの圧力容器つり込み <li style="padding-left: 20px;">／パ ナ ナ 倉 庫 <li style="padding-left: 20px;">／生 姜 の 促 成 栽 培 <li style="padding-left: 20px;">／岡 山 交 通 博 覧 会 	<ul style="list-style-type: none"> ・ インタビュー／無公害車と電気自動車 ・ 家電コーナー／気ままな手づくり一日曜大工のすすめ ・ 美術館めぐり／琉球博物館紹介 ・ 新製品紹介 ・ ホームサイエンス 	
発行所	日立評論社	東京都千代田区丸の内一丁目5番1号 郵便番号 100
取次店	株式会社 オーム社書店	東京都千代田区神田錦町3丁目1番地 郵便番号 101 振替口座 東京 20018番