

各種エナメル線の耐熱衝撃性

Heat Shock Resistance of Various Enameled Wires

古 賀 正 臣*
Masaomi Koga

内 容 梗 概

現用各種エナメル線の耐熱衝撃性を比較検討し、熱衝撃に及ぼす各種因子の影響について調べた結果

- (1) ホルマール線、フレオール線はほとんど熱衝撃によるきれつの発生は認められない。
- (2) 熱衝撃に強い順に列挙するとシリコーンエナメル線、ヒタエステル線、ヒタウレタン線、油性エナメル線の順序となるが塗料配合により影響を受ける。
- (3) きれつの発生は加熱初期の短い時間に起り、24時間以上になるとほとんど現われてこない。
- (4) 皮膜の厚いものほど熱衝撃を受けやすい。
- (5) 溶剤に浸漬すると多少熱衝撃に弱くなるが問題になるほどではない。
- (6) キュアによる熱衝撃の緩和は期待できない。
- (7) ワニス処理によりエナメル線の熱衝撃はかなり改善できる。

ことを知った。

1. 結 言

電気機器の設計、製作にあたり、事故を未然に防ぐ意味では、各種絶縁材料およびマグネットワイヤの特長よりも欠点を熟知しておくほうが重要であることはいうまでもない。

最近、各種の合成樹脂エナメル線が開発され、その特長に関する報告は多いが⁽¹⁾、欠点についてくわしく検討されたものは少ない。

エナメル線類の熱衝撃によるきれつ発生の現象は、従来広く使用されてきたホルマール線には見られないため、これまで深く考慮されず見のがされた傾向にあるが、エナメル線類の使用条件を考えた場合、重要な一特性と思う。

特に最近のように電気機器の小形化、電工作業の機械化が電気機器設計製作上の問題として強く叫ばれている際、小形化のためのコイル巻径の減少、温度の上昇、機械巻によるエナメル線の伸び、換言すれば皮膜のストレスの増加は当然熱衝撃による事故発生の機会を増大するわけで、現用各種エナメル線について耐熱衝撃性を検討し安全な巻付限度を提示しておく必要を感じた。以下エナメル線の構造、加熱など各種の条件が油性エナメル線、ホルマール線、ヒタウレタン線、ヒタエステル線、シリコーンエナメル線、フレオール線などの熱衝撃に及ぼす影響について二、三の知見をえたので報告する。

2. エナメル線類の熱衝撃

2.1 熱衝撃とは何か

エナメル線類では皮膜にストレスを与えておいて加熱するときれつを発生することがある。もちろん皮膜構成材料により、かなりのストレスを受けていてもほとんどきれつを発生しないものもあり、またきれつ発生の条件も、小さいストレス、低い加熱温度で起るもの、大きいストレスを与えしかも高い加熱温度にさらさなければきれつを発生しないものなどさまざまである。このような現象を一般に熱衝撃 (Heat Shock) と呼称している。

熱衝撃ということばから、われわれは普通、ガラスなどの急熱、急冷による破損のような現象を想像する。しかし後述するように、エナメル皮膜では、ある一定以上のストレスを受けたものは、ある一定の温度に一定時間放置すれば除熱によってもきれつを発生する。その意味では熱衝撃という訳語はあるいは不適切かもしれない。

* 日立電線株式会社電線工場

第 1 表 巻付後加熱と加熱後巻付の相違

巻付倍 径 (倍)	巻付後 175℃ 加熱の場合 平均きれつ発生時間 (s)		175℃ 加熱後巻付の場合 きれつ発生の有無	
	ヒタウレタン線	ヒタエステル線	ヒタウレタン線	ヒタエステル線
1	86.7	503.3	無	無
2	104.7	814.3	無	無
3	181.6	3,600	無	無
4	244.0	きれつ発生せず	無	無
5	325.0	きれつ発生せず	無	無

導体径 1.0 mm 皮膜厚 0.035 mm

2.2 熱劣化との相違

まったくストレスを受けていない皮膜を加熱しても当然熱劣化が起る。しかしこのような熱劣化と熱衝撃とはほとんど無関係であることは次の実験で明らかである。

すなわち2種類のエナメル線を導体径の1～5倍の巻付機に巻付けてコイルを作り175℃で3時間加熱したときのきれつ発生時間は第1表に示すとおりで、加熱後巻付けた場合とまったく異なっている。

つまり非ストレス状態の熱劣化とは異なるが見方を変えればストレスを受けた状態での熱劣化といえないこともない。

2.3 発生原因について

まず銅とエナメル皮膜の膨脹率の差が考えられるが、銅の線膨脹係数は大体 $20 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 、また文献⁽²⁾によればエナメル皮膜のそれは $70 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 程度である。すなわちエナメル皮膜のほうが $50 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ だけ大きいわけで、膨脹率の差によるきれつの発生は考えられない。しかしこれらの膨脹率は非ストレス状態での値であり、ここで問題なのはエナメル線を伸張した状態での膨脹係数の差である。ストレスを受けた場合の皮膜の膨脹率が銅のそれより小さいとすれば熱衝撃によるきれつの発生は説明できる。おそらく皮膜材料により、ストレスを受けた皮膜の熱収縮、あるいは銅よりも小さい熱膨脹のために、ストレスのある状態で大きく偏在していた欠陥部 (換言すれば分子間結合の最弱点) においてきれつを生ずるのではなかろうか。この発生機構の究明は興味深い問題であるが、以下現象だけをのべることにする。

3. 線種による相違と加熱温度、時間の影響

3.1 加熱温度の影響

3.1.1 試料および試験法

第2表に示す寸法のエナメル線を導体径の1～7倍の径をもっ

第2表 試料の寸法

エナメル線の種類	導体径 (mm)	皮膜厚 (mm)
油性エナメル線	0.9	0.036
ヒタウレタン線	0.9	0.034
ヒタエステル線	0.9	0.038
シリコンエナメル線	0.9	0.033
フレオール線	0.9	0.035
ホルマール線	0.9	0.035

第3表 試料の寸法

エナメル線の種類	導体径 (mm)	皮膜厚 (mm)
ヒタウレタン線	1.2	0.049
ヒタエステル線	1.2	0.051
シリコンエナメル線	1.2	0.045
フレオール線	1.2	0.039
ホルマール線	1.2	0.042

第4表 試料の皮膜厚と計算伸張率

(ヒタエステル線)		
導体径 (mm)	皮膜厚 (mm)	計算伸張率 (%)※
0.4	0.0240	27.2
0.6	0.0255	26.7
0.7	0.0350	26.8
0.9	0.0335	26.4
1.0	0.0430	26.4
1.2	0.0420	26.4
1.4	0.0485	26.3
1.6	0.0430	26.0
1.8	0.0610	26.2

※ 導体径の3倍径に巻付けた場合の例である

た巻付棒に10回密に巻付けたコイルを一定温度(80~200°C)に調整した恒温槽に入れ、1時間放置したときエナメル皮膜にきれつが生ずるかどうかを肉眼で判定した。試料数は各エナメル線とも、各温度、各巻付倍径につき5個ずつとし5個のコイル中1個でもきれつを発生した場合はその巻付径できれつを発生するものとした。

以下の種々の試験はいずれもこれに準じている。

3.1.2 試験結果

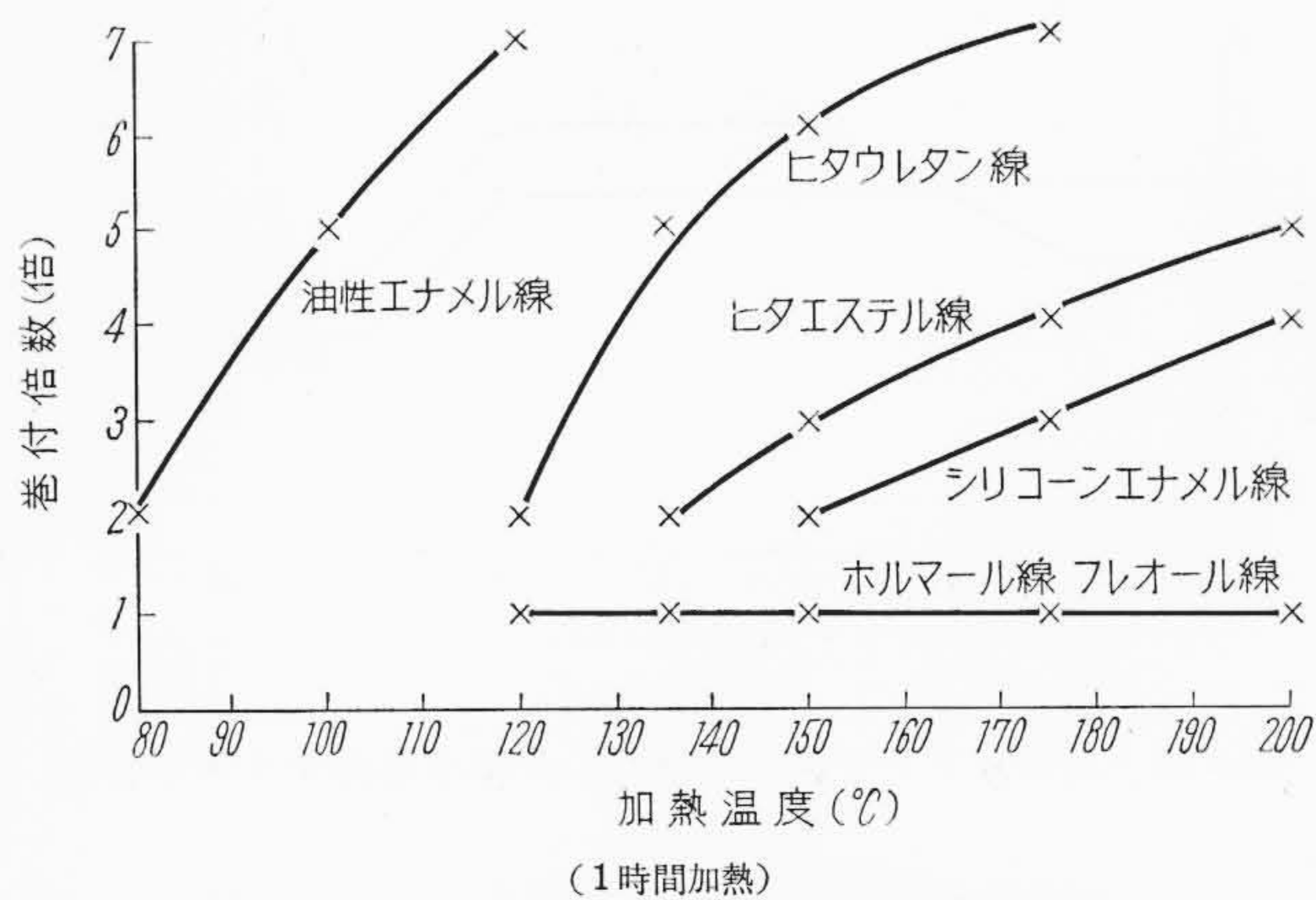
第1図にきれつを発生しない最小巻付倍径を示す。この図からホルマール線、フレオール線はほとんど熱衝撃を受けず最もすぐれており、シリコンエナメル線、ヒタエステル線、ヒタウレタン線の順に悪くなり、油性エナメル線が最も熱衝撃に弱いことがわかる。また温度の影響も熱衝撃に弱いものほど顕著であり、油性エナメル線、ヒタウレタン線は約10°C温度を上げると1倍だけ大きい巻付倍径できれつを発生するが、ヒタエステル線、シリコンエナメル線では20~25°C昇温しないと1倍径の相違は出ない。ただしこの傾向はあくまで第2表の試料に対するもので皮膜厚配合などにより多少異なるので、これらについては後述する。

3.2 加熱時間の影響

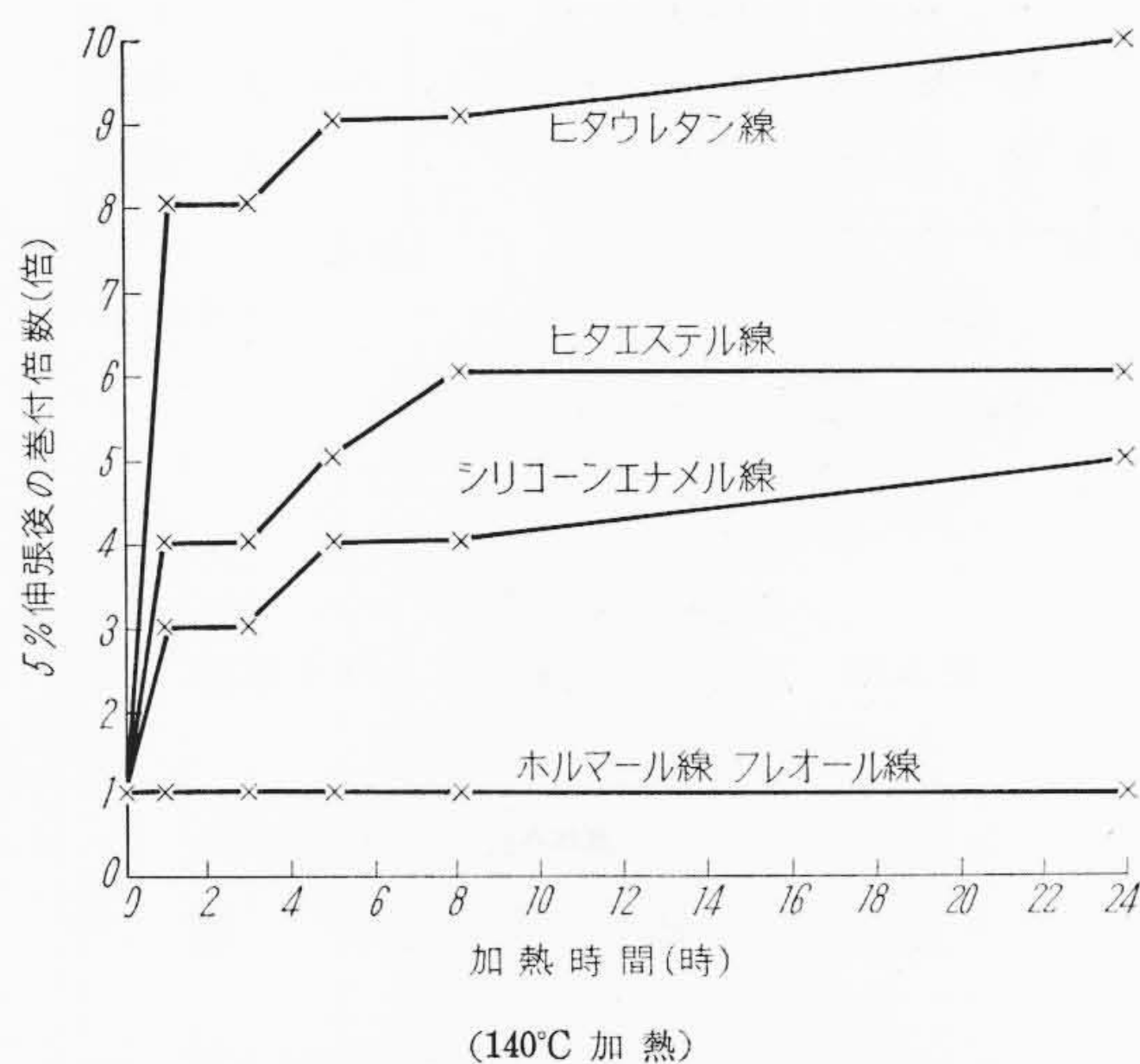
前項では1時間加熱で比較したが、加熱時間をさらに長くした場合どのような傾向を示すかを検討した。

すなわち、第3表の各種エナメル線を5%伸張したのち1~10倍径のコイルを作り、これらを150°Cの恒温槽で24時間加熱したときのきれつ発生状況を調べた。第2図はその検討結果である。

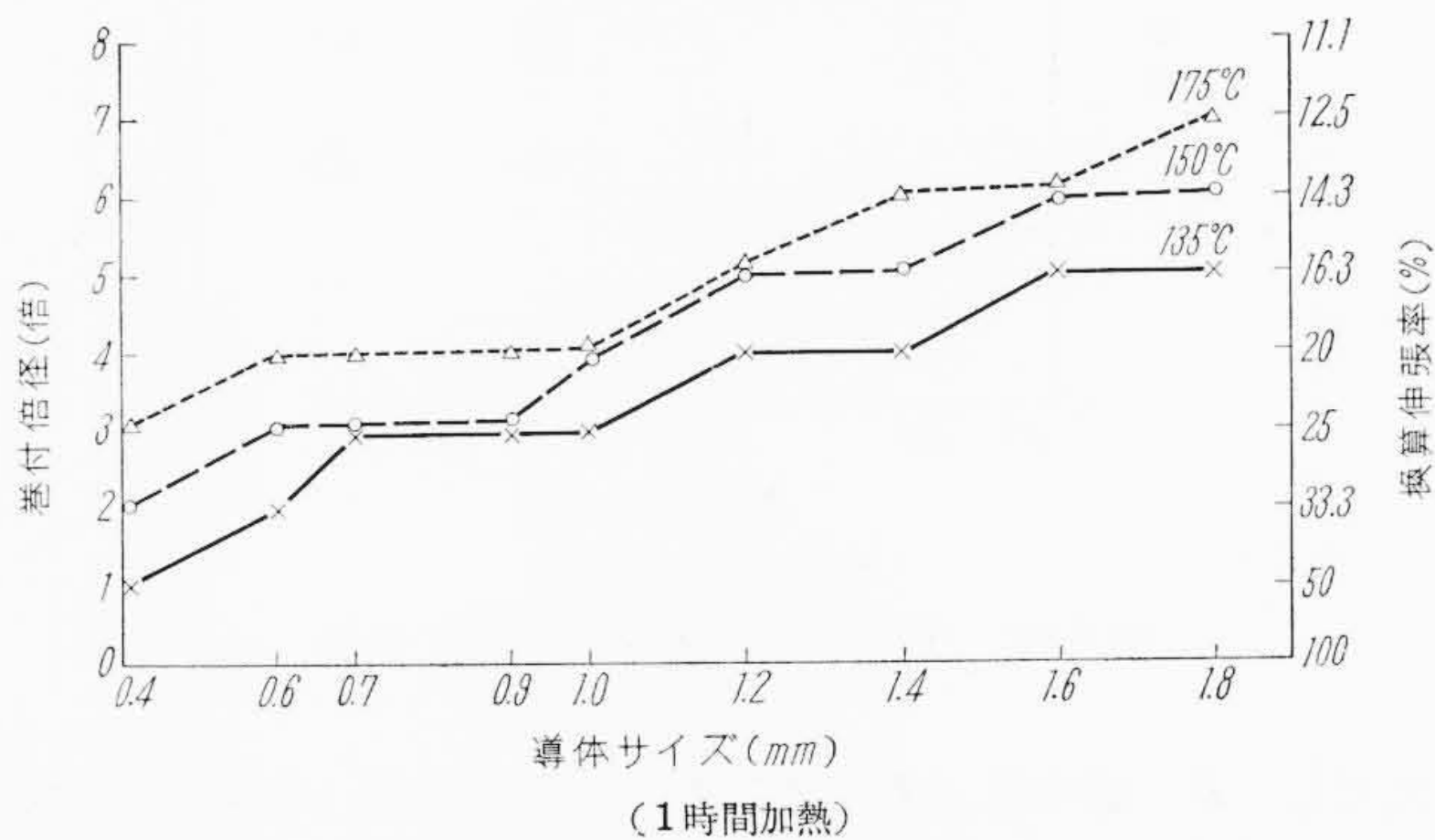
図でわかるとおり、熱衝撃によるきれつは大部分、初期の1時間以内にかかる(詳細には10分以内位である)がその後も徐々に進行し、24時間加熱するとさらに大きい巻付倍径のものでもきれつを発生する。1時間加熱と24時間加熱とでは2倍径位の相違があるわけで、実用上は24時間加熱のほうを採用すべきである。一般に熱衝撃試験はせいぜい2時間以内の短い時間で行われているが、このような試験で問題なくとも、長期間高温にさらされる実用機器では



第1図 各種エナメル線の耐熱衝撃性



第2図 耐熱衝撃性に及ぼす時間の影響



第3図 ヒタエステル線の熱衝撃に及ぼす導体サイズの影響

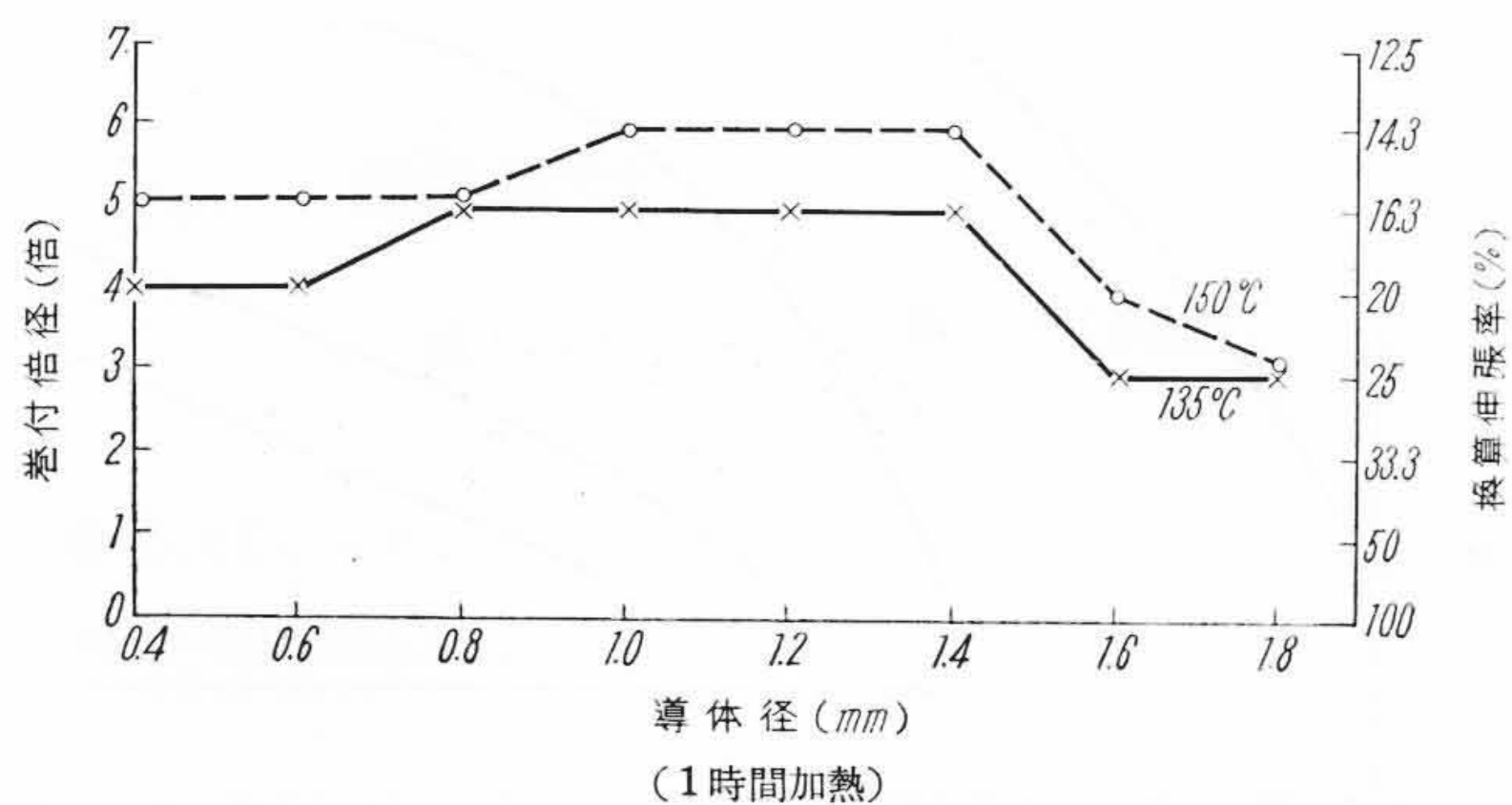
きれつを生ずる心配があるわけである。24時間以上になると、ここには示さなかったが、そのごの加熱時間の影響はほとんどみられないので、たとえば第1図の無きれつ巻付倍径よりも2倍位大きい巻付倍径を安全巻付倍径と考えてよいと思う。さらに長い時間加熱した場合に生ずるきれつは皮膜の純然たる熱劣化とも関連してくるのでここでは触れないことにする。

4. 導体サイズと皮膜厚の相違

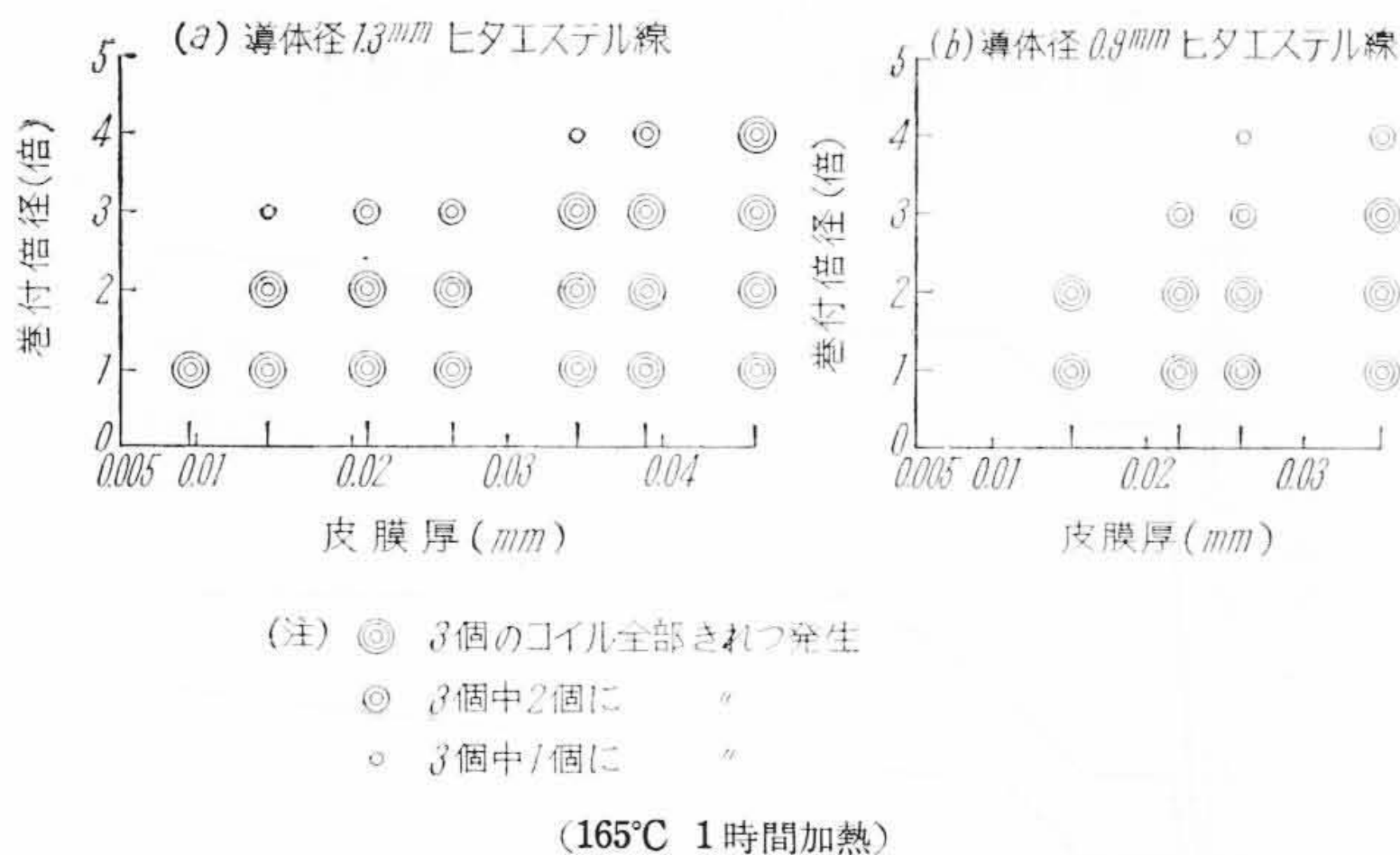
4.1 導体サイズの相違

エナメル線を巻付けた場合、エナメル皮膜表面の受ける伸張率は一般に次式で示され導体径、皮膜厚により異なる。

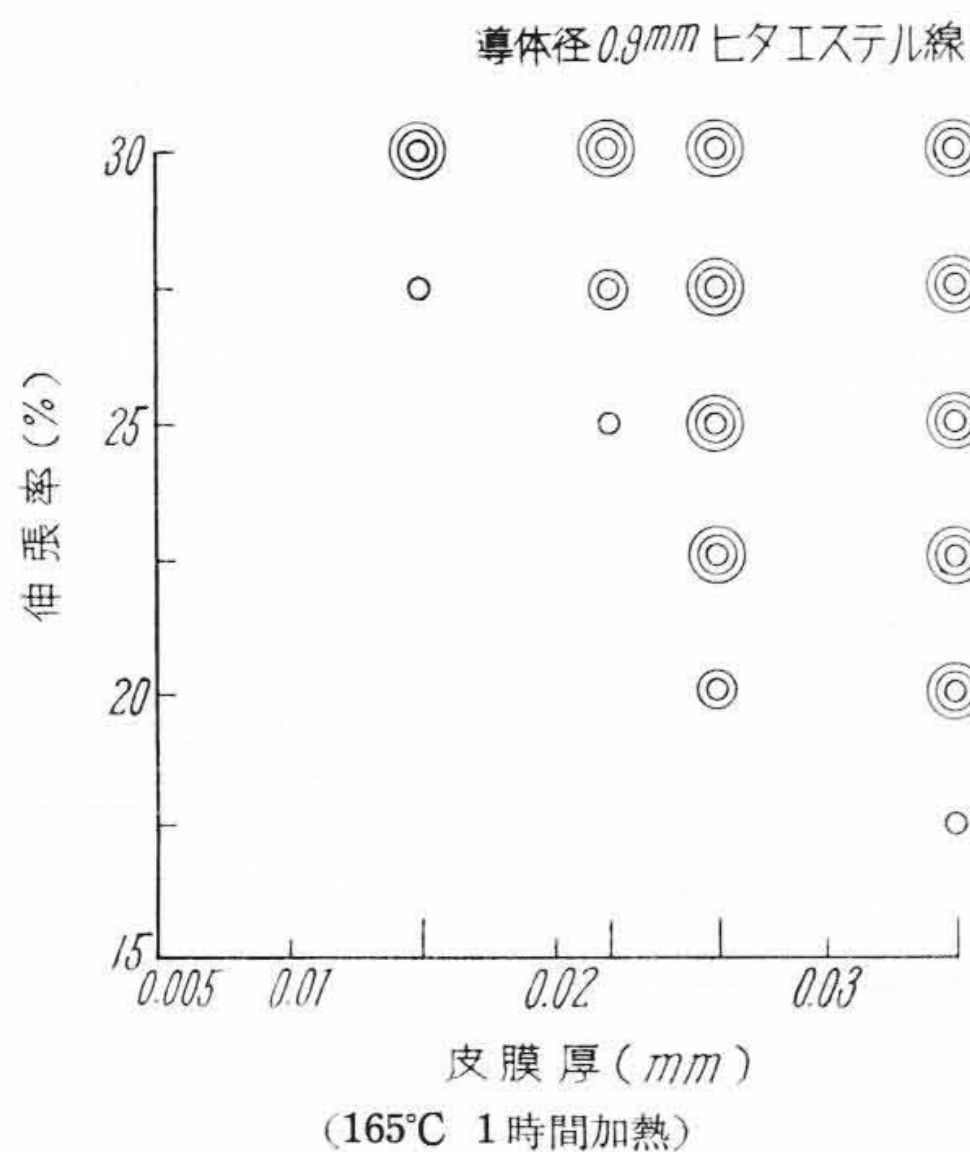
$$\text{伸張率 } E = \frac{D+2d}{\alpha D + D+2d} \times 100(\%) \dots\dots\dots (1)$$



第 4 図 ヒタウレタン線の熱衝撃に及ぼす導体サイズの影響



第 5 図 皮膜厚の熱衝撃に及ぼす影響



第 6 図 皮膜厚の熱衝撃に及ぼす影響

ただし D = 導体径 d = 皮膜厚 α = 巻付倍径 (導体径の倍数)
この式では皮膜厚が同一なら導体径の小さいもののほうがいくぶん伸張率が大きい、その程度はほとんど無視できるくらいに小さい。したがって同一巻付倍径なら外層皮膜の伸張率はほとんど同じと考えてよい。

さて第 3 図は第 4 表に示した寸法のヒタエステル線について熱衝撃性を調べたものである。図は各温度で 1 時間加熱してもきれつを発生しない巻付倍径を示している。

この図から導体サイズが大きくなるにつれ熱衝撃性は明らかに悪くなっている。

ところで前記の (1) 式を用いて各試料の伸張率を計算すると第 4 表に示す値となり最大と最小の差はせいぜい 1 % 程度である。しかも熱衝撃のよい導体径の細いもののほうが多少伸張率は大きいわけで導体サイズの影響以外のたとえば皮膜厚の相違に起因する皮膜材料の内部構造の相違といったものを考慮しなければならないようである。

第 5 表 試料の寸法

(ヒタウレタン線)	
導 体 径 (mm)	皮 膜 厚 (mm)
0.4	0.0275
0.6	0.0265
0.8	0.0300
1.0	0.0495
1.2	0.0480
1.4	0.0450
1.6	0.0520
1.8	0.0525

第 6 表 導体径 1.0 mm のエナメル線を 3 倍径に巻付けた場合の計算伸張率

導 体 径 (mm)	皮 膜 厚 (mm)	計算伸張率 (%)
1.0	0.01	25.4
1.0	0.02	25.7
1.0	0.03	26.1
1.0	0.04	26.4
1.0	0.05	26.8
1.0	0.06	27.2

第 4 図は第 5 表のヒタウレタン線を前と同じ方法で試験した結果で、ヒタエステル線と異なり、導体径が大きくなるにつれて必ずしも悪くならない特異な傾向を示している。

この傾向はヒタウレタン塗料の配合のちがいのためでポリウレタン樹脂に添加する第二次樹脂が熱衝撃の改良に好結果をもたらしているためである。したがってもし同一塗料を使用すればヒタエステル線と同様に、導体径の大きいものほど悪くとなると考えてよい。このように添加する第二次樹脂が熱衝撃性を大きく左右することは熱衝撃に弱いエナメル線の改良に指針を与えると同時にきれつ発生原因の究明に役だつものと思う。

4.2 皮膜厚の相違

さきに導体サイズにより熱衝撃性がかなり変わるのは、導体サイズのちがいによる皮膜伸張率の差のためではなく、皮膜厚の相違に起因する何か材料自体の本質的な問題によるのではないかと述べた。そこで皮膜厚が異なったものの熱衝撃性を検討するため、同一の導体径で皮膜厚の異なるエナメル線の耐熱衝撃性を調べた。第 5 図はヒタエステル線の場合である。

予想どおり皮膜が厚くなるにつれてきれつを発生する巻付倍径も大きくなり、皮膜厚が 2 倍になるときれつを生じる巻付倍径が 1 倍径位大きくなると考えてよい。

この原因について考えるため前掲の (1) 式を用いて導体径 1.0 mm の場合の伸張率を計算した。第 6 表はその計算結果である。この表から皮膜厚が 2 倍になってもせいぜい 1 % 程度の伸張率の増加で、このくらいの伸張率増加が第 5 図の相違の原因となるとは思われない。

そこでエナメル線を巻付ける代りに伸張したもので熱衝撃に及ぼす皮膜厚の影響を調べてみると第 6 図のようになる。つまり同一伸張率でも皮膜の厚いものほど、熱衝撃に弱いわけで皮膜が厚いときと薄いときとで皮膜の物理化学的構造がいくぶん相違しているためと考える以外にないようで、今後さらに検討をすすめ次の機会に報告したい。

5. 溶 剤 の 影 響

これまで加熱の影響だけ取り上げてきたが、エナメル線類の使用にあたっては、特殊な場合を除きコイルワニスの含浸、乾燥を行うので、ワニス中の溶剤が熱衝撃に及ぼす影響を調べておく必要がある。

第7表 溶剤浸漬の熱衝撃に及ぼす影響

処理条件 巻付倍数 浸漬時間(h)		50℃ターペンの場合										50℃ガソリンの場合										50℃ナフサの場合																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
		溶剤浸漬後					溶剤浸漬後120℃6h加熱					溶剤浸漬後					溶剤浸漬後120℃6h加熱					溶剤浸漬後					溶剤浸漬後120℃6h加熱																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
		2倍	4倍	6倍	8倍	10倍	∞	2倍	4倍	6倍	8倍	10倍	∞	2倍	4倍	6倍	8倍	10倍	∞	2倍	4倍	6倍	8倍	10倍	∞	2倍	4倍	6倍	8倍	10倍	∞	2倍	4倍	6倍	8倍	10倍	∞																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
線種	0	←→					1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	←→					1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	←→					1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
油性 エナメル線 (導体径 1.2mm) (皮膜厚 0.051mm)	6	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2

注：分母は供試コイル数，分子はきれつ発生コイル数を示す

第8表 キュアの効果

(熱衝撃試験温度175℃)

エナメル線の種類	キュアの有無	きれつ発生時間(s)				
		巻付倍数				
		1倍	2倍	3倍	4倍	5倍
ヒタウレタン線	無	86.7	104.7	181.6	244	325
	有	—※	164.3	208.3	253.3	308.1
ヒタエステル線	無	503.3	814.3	3,600	3,600以上	同左
	有	602.5	1,001.3	3,600以上	同左	同左

注：(1) 試料寸法 導体径1.0mm 皮膜厚0.035mm

(2) キュア温度125℃1時間

(※) キュア中にきれつ発生したもの

5.1 試験法

現用各種エナメル線を5%伸張したのち、導体径の2~10倍径に巻付けたコイルを作り、これらを50℃の溶剤に一定時間浸漬したものについて120℃での熱衝撃試験を行った。試験に用いた溶剤は各種のワニスに多く使用されているガソリン、ターペン、ナフサの3種類である。

5.2 試験結果

試験の結果を第7表に示す。

まず溶剤に浸漬しただけできれつが発生するのは油性エナメル線とヒタウレタン線だけで、そのほかのエナメル線は5%伸張後、導体径の2倍に巻付けても単独溶剤に浸漬しただけではきれつを生じない。

油性エナメル線の場合、溶剤浸漬時間6時間でも120℃加熱後全部きれつが発生しているが、浸漬しないもの(溶剤浸漬時間0のもの)も同様にきれつを生じているので溶剤浸漬の影響はわからない。

ヒタウレタン線では溶剤に浸漬したものと浸漬しないもので多少

差があり、溶剤浸漬の影響がわずかにあらわれていることがわかる。

ホルマール線、ヒタエステル線、シリコーンエナメル線、フレオール線では溶剤浸漬の影響は見られない。しかし第7表には記載しなかったが、さらに伸張度を増して検討するとヒタエステル線とシリコーンエナメル線には多少溶剤浸漬の影響があらわれてくる。いずれにしても極度にストレスを受けた皮膜ではいくらか溶剤による影響で熱衝撃は弱くなる傾向もあるが一般にはほとんど考慮する必要のない程度である。

6. そのほかの問題

6.1 前処理の効果

熱衝撃によるきれつの発生がエナメル皮膜の受けたストレスによるものとすれば、経験的にいって前処理(以下キュアと呼ぶ)によってストレスを緩和し、熱衝撃の度合を軽減できるのではないかと想像される。

そこで導体径の1~5倍径に巻付けたコイルを熱衝撃試験温度よりも低い温度で徐々に加熱キュアしたものとキュアしないものの熱衝撃性を比較してみた。第8表はその結果である。きれつ発生時間が少し長くなるが顕著な差は認められない。このことはキュアによるストレスの緩和はほとんど起きないことを示唆するように思う。

6.2 ワニス処理の影響

前にワニス中の溶剤は皮膜のストレスが大きい場合には多少熱衝撃を弱くすることを述べたが、実用ワニスそのものの効果は熱衝撃を改良するように作用する。もちろんワニスの種類、付着量によって異なりデータは省くが、ストレスを受けた皮膜を包むワニス塗膜のために、エナメル皮膜のきれつの発生が妨げられるためと考えられる。すなわち、エナメル皮膜だけ破断させる力では上層のワニ

ス塗膜を破断するまでに至らないことが原因であろう。

一般に熱衝撃にかなり弱いエナメル線を相当きびしい条件で実用しても事故を起さない理由もワニス処理にあるのではないかと推察される。

7. 結 言

以上エナメル線類の熱衝撃に及ぼす各種の条件について検討してきたが、本稿では現象だけを明らかにし、その発生原因、機構についてはほとんど触れなかった。根本原因についてはさらに究明してゆきたいと思っている。

現在まで各種のエナメル線、特に最も熱衝撃に弱い油性エナメル

線が多量に使用されてきたのに、あまり問題にならなかったことを考えると実使用にあたり神経質になる必要はないが、最近のように機器の小形化、電工作業の機械化が盛んになると予想しないトラブルの原因となる場合もあると思う。この報告が電気機器設計、製作に役だてば幸である。

最後に始終ご激励いただいた電線工場間瀬副部長、実験に協力していただいた検査課中里君、巻線課大場君に深く感謝する。

参 考 文 献

- (1) たとえば H. L. Saums: Electrical manufacturing 130 (Oct. 1957)
- (2) Otto Beel, Oskar Walter Romm, Hermann Luthardt: E. T. Z., A 77, Hett 22 829 (Nov. 1956)



特 許 の 紹 介



特 許 第 240801 号

居 駒 恒 雄

自 動 制 御 方 式

長距離自動車トンネルにおいてトンネル内 CO ガス量を人体に無害な一定範囲に維持するための換気制御には制御の安定性の面から無定位性を持たせた間けつ制御の方式が適しているが、この方式の欠点として制御の速応性がとぼしく、たとえば自動車通過ひん度が急激に増加したような場合、トンネル内 CO ガス量が一時危険値まで増加する恐れがある。

本発明はこの点を改良したもので、図はその制御回路を示し、24 は電動制御器、25はその操作電動機、a, b, c……l は制御器の各ノッチにおいてとじる接点で、これら接点を通じて線輪 A, B, C……L を順次付勢し換気用送排風機 の速度調整、プロペラピッチ変更などによって換気量を調節する。n は制御器を各ノッチごとに停止させるホールド接点、p, q はリミットスイッチ、26, 27 は電動機の正逆転開閉器、26', 27' はその電磁線輪、26a, 27a はそのホールド接点、28 は一定周期で開閉するタイマー接点、29, 30 は CO ガス検出装置の信号接点でトンネル内 CO ガス量が所定範囲以上になると接点 29 がとじて線輪 26' を付勢し電動機 25 を正転させて制御器のノッチを進め、接点 29 がとじている間一定時間ごとに換気量を 1 段ずつ増加させる。CO ガス量が所定範囲以下になった場合は接点 30 がとじて線輪 27' を付勢し電動機 25 を逆転させて換気量を 1 段ずつ減少させる。

このようにして常時は無定位制御が行われるが、万一トンネル内 CO ガス量が急激に増加したような場合には別に設けた検出装置の危険信号接点 31a, 31a' がとじ 31b, 31b' が開いて線輪 A を付勢し、制御器がどのノッチにあらうと関係なく換気量はただちに最高段階まで引上げられ、これによりトンネル内 CO ガスは危険値に達することなくすみやかに排除される。一方危険信号接点 31a' と制御器接点 r, s の作る回路により制御器は一定ノッチ 9 に移行して待機し、危険信号の消滅とともに制御器はこのノッチから無定位制御にもどって前に述べた制御動作を再開する。上記ノッチ 9 は制御器の最高ノッチに近く乱調の原因とならぬよう適当に選ばれたもので、これによって制御動作再開時に乱調を起すことなく CO ガス量をすみやかに所定範囲内に落着かせることができる。 (坂 本)

