

耐熱ハイボンエナメル線の接着性

Bonding Characteristics of Heat Resistant High-Bond Enameled Wire

外 山 泰 久* 高 橋 金 一*
Yasuhisa Toyama Kin'ichi Takahashi

内 容 梗 概

セルフボンディングエナメル線としては、従来からホルマール線またはポリウレタンエナメル線にポリビニルブチラールを被覆したものがテレビの偏向コイルなどに使われている。日立電線株式会社で新しく開発した耐熱ハイボンエナメル線はヒタエステル線の外側にエポキシ樹脂系の接着剤を被覆したものでコイルに巻いた後、150℃で1時間程度の加熱処理で強固に接着する。さらに、溶剤浸漬を併用すると上記よりも低い温度で良好な接着が得られる。また、高温における接着強度は従来のセルフボンディングエナメル線およびワニス処理よりもすぐれている。

新しい耐熱ハイボンエナメル線は従来の応用分野におけるコイルの耐熱性をたかめるとともに、各種マグネットコイル、回転機などに応用し電工作業の簡略化に寄与するものとする。

1. 緒 言

セルフボンディングエナメル線 (Self-bonding enameled wire) はエナメル線の外周に接着剤を被覆したもので、接着剤としてはポリビニルブチラール (以下PVBと略す) を用いたものがテレビの偏向コイルなどの Self-supported coil に従来から用いられている。

セルフボンディングエナメル線はコイルに巻いた後加熱するだけで線間の接着ができ、コイルを固めることができるのでワニス処理は不要である。したがって、セルフボンディングエナメル線をモータなどに使用できればコイルワニスの含浸などの電工作業がかなり簡略化され、かつコイルの内部までよく固着できるという利点がある。しかし、従来のセルフボンディングエナメル線に用いられている PVB は熱可塑性であり、耐熱性もあまり良くないので、許容温度上昇が低く、外力のかからない静止機器に使用されているが、回転機などのように温度上昇、遠心力、振動などの大きい機器のコイルには使用できない。

このような事情から、最近各メーカーで熱硬化形あるいは耐熱セルフボンディングエナメル線の製品化が行なわれている⁽¹⁾⁽²⁾。

日立電線株式会社で新しく開発した耐熱ハイボンエナメル線はヒタエステル線の外側にエポキシ樹脂系の耐熱性接着剤を被覆したもので (以下、この組み合わせを HBH-PEW の記号であらわす)、接着性、耐熱性において PVB を被覆した従来のセルフボンディングエナメル線よりすぐれている。

以下 HBH-PEW の接着特性に関する実験結果をとりまとめ報告する。

2. セルフボンディングエナメル線の接着方法と接着強度の測定法

エナメル線を電気機器に使用する場合、コイルに巻いた後ワニス処理を行なうのが普通である。ワニス処理の目的は、まず使用中にコイルがくずれたりしないように固めることであり、次にコイルの熱伝導率をよくして温度上昇を小さくするため線間の空げきにワニスを充てんすることである。さらにコイルの防湿、汚損に対する保護のためにも行なわれる。

これらのうち、コイルの固定にだけついて考えると、セルフボンディングエナメル線の使用はワニス処理に比べて有利である。すなわち、真空含浸を行なってもコイルの内部まで完全に固めるにはかなり長時間を要するが、セルフボンディングエナメル線を使用すれ

ば短時間の加熱処理で強固に接着する。

ただし、一般にワニス処理とセルフボンディングエナメル線の得失を比較するには、コイルの固定のほかに上記の熱伝導、防湿、汚損に対する保護の効果などを総合的に検討する必要がある。

セルフボンディングエナメル線のコイルを固める方法としては、通電加熱あるいは恒温槽、炉の中で加熱する方法すなわち、加熱だけによる接着と、溶剤浸漬を併用する接着法があり、一長一短である。

加熱だけの接着は簡単であり、従来から広く用いられているが、熱硬化形または耐熱形セルフボンディングエナメル線においては溶剤を併用する接着方法も行なわれているようである。

溶剤併用においては、コイルを溶剤に短時間浸漬した後、通電または恒温槽に入れて加熱処理を行なう。この方法はあらかじめ溶剤で接着剤が膨潤しているので通常加熱だけで接着するよりも低い温度でも接着は良好である。溶剤に浸漬するのはワニス含浸処理と似ているが、ワニス処理より簡単であり、かつコイル内部の固着は簡単な比較だけではワニス処理よりもすぐれている。また、普通の加熱よりも低温で処理できることも特長である。さらに、速乾性のワニスをまぜた溶剤を使用することもある。この方法は鉄心のさび止め保護の効果もある。

本研究においてはハイボンエナメル線をコイルに巻いていろいろの条件で加熱処理した試料の接着強度を測定したが、コイルの接着法は加熱だけによるものを主とし、溶剤浸漬を補助手段と考えた。

コイルワニスの接着強度および測定方法については従来よりかなり研究されており、検討結果も発表されているが、セルフボンディングエナメル線に関しては接着強度の測定結果はほとんど発表されていない。D. L. McClenahan 氏⁽³⁾は J. F. Dexter 氏⁽⁴⁾のワニス処理したヘリカルコイルの曲げ破断荷重を測定している。この方法は、“Dow Corning Bonding Test” と呼ばれ、測定値のバラツキが少なく、再現性がよいためこの方面の研究に広く使われている。

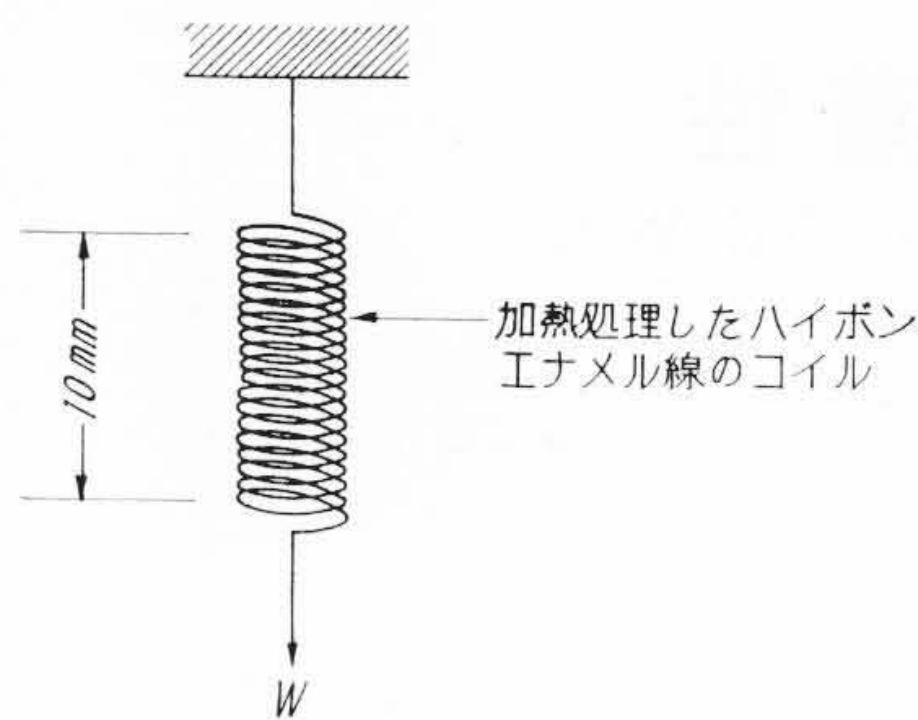
本研究はワニス処理に代わるセルフボンディングエナメル線を目的としたものであるから、コイルワニスの接着強度の検討に用いられているコイルの曲げ破断荷重を測定する方法を主体とした。このほか、同様のヘリカルコイルの両端で線を引張って線間のはく離荷重も測定し、これらを比較検討した。試験法の概略を第1図に示す。

3. ハイボンエナメル線の接着強度

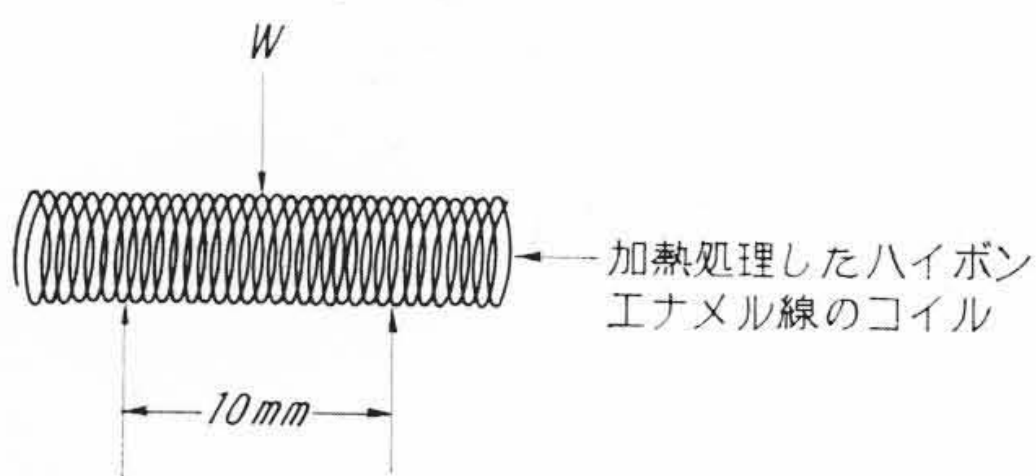
3.1 試 料

本研究に使用したハイボンエナメル線はいずれも2種のPEW(導

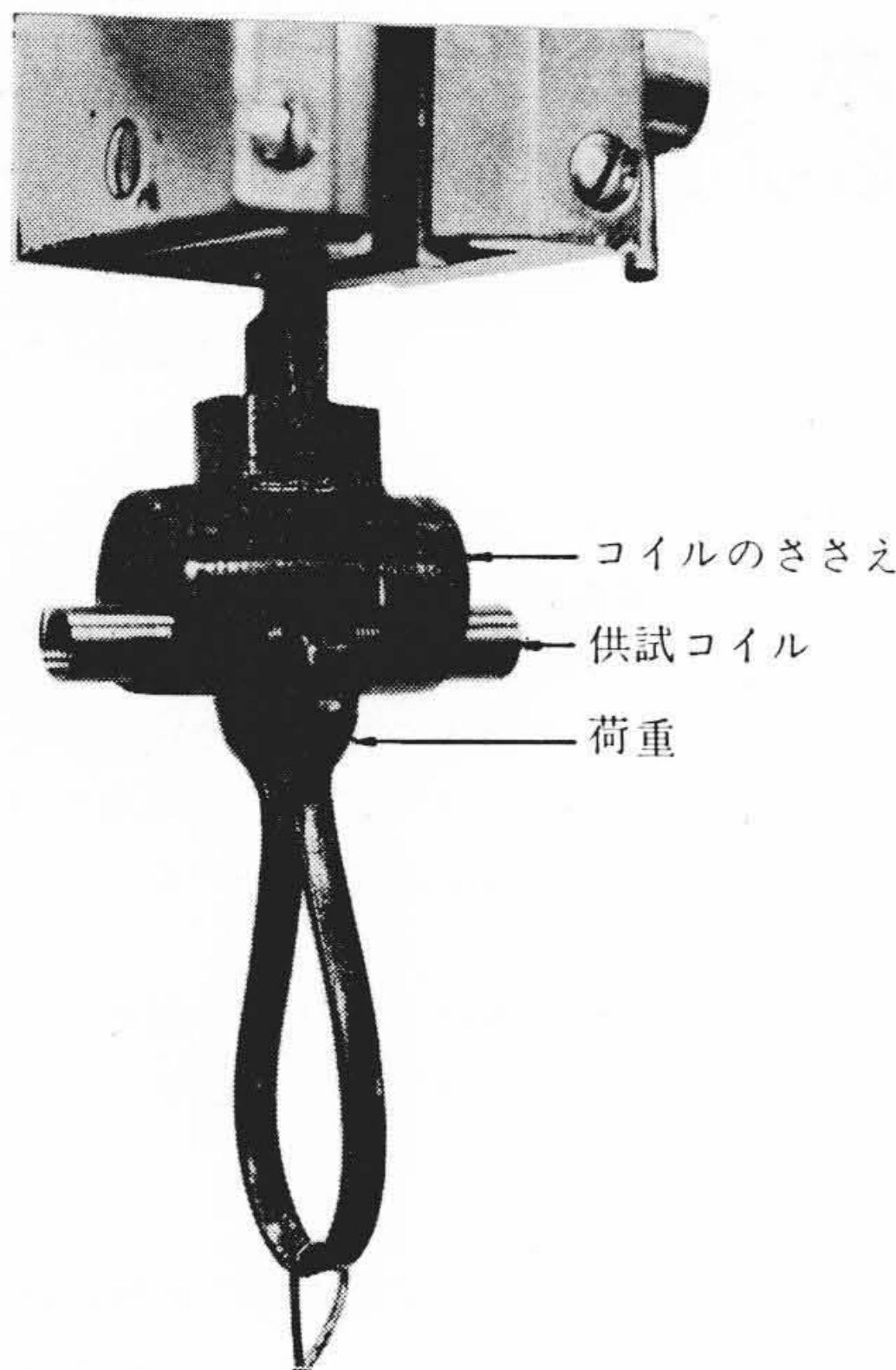
* 日立電線株式会社電線工場



ヘリカルコイルの線間はく離荷重の測定



ヘリカルコイルの曲げ破断荷重の測定

第 1 図 ハイボンエナメル線の接着
強度の測定法第 2 図 ハイボンエナメル線の接着
強度の測定 (ヘリカルコイルの曲
げ破断荷重の測定)

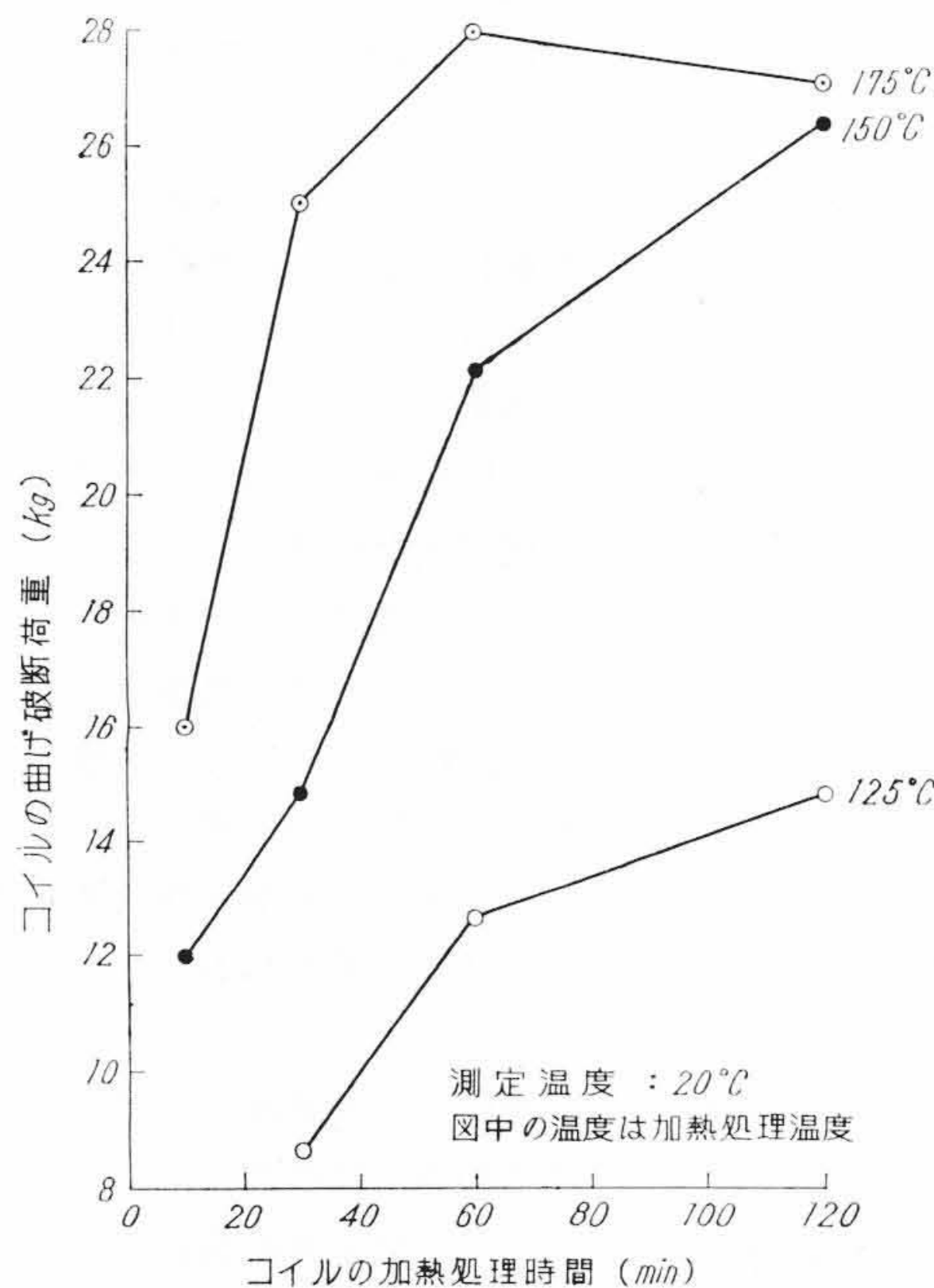
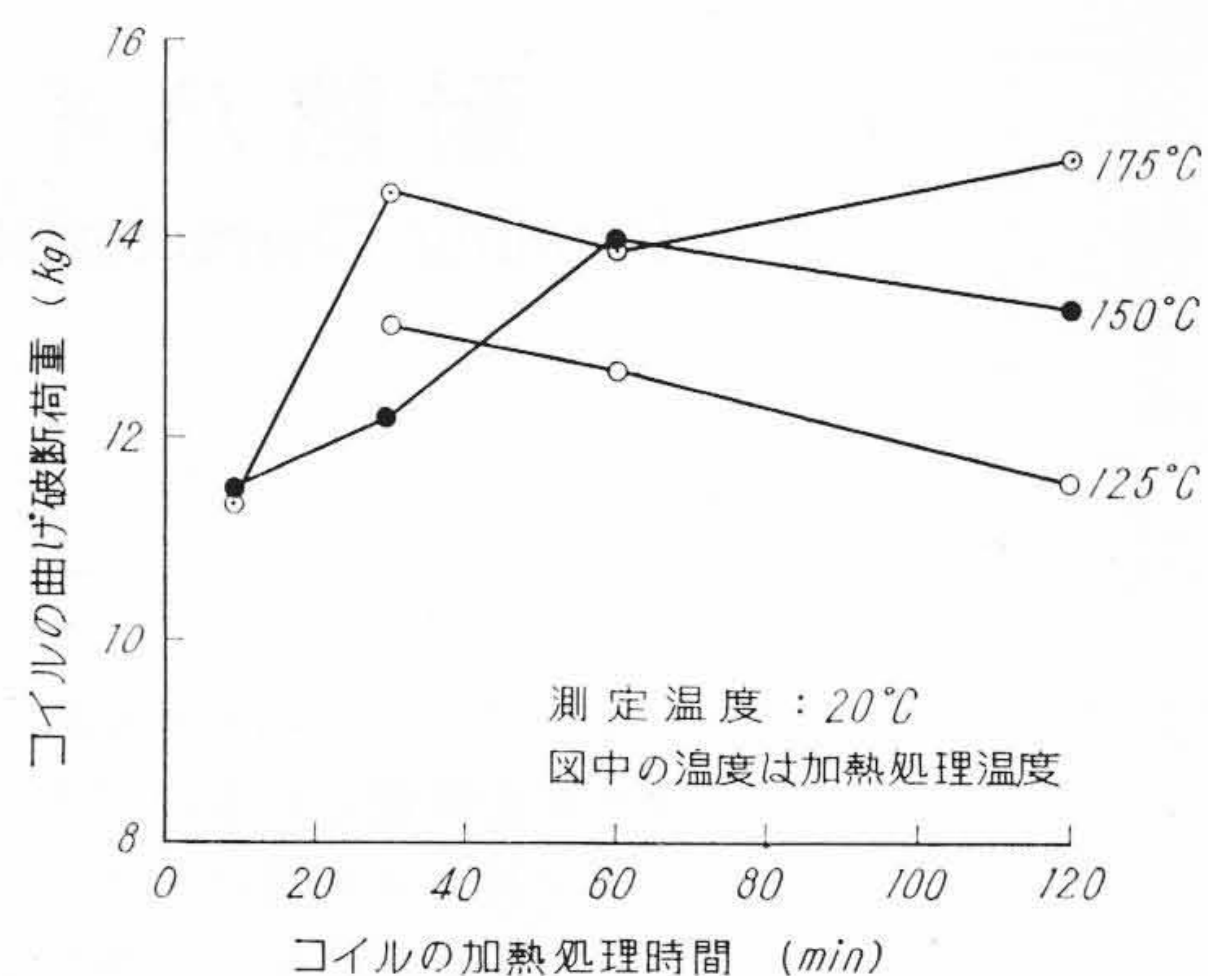
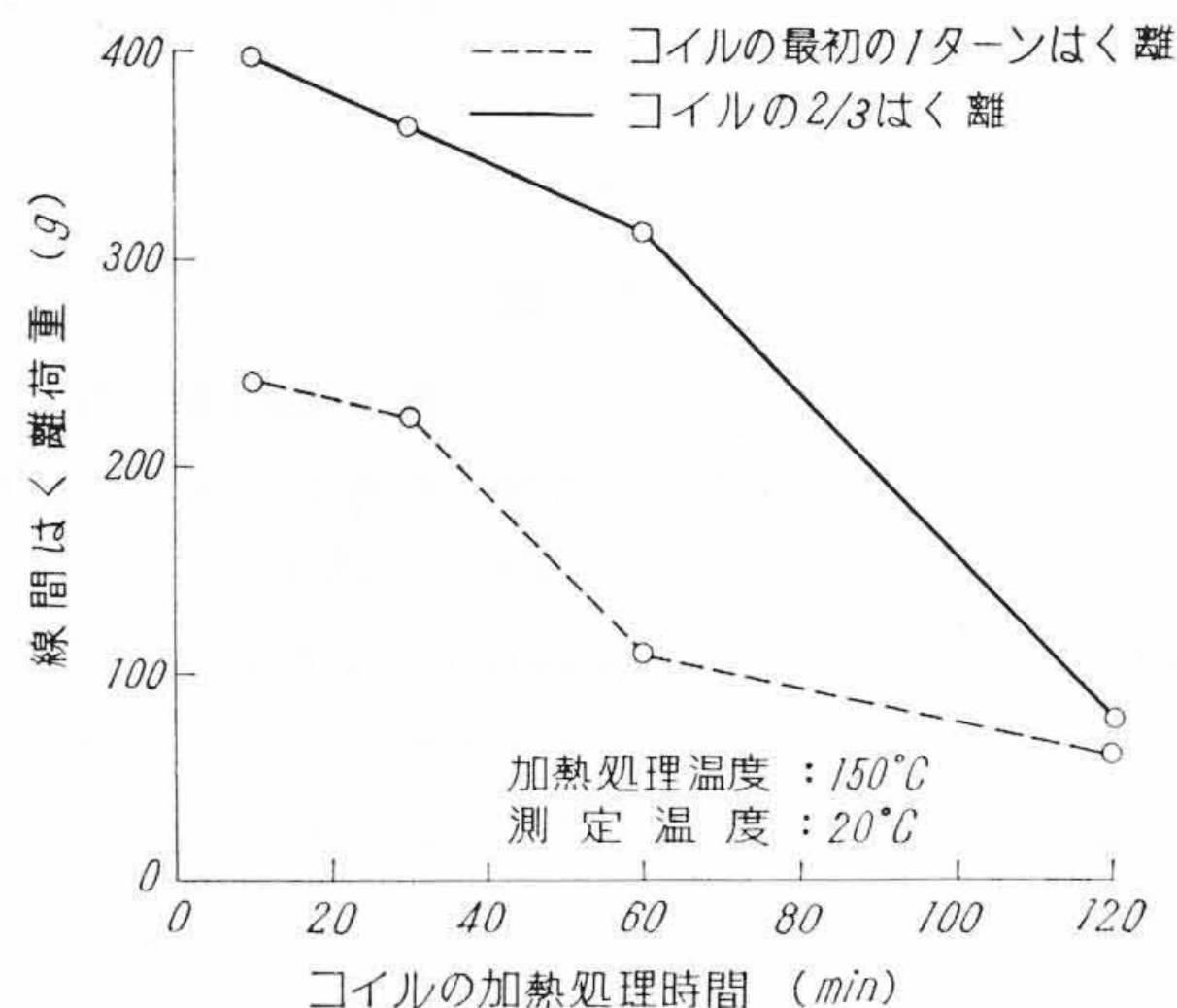
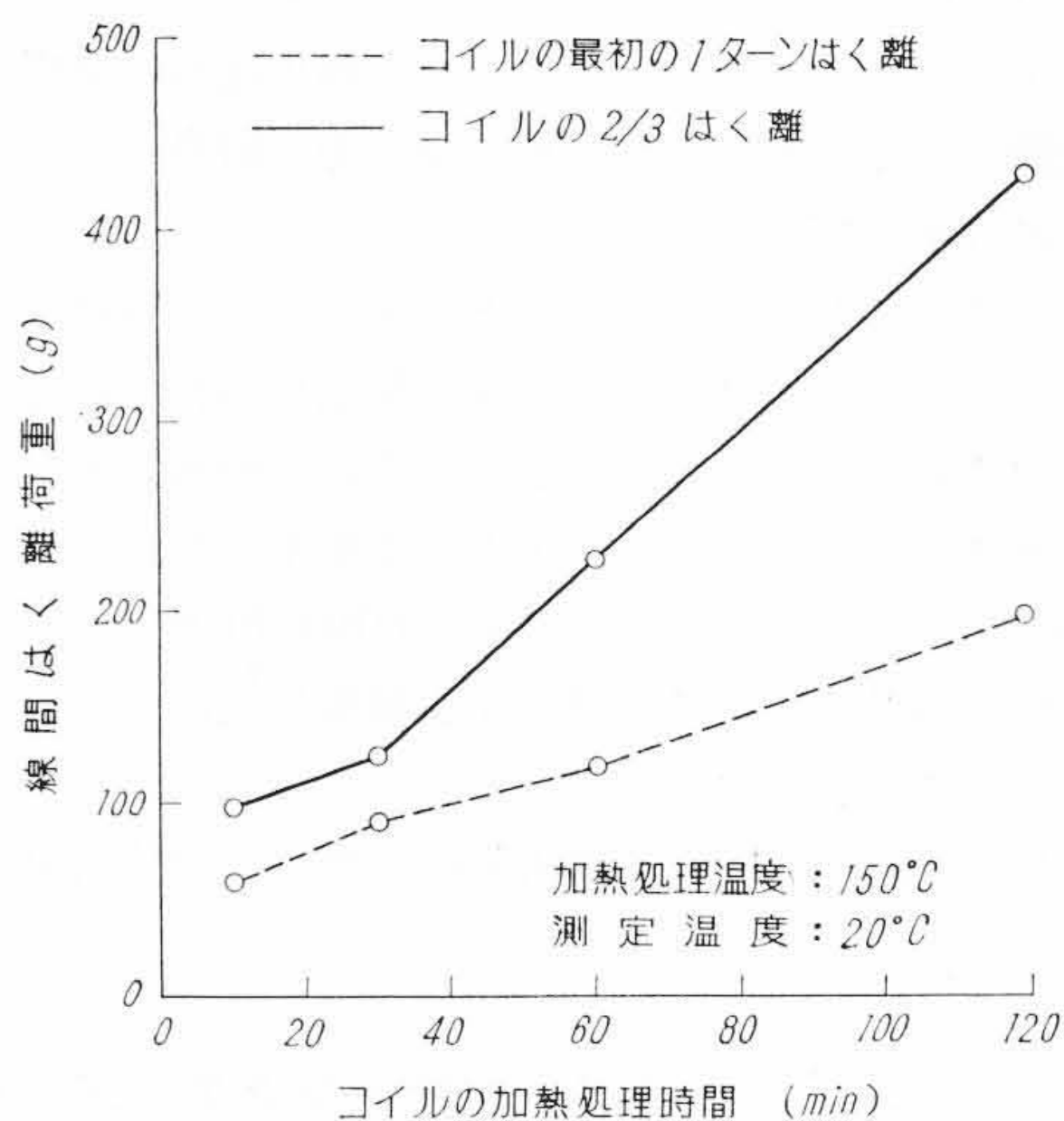
体径 0.5 mm) に接着剤を被覆して
O 種に仕上げたものでエポキシ樹
脂系接着剤を被覆した HBH-
PEW と、PVB を被覆したもの(以
下この組み合わせを HBL-PEW の
記号であらわす) である。

3.2 加熱処理条件と接着強度 (その 1)

供試コイルはハイボンエナメル
線を 5 mm 径の巻付棒に 40 回密に
巻いたヘリカルコイルで、これを
125, 150, 175°C の空气中でそれ
ぞれ 10 分ないし 2 時間加熱処理し
た後第 2 図に示すように引張試験
機でコイルの曲げ破断荷重を測定
した。結果は第 3 図および第 4 図
に示すとおりである。なお、本研
究ではコイルの加熱処理の際おさ
えは用いなかった。

第 3 図および第 4 図の結果は、
PVB を被覆した HBL-PEW は加

熱処理の温度、時間にほとんど関係なくほぼ一定の接着強度 (コイ
ルの曲げ破断荷重) を示しているが、HBH-PEW は加熱処理の温度
が高いほど、また時間が長いほど接着強度は大きくなる傾向を示し
ている。これらの差は、PVB の接着が単なる加熱融着であるのに対し
て HBH-PEW のエポキシ樹脂系接着剤はいわゆる熱硬化形であ
ることによると考えられる。しかし、あまり高温で長時間の加熱処
理を行なうと硬化が進みすぎて劣化の影響があらわれることも考え
られる。さらに、コイルに使用されるほかの絶縁材料の耐熱性も考
慮すると実用上は 150°C-1 時間程度の加熱処理が適当と考える。
150°C-1 時間の加熱処理で HBH-PEW は HBL-PEW の約 1.5 倍の
接着強度を示している。

第 4 図 HBH-PEW の接着強度、加熱処
理温度、時間の影響第 3 図 HBL-PEW の接着強度、加熱処
理温度、時間の影響第 5 図 HBL-PEW の接着強度、加熱処
理時間の影響第 6 図 HBH-PEW の接着強度、加熱処
理時間の影響

3.3 加熱処理条件と接着強度 (その 2)

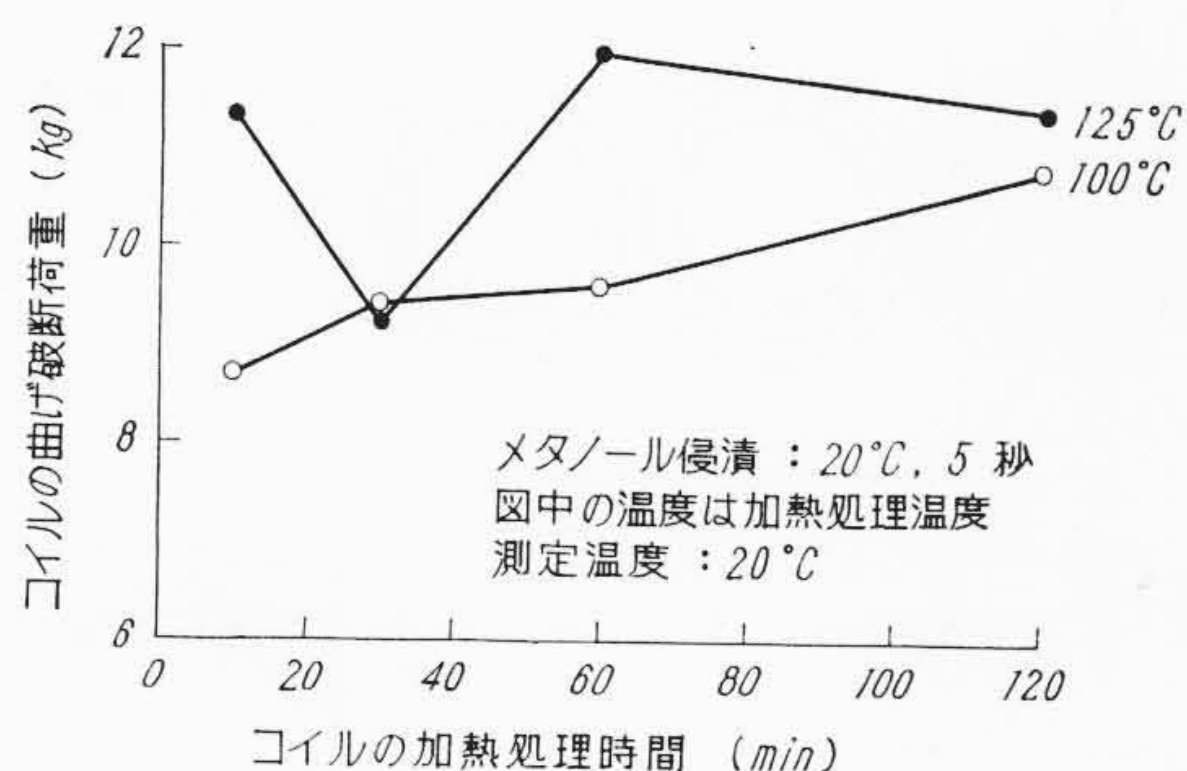
次に供試ハイボンエナメル線の線間はく離荷重を第 1 図の方法で
測定した。すなわち、ハイボンエナメル線を 8 mm 径の巻付棒に密
に 20 回巻いてヘリカルコイルとし、150°C で 10 分ないし 2 時間加
熱処理した後、引張試験機で接着強度 (線間はく離荷重) を求めた。
結果は第 5 図および第 6 図に示すとおりである。この場合、最初
にはく離する荷重とはコイルの端の 1 ターンがはく離する荷重で、 $\frac{2}{3}$
はく離は同様に順次線間がはく離し、コイルの $\frac{2}{3}$ がはく離したとき
の荷重である。

第1表 メタノール浸漬時間と接着強度

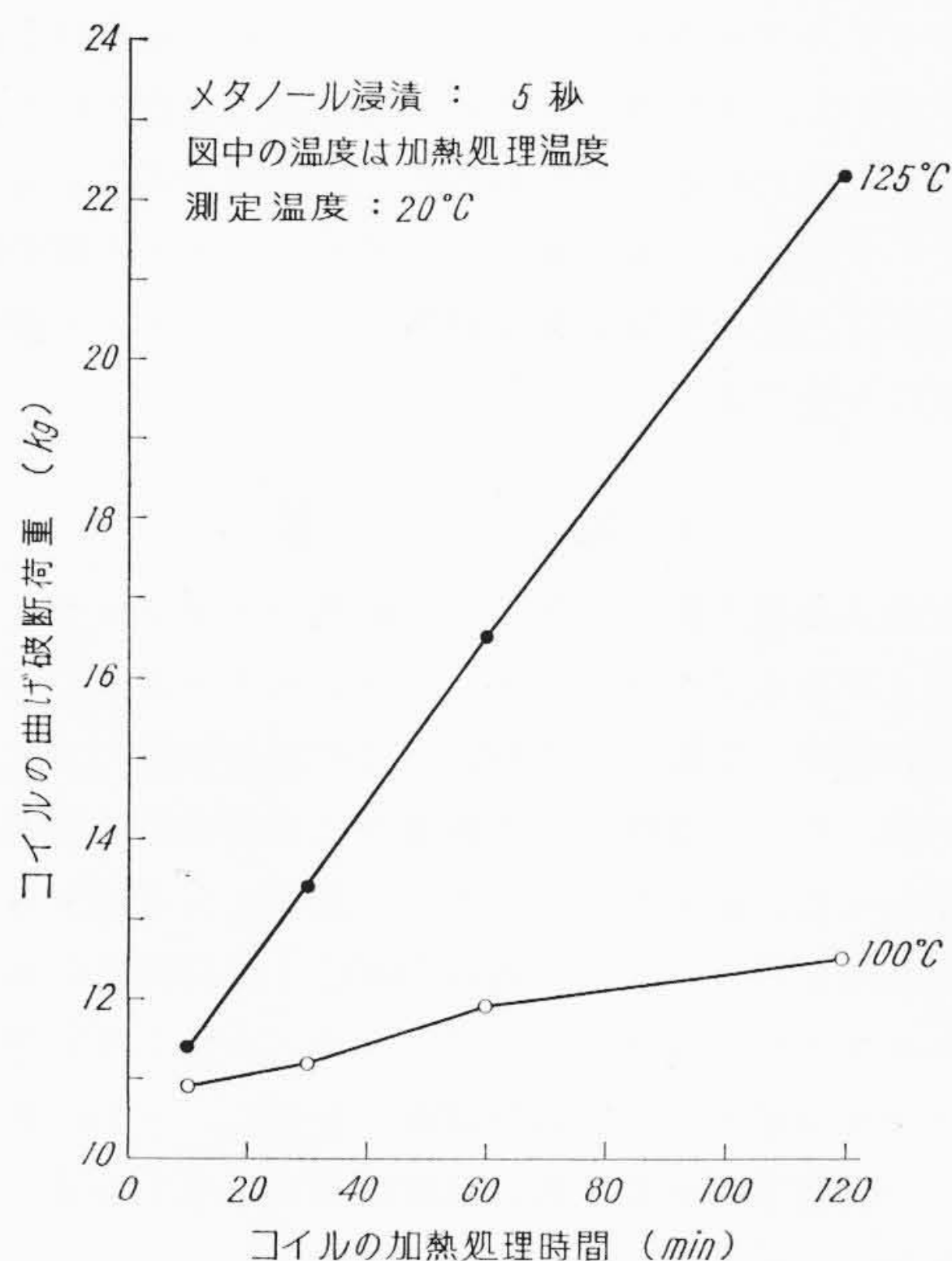
メタノール浸漬時間 (秒)	接着強度 (kg) (コイルの曲げ破断荷重)	
	HBL-PEW	HBH-PEW
5	11.3	11.3
10	11.4	11.1
30	11.6	9.7
60	9.3	9.9

加熱処理条件: 125°C×10 min

測定温度: 20°C



第7図 溶剤(メタノール)浸漬した場合の HBL-PEW の接着強度



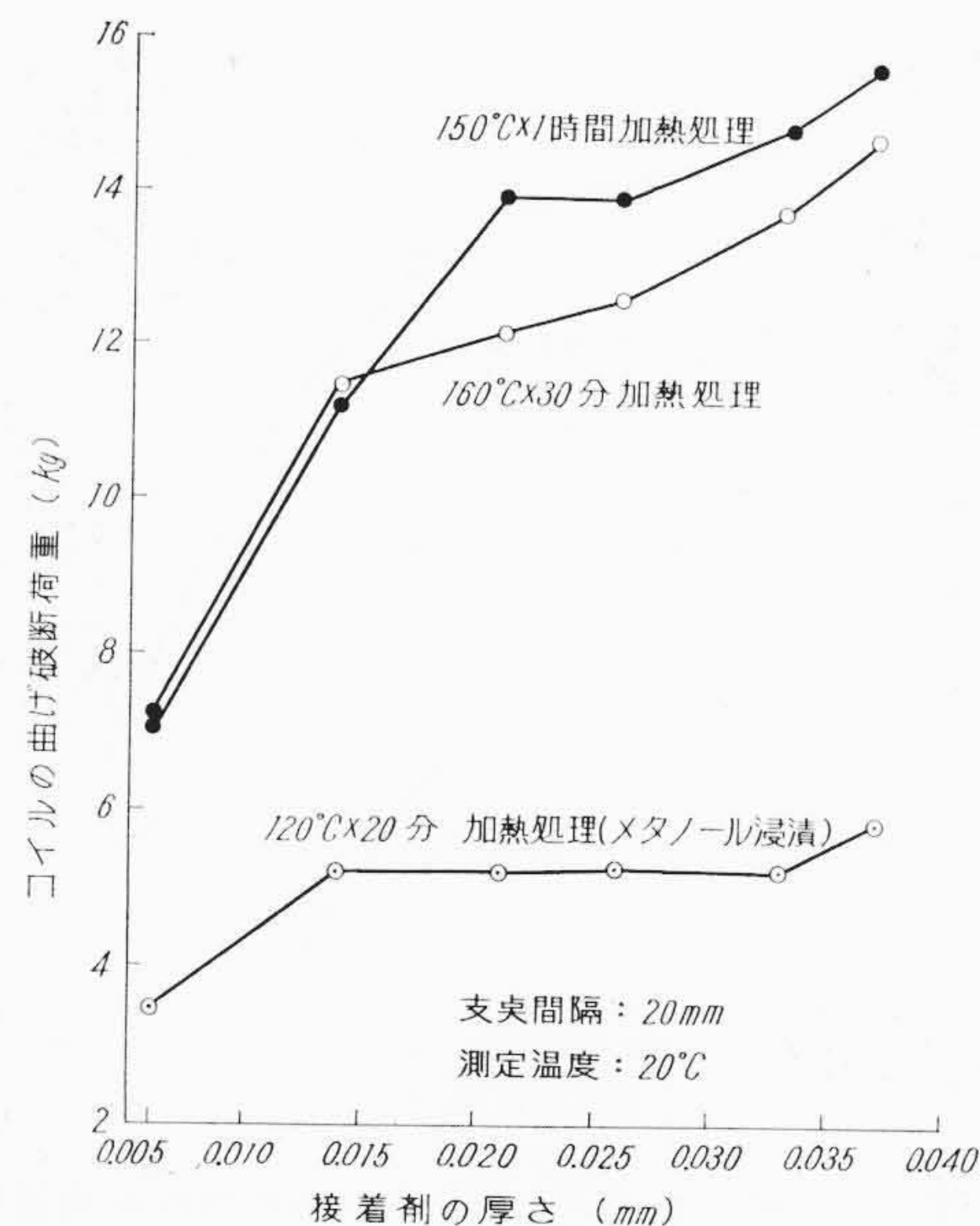
第8図 溶剤(メタノール)浸漬した場合の HBH-PEW の接着強度

150°Cで加熱処理した場合の HBH-PEW の接着強度(線間とはく離荷重)は短時間では低いが、加熱処理時間を長くするとほぼ直線的に高くなっており、第4図と同様の傾向である。一方、HBL-PEW では逆に短時間では HBH-PEW より接着強度は大きい、加熱処理時間が長くなると低下してくる。この現象については今のところ説明がつかない。

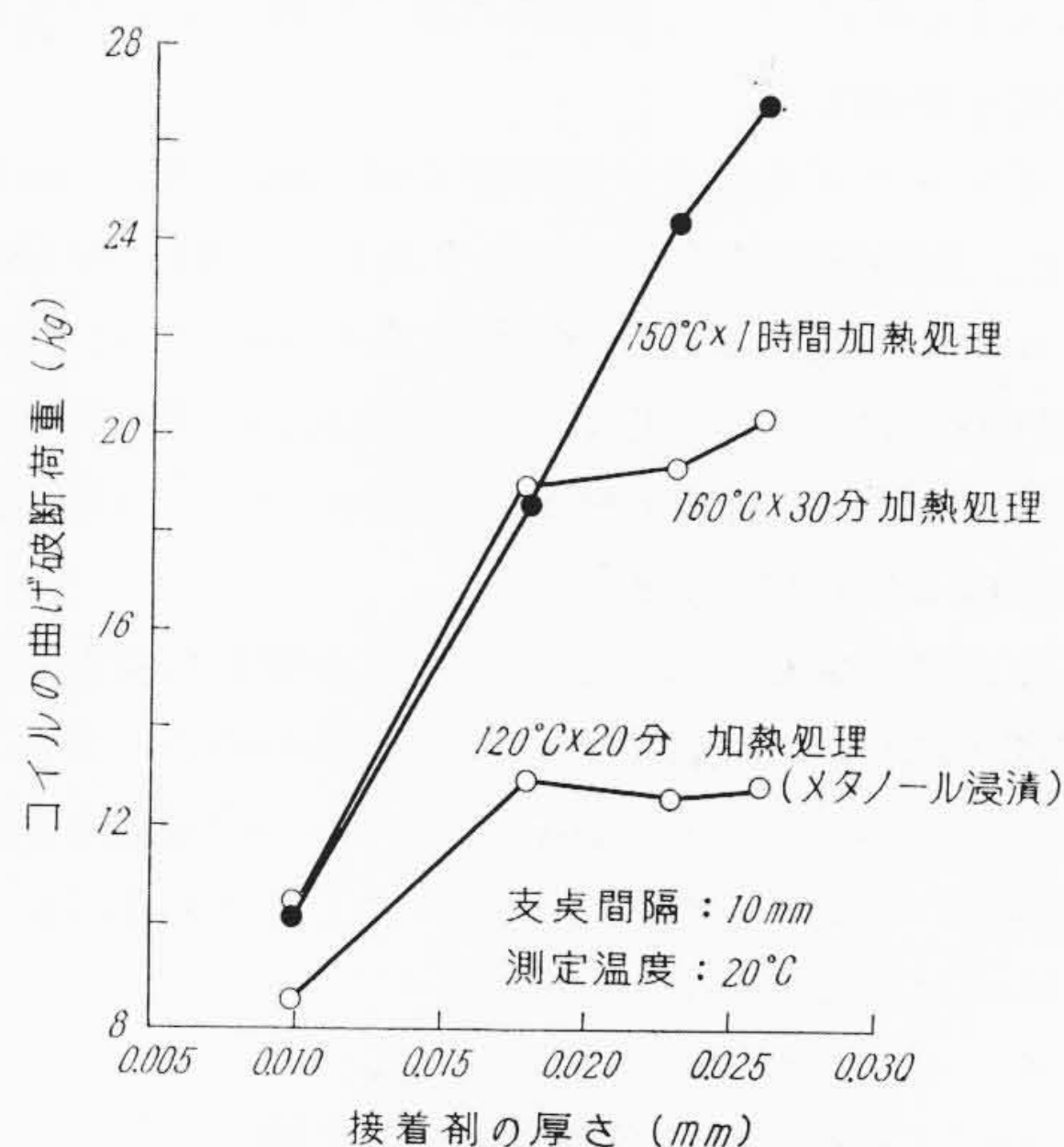
3.4 溶剤浸漬法

ハイボネナメル線のコイルをメタノールに浸漬した後、加熱して3.2と同様に接着強度(ヘリカルコイルの曲げ破断荷重)を測定した。すなわち、試料は3.2と同じヘリカルコイルで、このコイルを20°Cのメタノールに5~60秒浸漬し、20°Cで10分間空気中に放置した後、100°Cあるいは125°Cで10分ないし2時間の加熱処理を行ない、20°Cでコイルの曲げ破断荷重を測定した。

まず、メタノール浸漬時間と接着強度の関係であるが、加熱処理



第9図 HBH-PEW の接着剤の厚さと接着強度、線径 0.95 mm の場合



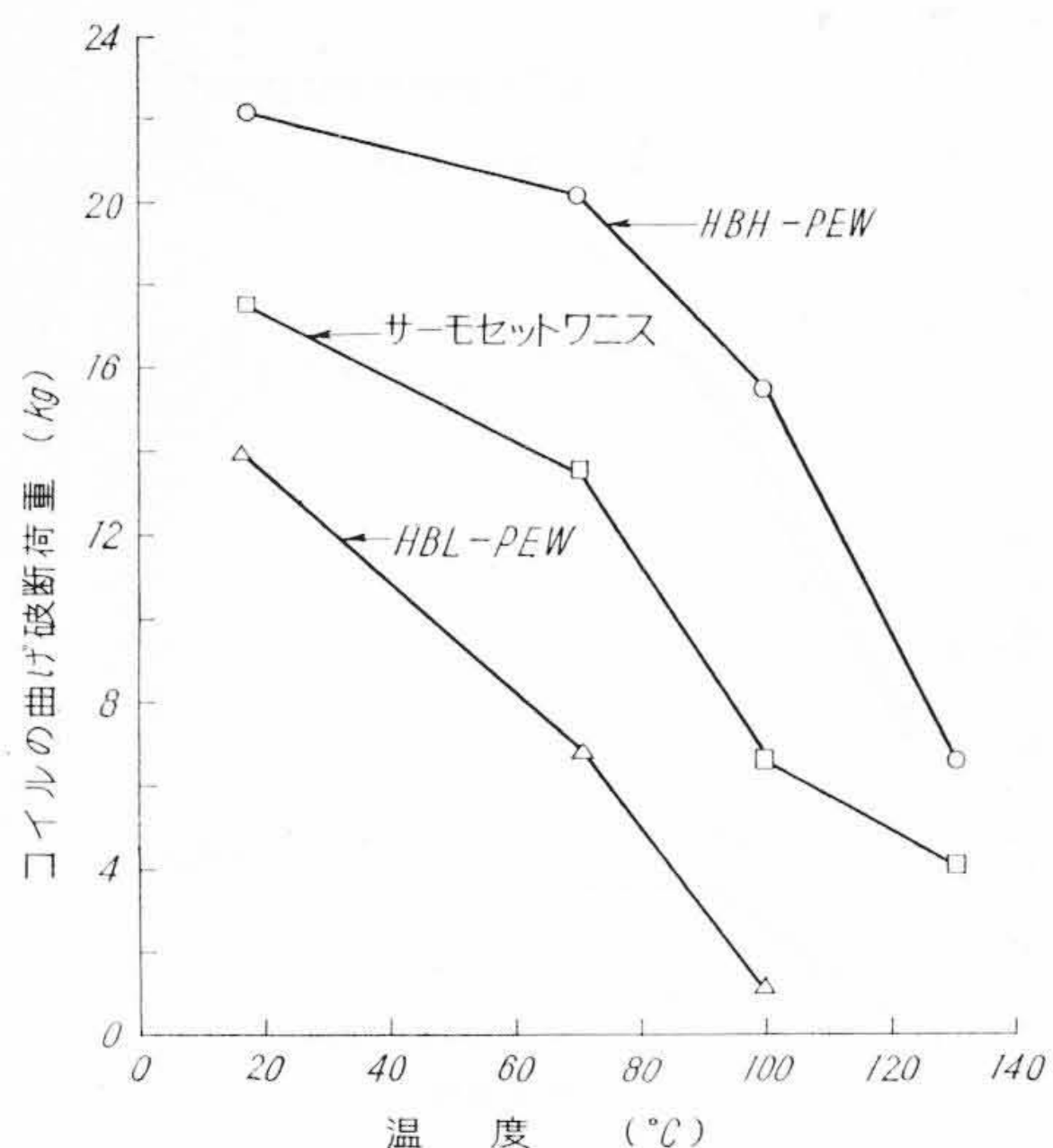
第10図 HBH-PEW の接着剤の厚さと接着強度、線径 0.5 mm の場合

温度が100, 125°Cの場合ともに浸漬時間が長くなると接着強度はやや低下するが5秒から1分まではほとんど差がない。一例を示すと第1表のとおりである。

次に、メタノール浸漬5秒の場合、100°Cおよび125°Cで10分ないし2時間加熱したコイルの接着強度を示すと第7図および第8図のとおりである。HBL-PEWは加熱処理温度が100, 125°Cともに溶剤を使わない場合(第3図)よりやや接着強度が小さいがHBH-PEWの接着はメタノールに5秒浸漬した場合、125°Cの加熱処理で、溶剤を使わないで150°Cで加熱処理した場合(第4図)に匹敵する値を示している。このように、ハイボネナメル線のコイルを接着する場合に加熱と溶剤浸漬を併用すると加熱温度をかなり下げることができる。ただし、大きいコイルの場合溶剤の浸漬に時間がかかり、あまり長時間に及ぶときは接着剤のはく離、溶解が起り好ましくない、溶解力の小さい溶剤が適当である。接着剤の厚さ、接着剤の硬化の程度についても同様で、上記のメタノールより強力あるいは作用の弱い溶剤が必要な場合もある。

3.5 接着剤の厚さと接着強度

ハイボネナメル線は用途に応じてベース絶縁(エナメル皮膜)



第 11 図 ハイボンエナメル線とワニス処理の接着強度、測定温度の影響

厚、接着剤の厚さには種々のものがある。そこでエナメル皮膜厚が一定のベース PEW について接着剤の厚さを種々変えたものをつくり、接着強度を検討した。

供試ハイボンエナメル線は、導体径 0.95 mm と 0.5 mm の HEH-PEW である。加熱処理条件は 150°C-1 時間、160°C-30 分加熱およびメタノール浸漬併用で 120°C-20 分加熱の場合についてヘリカルコイルの曲げ破断荷重を測定した。第 9 図および第 10 図にこれらの結果を示す。なお、導体径 0.95 mm 試料については第 1 図のコイルの支点間隔は 20 mm で行なった。

第 9 図および第 10 図によると、いずれの場合も接着剤が厚いほど接着強度は大きい。また、この傾向は線径の小さい方が大きいものよりも顕著である。さらに、溶剤(メタノール)浸漬を併用したときには接着剤の厚さの影響は加熱だけのときより小さいようである。

4. ワニス処理との比較

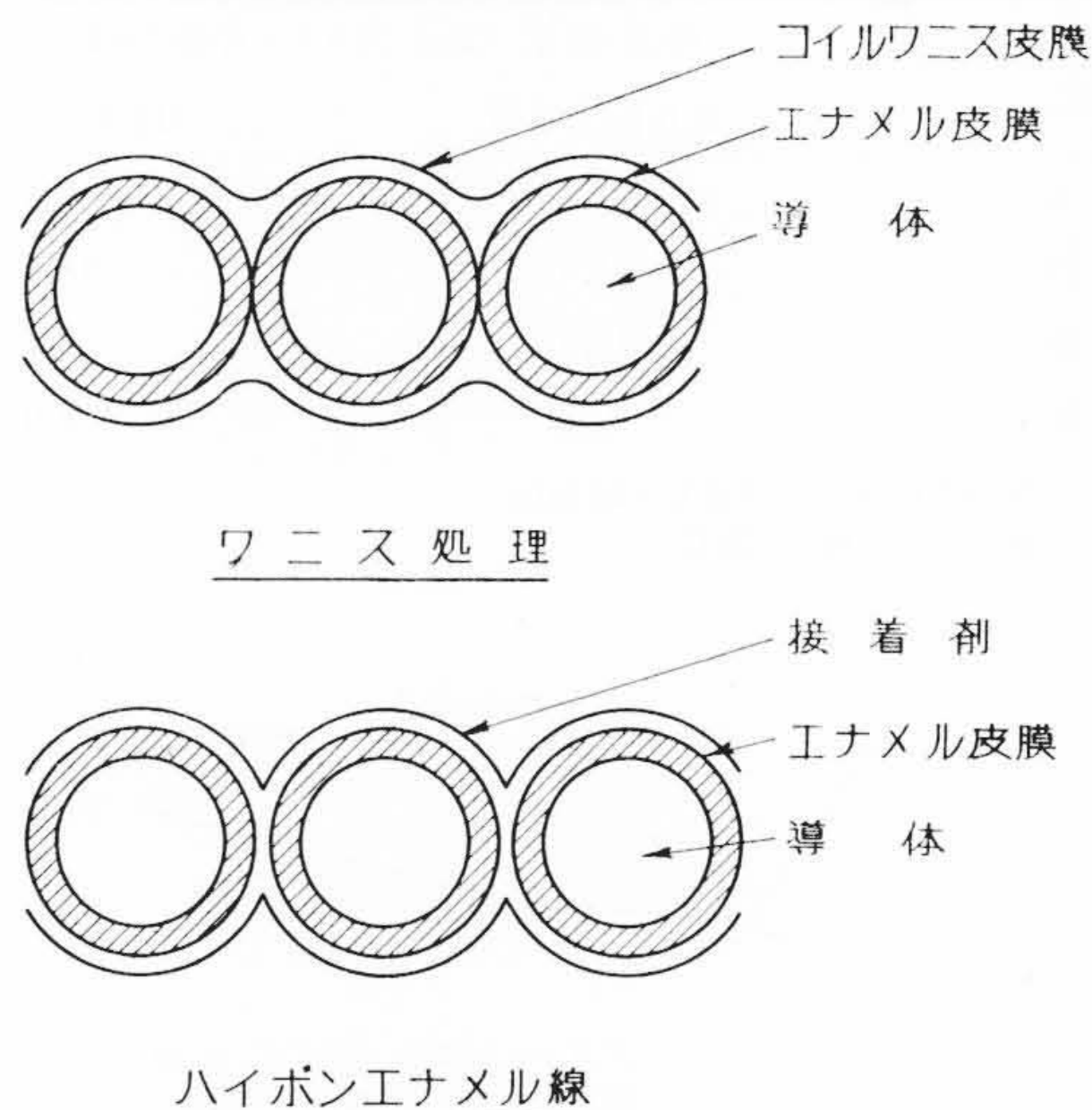
加熱接着したハイボンエナメル線のコイルとワニス処理したコイルの接着強度を常温から 130°C の範囲にわたり測定した。

供試コイルは 3.2 に記した方法でつくり 150°C で 1 時間加熱処理を行なったハイボンエナメル線(導体径 0.5 mm)のコイルと、供試コイルのベースである 2 種 PEW をハイボンエナメル線と同様にヘリカルコイルと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比較的多く使われているサーモセットワニスを選んだ。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。ワニスの付着量はコイル 1 個(約 1.25 g)あたり 0.071~0.080 g である。なお、ハイボンエナメル線の接着剤付着量は同じくコイル 1 個あたり HBL-PEW は 0.015~0.020 g, HBH-PEW は 0.018~0.022 g であった。これらのコイルについて常温から 130°C までの接着強度(ヘリカルコイルの曲げ破断荷重)の測定結果を第 11 図に示す。

ハイボンエナメル線、サーモセットワニスともに予想どおり温度が上昇すると接着強度は低下し、HBL-PEW は 100°C 以上では測定できなかった。HBH-PEW とサーモセットワニスは 130°C では接着強度はかなり低下しているが、HBL-PEW に比べて高温の接着強度ははるかにすぐれている。

この場合、PEW のコイルをワニス処理したものとハイボンエナメル線のコイルの接着の様子は第 12 図に示すように、ワニス処理



第 12 図 ワニス処理およびハイボンエナメル線のコイルの断面

の場合はワニスがコイルを包んだ形になっており、エナメル線の間にはほとんどワニスははいっていない。これに反してハイボンエナメル線の場合には線間に接着剤がはいっている。したがって、この結果だけでコイルワニスとハイボンエナメル線の接着性を結論することはできないし、またコイルワニスの評価は接着のほかいろいろな特性について行われるべきであるが、本試験方式によってのコイルの固定という点からワニス処理、ハイボンエナメル線の耐熱性を評価するならば上記の実験結果は耐熱ハイボンエナメル線の耐熱性を証明するに十分であると考えられる。

5. 結 言

日立電線株式会社で新しく開発した耐熱ハイボンエナメル線および従来のポリビニルブチラール系ハイボンエナメル線について、接着条件と接着強度、常温から 130°C までの接着強度の変化、接着剤の厚さの影響、ワニス処理との比較並びに接着強度の測定法について検討を行なった。結果を要約すると下記のとおりである。

- (1) 耐熱ハイボンエナメル線は 150°C-1 時間程度の加熱処理でポリビニルブチラール系のハイボンエナメル線よりも強い接着強度(ヘリカルコイルの曲げ破断荷重)を示し、さらに溶剤(メタノール)を併用すると若干低い温度においても十分すぐれた接着が得られる。
- (2) 耐熱ハイボンエナメル線の接着強度は一般に接着剤の厚いほど強い。この傾向は線径が小さい方が顕著である。
- (3) ハイボンエナメル線のコイルと、代表的なコイルワニスで処理したコイルについて常温から 130°C までの接着強度を簡単な方式で測定した結果、耐熱ハイボンエナメル線は 130°C までポリビニルブチラール系のハイボンエナメル線およびコイルワニスよりもすぐれた値を示した。
- (4) コイルワニスの接着試験に用いられるヘリカルコイルの曲げ破断荷重の測定はセルフボンディングエナメル線の接着試験として好適であり、標準化されてもよいものと思う。

稿を終るに当たり、ご協力頂いた日立電線株式会社電線工場関係各位にお礼申し上げる。

参 考 文 献

- (1) 平野：オーム，48，117 (昭 36-12)
- (2) E. H. Olson, R. P. Arndt: Insulation, 7, 29 (Jan. 1961)
- (3) D. C. McClenahan: Wire and Wire Products, 34, 1623 (1959)
- (4) J. F. Dexter: Insulation, 1, 12 (Sept. 1955)