

エナメル線のピンホールに関する考察

間瀬 喜好* 荻野 幸夫**

The Pinholes in Various Kinds of Enameled Wires

By Kiyoshi Mase and Yukio Ogino

Hitachi Wire Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

The enameled wire is a sort of magnet wires which have insulating film of any kind baked directly on the conductor, such as oil enameled wires, polyvinyl formal insulated wires, nylon insulated wires and the like.

In this article, the writers deal with the problems of test liquid and D. C. voltage of the pinhole test, and the phenomenon of spring-up pinholes in the oil enameled wires and polyvinyl formal insulated wires. In the writers' experiments, it was revealed that the number of pinhole of enameled wires differs according to the density of NaCl Solution in use as well as the testing voltage, and that there is a remarkable difference in the number of pinhole between the oil enameled wire and the polyvinyl formal insulated wire, i.e. the number of pinhole of the former increases by heating, while it decreases in the case of the latter although this trend of the latter stops after it has undergone once the pinhole test.

〔I〕 緒 言

一般にエナメル線というと油性エナメル線が考えられていたが、筆者は焼付塗料を導体に直接塗布焼付したマグネットワイヤーをエナメル線と称すべきであると思う。

従つて油性エナメル線、ホルマール線、ナイロン線、アミラン線、珪素樹脂エナメル線等はこれに属する。

これらのエナメル線に就いて、ピンホールを考察して見ることにする。現在エナメル線皮膜の孔の大小を問わず、ピンホールと称している。従つて皮膜厚が薄いだけにピンホールの大きいものはコイルの短絡を起す主要原因となる。肉眼で判定出来ないいわゆる本来のピンホールの多いものは、コイルの短絡の直接の原因になるかどうかには就いて明らかでないが、概してピンホールの多いエナメル線を用いると破壊電圧が低く出たり、絶縁抵抗値の小さい場合がある。例えばエナメル線のピンホールの重り合いによつて低下するであろう破壊電圧を知るため

に0.9mm径の油性エナメル線を25mm径の絶縁棒に並列または2層に10回巻き、線間にピンホール程度の疵をつけ心線間に電圧を加えた結果35~13%に低下したことがある。またピンホールの多いコイルをワニス含浸した場合、ワニス中の溶剤がピンホールを介し滲透して行き皮膜の電氣的、機械的特性を低下することも考え得る。

このようなピンホールは何故生ずるか、問題であり、塗装直後のピンホールは製造条件によるものと考えている。勿論用いる材料自体が皮膜構成要素に欠けている場合はこの限りでない。例えば塗料の粘度が余り高いときはこれに属する。従つて優れたエナメル線を得るには材料の選択と製作法に慎重を要することはこれまで屢々述べた処である⁽¹⁾⁽²⁾。

しかし一度ピンホールの無いエナメル線を作つても、その後の保存法、コイル巻時の加工、例えば屈曲、伸長、捻回等の操作によりピンホール発生、或は加熱、湿熱等の影響によりピンホールを生ずる場合もある。特に屈曲、伸長、捻回等の操作で皮膜に歪を与えた場合に顕著に現われる。また浸水により急激に増加するものもある。

* ** 日立製作所日立電線工場

次に 0.12 mm と 0.14 mm 径のホルマール線に就いての結果は第2表に示すようになり、清水と食塩水の差は油性エナメル線よりも顕著に現われる。

更にエステルロジン系油性エナメル線を用い、課電々圧 D.C. 12V で食塩水の濃度を変えた場合のピンホールの発生状況の一例を第1図に示す。即ち清水と食塩水の間には著しい相違があるが、食塩水の濃度 0.5% (重量) を過ぎると比較的濃度の影響を受けない。

(2) 試験電圧の影響

0.2% 食塩水の試験液で D.C. 電圧の影響を調べて見る。即ち皮膜厚の異なる 0.12 mm, 0.26 mm, 0.29 mm 径の油性エナメル線を用い、課電々圧を 60 V まで上昇し、ピンホールの発生状況を示したものが第2図である。

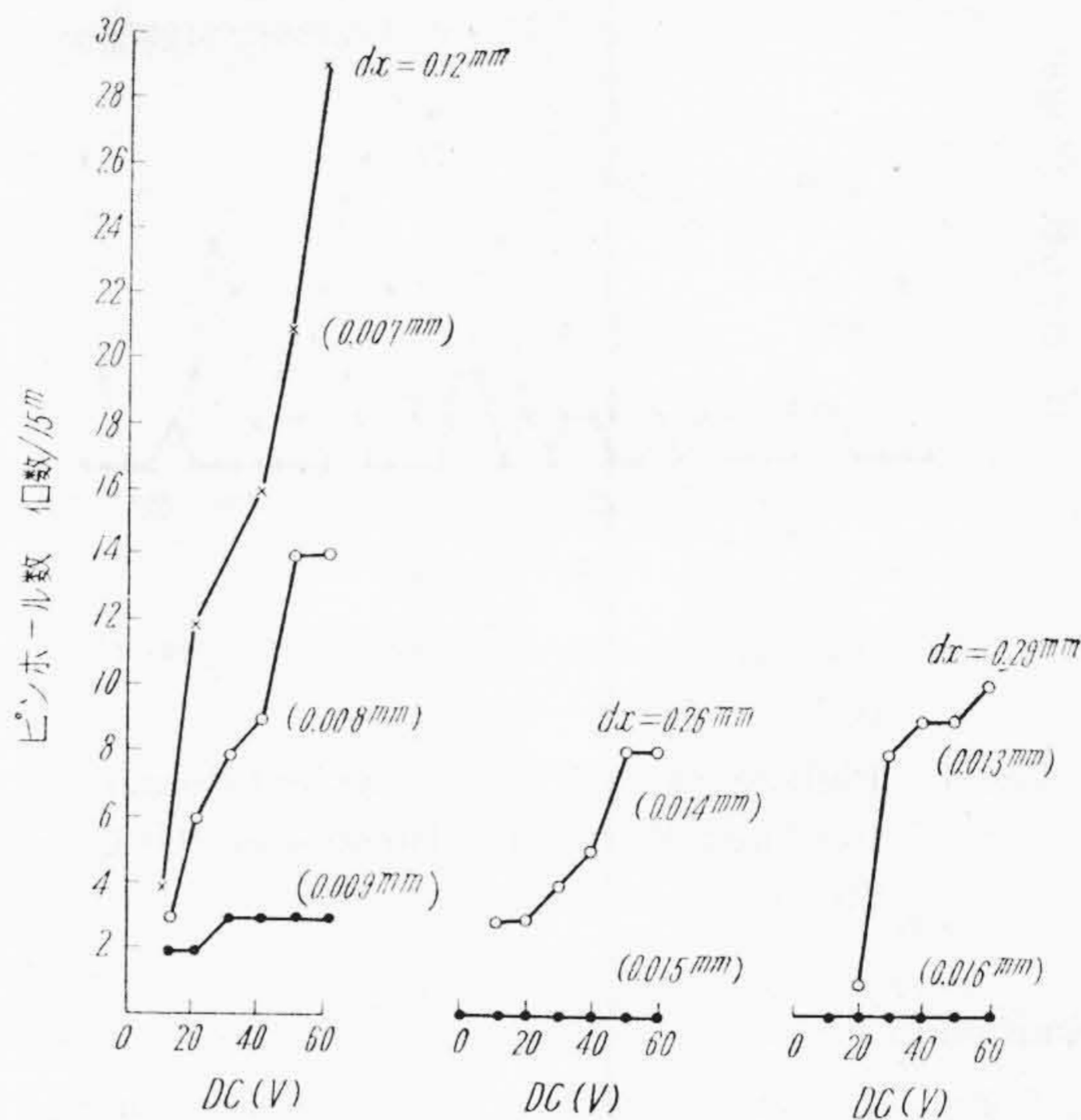
この結果から導体径の小さいもの程、皮膜厚の小さい割合にピンホールが少なく、課電々圧を高めるとピンホールの発生数も増加する。しかし完全にピンホール或は弱点の無い場合は電圧を高めてもピンホール数に変化がない。

[III] 保存並びに加工後のピンホール

エナメル線のピンホールは製作直後から出来ているものと保存中に出来るもの、使用時の成型、或は加熱、湿熱処理等により生ずるピンホール等がある。製作直後のピンホールはエナメル線自体の品質良否の一応の判定基準になる。このような発生原因は導体の影響、エナメルの種類、塗装条件に起因するが、今回は紙面の都合上割

第3表 ピンホールの発生状況
Table 3. Relation between Pinhole and Pass-Months

保持位置	保持月数	ピンホール (箇数/5m)	
		油性エナメル線	ホルマール線
室内	0	2	1
	1	2	0
	3	0	0
	5	1	0
	7	5	2
	12	6	4
屋内	0	2	1
	1	1	0
	3	1	0
	5	0	0
	7	7	無数
	12	無数	無数



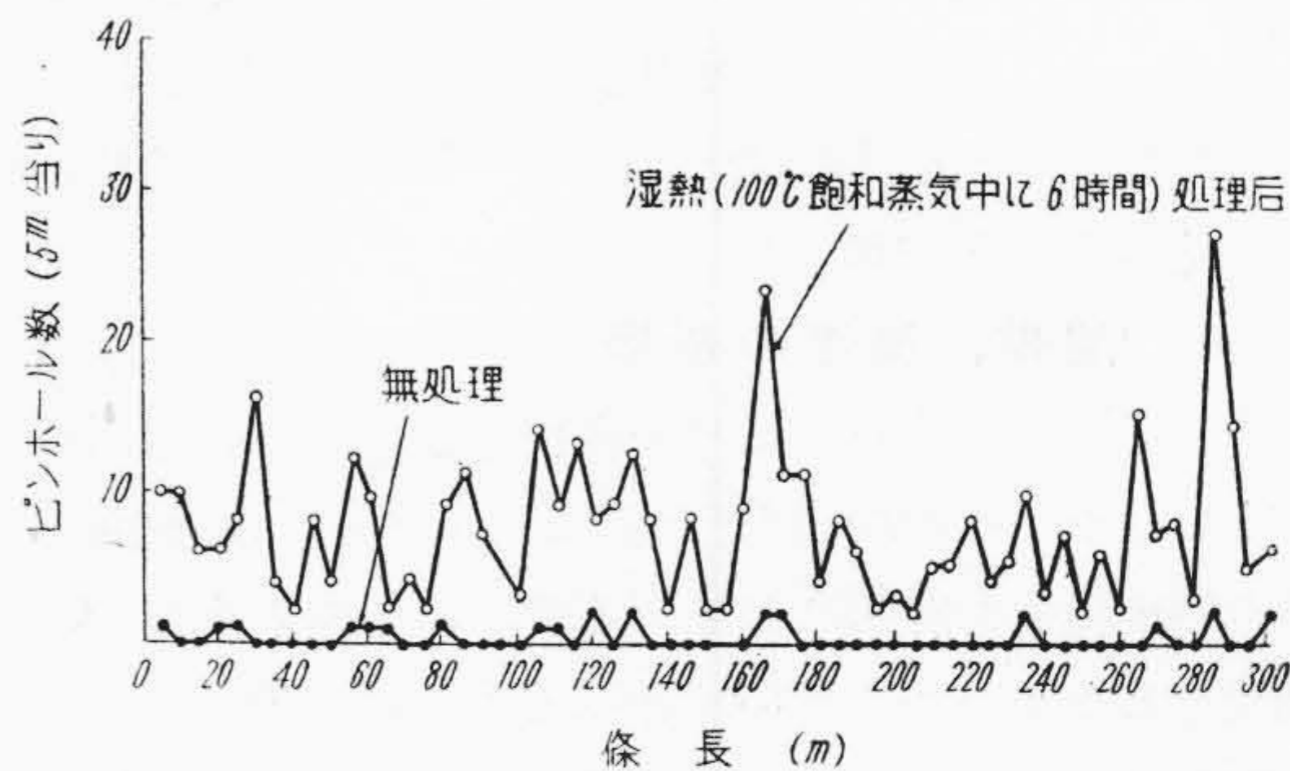
第2図 印加電圧とピンホールとの関係
Fig. 2. Relation between Testing D. C. Voltage and Pinhole

愛して、使われる立場に於て必要な保存並びに加工後のピンホールの二三の現象を考察する。

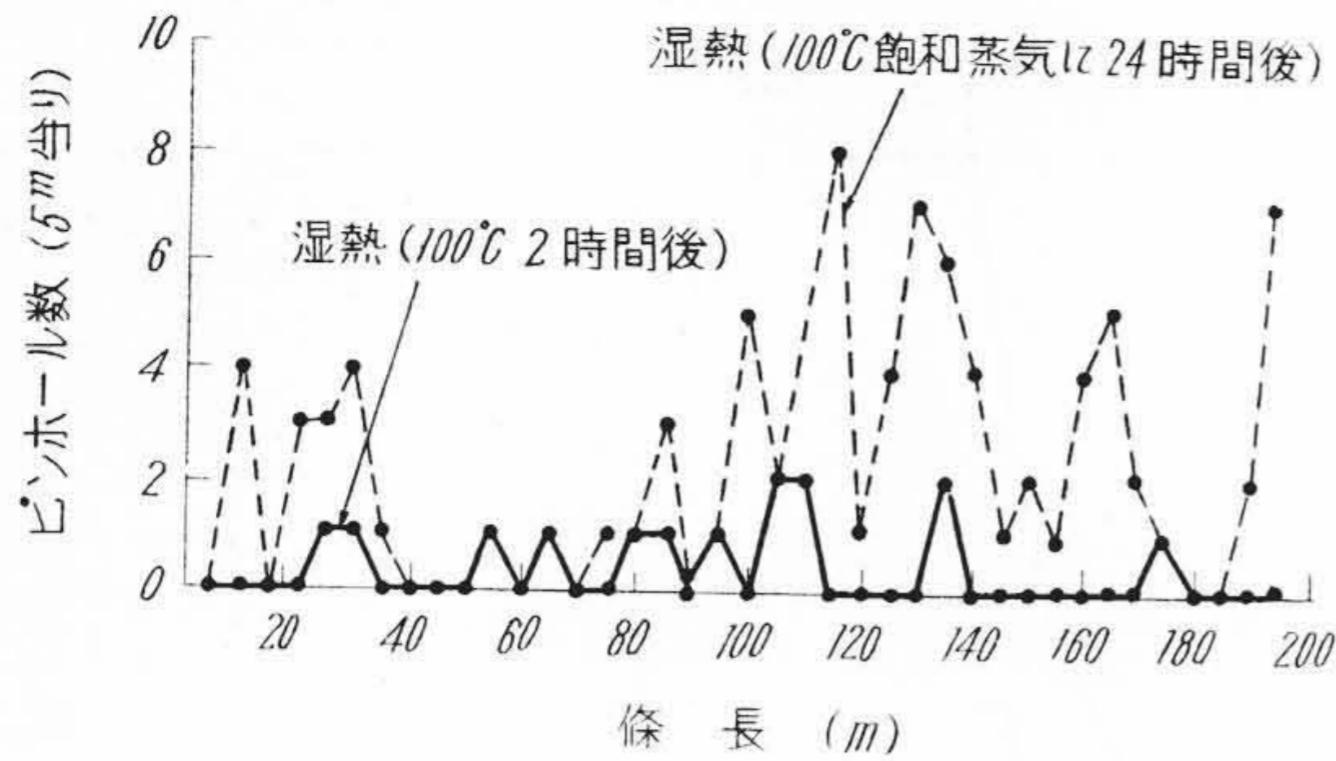
(1) 屋内外に放置の影響

公称 0.8mm 径の油性エナメル線とホルマール線を比較的日当りのよい東窓の内側に保存したときと、屋外に曝したときのピンホールの発生状況を1年間に亘り検討した結果は第3表のようである。

即ち油性エナメル線、ホルマール線共に室内のものは12箇月後に於ても JIS C 3203 規格に合格する値であるし、劣化の程度も少ないといえる。屋外のものは5箇月間は変化が少いと見做し得るが、7箇月で急激に増加し、油性エナメル線は 12 箇月でピンホール無数、ホルマール線は7箇月目にピンホール無数となる。このことは



第3図 2.6 mm 径油性エナメル線の湿熱 (100°C) 後のピンホール
Fig. 3. Pinhole of 2.6 mm Oil Enameled Wire after Holding in 100°C Steam



第 4 図 0.45 mm 径ホルマール線の湿熱 (100°C) 後のピンホール

Fig. 4. Pinhole of 0.45 mm Polyvinyl-Formal Insulated Wire after Holding in 100°C Steam

Kaufmann⁽³⁾が指摘しているように日光による皮膜が劣化促進されたものと考えられる。しかしホルマール線は後述する Cure 効果を有効に生かし得るので、このこと自体はそう問題にならぬと考える。

(2) 湿熱処理の影響

次に油性エナメル線ホルマール線を 100°C の飽和蒸気中に保持し、ピンホールの発生状況を調べると第 3 図、第 4 図のようになり、湿熱によりピンホールの発生が促進されることが判る。両者の比較ではホルマール線の方が劣化が少ないようである。

(3) 低温保持の影響

次に 1.0φ 油性エナメル線 (No. 1)、1.2φ ホルマール線 (No. 2)、1.0φ アミラン線 (No. 3) に就いて -20°C に 6 時間保持した後、2~10 倍径のコイルを作り 12V でピンホールを調べたとき、並びに予め供試線を 2~10 倍径のコイルに巻き、次に -20°C に 6 時間保持後のピンホールを調べたときのピンホールの発生状況を第 4 表に示す。

油性エナメル線、アミラン線は低温保持によりやゝピンホールが促進される。ホルマール線は殆ど影響を受けていない。しかしこれを別報⁽⁴⁾の皮膜の硬度並びに接着力の変化から考察すれば上記三者の低温感温性は殆ど同一と見做すべきであろう。

(4) 屈曲、加温の影響

伸張特性は屈曲特性より類推出来ることゝ、捻回特性ではピンホールの検討を行っていないが、一応捻回し皮膜の剝離現象を詳報⁽⁵⁾しているので、屈曲とその Cure 効果をピンホールに就いて述べることにする。

即ち油性エナメル線は屈曲率の小さい程ピンホールを生じ易いが、ホルマール線は必ずしも伸張率の増加によるクラック現象に起因づけられない問題がある。これに関し増沢氏⁽⁶⁾は皮面構成分子の球晶発生であると主張さ

第 4 表 低温保持のピンホール

Table 4. Pinhole of Various Enameled Wires after Holding at Low Temperature

条 件	試 番	巻 付 倍 数				
		2 倍	4 倍	6 倍	8 倍	10 倍
無 処 理	No. 1 (エナメル線)	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3
	No. 2 (ホルマール線)	2/3	3/3	1/3	1/3	1/3
	No. 3 (アミラン線)	0/3	2/3	3/3	3/3	3/3
低 温 保 持 後 巻 付	No. 1 (エナメル線)	2/3	1/3	1/3	0/3	0/3
	No. 2 (ホルマール線)	0/3	0/3	0/3	0/3	1/3
	No. 3 (アミラン線)	1/3	2/3	3/3	3/3	1/3
巻 付 後 低 温 保 持	No. 1 (エナメル線)	1/3	0/3	1/3	0/3	0/3
	No. 2 (ホルマール線)	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3
	No. 3 (アミラン線)	1/3	2/3	3/3	3/3	2/3

第 5 表 供 試 線

Table 5. Various Enameled Wires

試番	電線の種類	塗 料 条 件		導 体 径 (mm)	皮 膜 厚 (mm)
		P の 大 き い 順 位	焼 付 度 の 低 い 順 位		
No. 1	ホルマール線	1	2	0.493	0.026
No. 2	ホルマール線	2	2	0.492	0.026
No. 3	ホルマール線	3	2	0.495	0.026
No. 4	ホルマール線	4	2	0.495	0.025
No. 5	ホルマール線	5	3	0.497	0.025
No. 6	ホルマール線	3	1	0.496	0.027
No. 7	ホルマール線	3	3	0.495	0.025
No. 8	ホルマール線	3	4	0.495	0.025
No. 9	ホルマール線	3	5	0.495	0.022
No. 10	ホルマール線	フェノール樹脂添加		0.497	0.033
No. 11	ホルマール線	θ号ヒタフラン樹脂添加		0.499	0.027
No. 12	ホルマール線	Q号ヒタフラン樹脂添加		0.500	0.026
No. 13	油性エナメル線	エステルロジン		0.500	0.022
No. 14	珪素樹脂エナメル線	Cu ₂ O HMS-1004		0.503	0.0245
No. 15	珪素樹脂エナメル線	Cu ₂ O DC 996		0.503	0.0275
No. 16	アミラン線	東洋レーヨン製		0.503	0.024

れている。いずれにしてもこのようなクラックを生ずることは約 10 年前に Patnode⁽⁷⁾がこれらの現象を指摘し、或程度加温するとこのクラックが無くなると述べている。

今度油性エナメル線、各種ホルマール線、珪素樹脂エナメル線、アミラン線に就いて比較して見る。

先ず上記検討のため第 5 表に示す供試線を用いた。

これらの供試線をそれぞれ 5m 輪取にしたもの、及び導体径の 2, 4, 6, 8 倍の巻付棒に 10 回宛巻き付け、コイル状にしたものを各 10 箇作り、無処理及び 100°C に加温し、ピンホールの発生状態を求めた。その結果を第 6 表に示す。

第6表 ピンホールの加温(100°C)効果

Table 6. Pinhole of Various Enameled Wire by Heating at 100°C

試番	無処理巻付					100°C 10分加熱後巻付					100°C 30分加熱後巻付					100°C 60分加熱後巻付					100°C 3時間加熱後巻付				
	輪取	2倍	4倍	6倍	8倍	輪取	2倍	4倍	6倍	8倍	輪取	2倍	4倍	6倍	8倍	輪取	2倍	4倍	6倍	8倍	輪取	2倍	4倍	6倍	8倍
No. 1	3	2	2	3	6	5	3	2	4	5	5	3	1	3	6	5	3	1	4	7	5	4	2	6	7
No. 2	4	4	2	3	5	6	7	3	6	7	5	6	4	6	7	5	2	3	5	7	3	5	3	6	7
No. 3	0	0	1	1	1	0	0	2	2	0	0	1	3	2	0	0	1	3	2	1	1	1	3	2	1
No. 4	0	3	2	3	0	1	5	2	2	1	0	5	1	2	0	0	3	0	1	0	1	2	1	1	1
No. 5	無数	10	10	10	10	無数	10	10	10	10	無数	10	10	10	10	無数	10	10	10	10	無数	10	10	10	10
No. 6	3	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0
No. 7	1	5	4	3	3	0	8	4	3	4	0	7	4	4	4	0	7	6	4	5	0	8	6	4	6
No. 8	2	7	7	7	8	1	8	6	7	7	0	8	5	5	2	1	10	5	5	3	1	9	7	7	7
No. 9	0	5	8	7	6	0	6	9	5	6	0	7	7	5	5	0	7	8	5	6	0	7	7	6	5
No. 10	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1
No. 11	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	0	1	1	2	2	0	1	1	3	2	2	1
No. 12	1	0	0	0	0	4	0	0	0	0	4	0	0	1	1	2	0	0	1	1	2	0	0	0	2
No. 13	1	10	0	0	0	1	10	2	2	8	2	10	10	5	9	2	10	10	5	9	2	10	10	7	9
No. 14	無数	10	10	10	10	無数	10	10	10	10	無数	10	10	10	10	無数	10	10	10	10	—	—	—	—	—
No. 15	0	10	4	3	3	2	10	8	4	3	2	10	10	7	6	3	10	10	10	6	6	10	10	10	4

注 (1) 輪取(約150mm径)は5mのピンホール数
 (2) 巻付はコイル数10箇のうちピンホールを発生したコイル数
 (3) 液は0.2%食塩水(D.C. 12V)液温19~24°C

その結果から下記がいえる。

(i) ホルマール線は油性エナメル線や珪素樹脂エナメル線とピンホールの発生状況が異なる。例えばホルマール線は重合度(P̄)と焼付度により相違がある。ピンホールの少ない巻付倍数の範囲があるようだが、油性エナメル線、珪素樹脂エナメル線は共に巻付倍数の小さいもの程ピンホールの発生が多い。

(ii) ホルマール線はP̄と焼付度によりピンホールの箇数に差があり、P̄が余り高過ぎてもまた低過ぎてもよくない。

(iii) 油性エナメル線、珪素樹脂エナメル線の巻付後の加熱効果はピンホールを漸増するに反し、ホルマール線は加温によりピンホールを減少する適切な温度と時間があることを認め得る。

(iv) ホルマール線の焼付度の高いものと、熱硬化型樹脂をPVFに併用したものは加温によりピンホールの減少が少く、完全Cureには長時間を要する。

このような一応の結果を得られたので、更に第7表に示す供試線を用い、Cure温度を120°Cに変えてしかも、巻付後のピンホールと、ピンホールの無いものを検討してから巻付した場合のCure効果を検討して見る。

第7表の供試線を浸水せずに自己径の8倍径のコイルを作りピンホールを検討した結果は第8表(次頁参照)のようである。

上記の結果から巻付倍数の多い場合、油性エナメル線を除いてすべてCure効果を表わすものであることが判る。

第7表 供試線

Table 7. Various Enameled Wires

試番	種類	配合並びに焼付条件	導体径(mm)	皮膜厚(mm)
P̄の高い順位				
No. 1	ホルマール線	1	0.503	0.024
No. 2	ホルマール線	2	0.503	0.029
No. 3	ホルマール線	3	0.503	0.022
No. 4	ホルマール線	4	0.503	0.024
No. 5	ホルマール線	3 高温焼付	0.503	0.023
No. 6	ホルマール線	3 低温焼付	0.503	0.024
No. 7	ホルマール線	フェノール樹脂添加	0.497	0.030
No. 8	ホルマール線	10	0.495	0.035
No. 9	ホルマール線	20	0.495	0.032
No. 10	ホルマール線	30	0.495	0.029
No. 11	ホルマール線	0号フラン10	0.499	0.027
No. 12	ホルマール線	30	0.498	0.029
No. 13	ホルマール線	50	0.504	0.029
No. 14	ホルマール線	100	0.504	0.028
No. 15	アマラン		0.503	0.024
No. 16	油性エナメル線	フェノール樹脂系	0.503	0.029

しかし一度浸水しピンホール試験を行つたものは120°Cで1時間加熱してもCure効果がないことが重要なことである。

そこで浸水後のものに就いて120°Cの加熱Cureの効果調べた結果が第9表(次頁参照)のようである。

上記の結果からホルマール線の単に浸水して通電試験を行わないものは加熱によりCureされることを認め得た。また高目焼付のものはCure効果が無く、フラン樹脂を多量に入れたものは加熱効果が少ないといえる。

エナメル線のCure効果はやはり認められない。

次に第7表中 No. 2, No. 9, No. 12 の3種に就いて

第 8 表 浸水せずにコイルを作つた場合の Cure (8 倍径巻付) (試験コイル 10 箇中のピンホール発生コイル数)

Table 8. Cure of Enameled Wires Given No Water Dipping

試 番	無処理	120°C の加熱時間						無処理ピンホール試験後 1 時間加熱
		15分	30分	1 時間	3 時間	5 時間	24 時間	
No. 1	2	0	0	1	0	1	0	2
No. 2	2	0	0	0	0	0	0	2
No. 3	2	0	1	0	0	0	0	2
No. 4	2	1	1	1	0	1	0	2
No. 5	0	1	0	0	2	0	0	0
No. 6	0	1	1	0	1	0	2	0
No. 7	10	0	0	1	0	2	1	10
No. 8	1	1	0	0	0	0	0	4
No. 9	3	0	1	0	0	0	1	6
No. 10	9	0	1	0	1	0	0	9
No. 11	4	5	1	2	0	0	1	6
No. 12	8	0	1	0	0	0	0	8
No. 13	8	1	1	1	0	0	0	8
No. 14	8	0	0	0	1	0	0	8
No. 15	1	0	0	1	0	0	0	4
No. 16	0	0	2	3	3	3	4	3
No. 16 (2倍)	2	10	10	10	10	10	10	—

注 液温 12~17°C

30分加熱の Cure 温度を求めて見ると第10表の結果となる。

即ち 30 分加熱では 110°C 以上の温度を採用すべきであることが判る。このことは現行品に就いて同様な統計的調査をしたが、110°C で 30 分加熱すると完全に Cure されていることを認めている。また 120°C のとき 15 分で顕著な Cure 効果がある。

これらのクラッキングの模様顕微鏡写真による考察と、PVF を構成するビニルアルコール基、ビニルアセテート基の影響に就いては次回に報告する予定である。

[IV] 結 言

各種エナメル線のピンホールの発生原因を述べたが、製作条件が原因でピンホールを作る要素が相当に多く、これを無くすることが電線メーカーとして極めて必要である。

しかし皮膜の本質からして加工によるピンホールの発生を或程度避け得られないものがあり、その代表がホルマール線である。ホルマール線が何故このようなピンホールを生ずるかは目下の処明確ではない。しかし、ホルマール線のピンホールも加熱により殆どなくすることが出来る。しかし製作条件と試験法によつて Cure が仲々現われず、ピンホールを無くすることが出来ない場合がある。例えば一度浸水、ピンホール試験したものは加熱してもピンホールが無くならない。

塗装条件による皮膜構成分子の縮合、重合、酸化等の

第 9 表 浸水後の加熱効果 (コイル数 5 箇) (8 倍径巻付)

Table 9. Cure of Enameled Wires Given Water Dipping

試 番	無処理	120°C 加 熱 時 間				
		7 分	15分	30分	1時間	3時間
No. 1	5	1	1	1	1	1
No. 2	4	0	0	0	1	0
No. 3	4	2	0	0	0	0
No. 4	5	0	0	0	0	0
No. 5	5	5	4	4	3	5
No. 6	5	1	0	0	0	0
No. 7	5	0	0	0	1	0
No. 8	5	0	0	1	0	0
No. 9	5	1	0	0	0	0
No. 10	5	2	1	1	1	0
No. 11	4	1	1	1	0	0
No. 12	5	0	0	1	0	1
No. 13	5	2	1	0	0	0
No. 14	5	2	2	2	0	0
No. 15	2	0	1	0	0	0
No. 16 (2倍)	1	2	1	1	1	1
No. 16 (4倍)	1	5	5	5	5	5

第 10 表 30 分 加 熱 の Cure

Table 10. Pinhole by 30 Minutes-Heating

試 番	無処理	60°C	80°C	100°C	110°C	130°C
No. 2	4	3	2	2	0	1
No. 9	5	4	1	1	0	0
No. 12	5	5	2	0	0	0

作用と、よつて生じた分子の構造と分子配合を考へて究明し、ホルマール線の Crazeing 現象 (ピンホールの生ずる現象) を起さないものを作ることを理想として進めている。

本報告取纏に当り種々御援助、御指導を賜つた日立製作所日立研究所鶴田博士、測定に協力された江尻義、矢田孝の諸氏に深謝する。

参 考 文 献

- (1) 間瀬、中谷：日立評論 26 454 (昭 18)
- (2) 間瀬：日立評論 34 499 (昭 27)
- (3) H. P. Kaufmann, K. Strüber: Fette u. Seifen 53 543 (1951)
- (4) 間瀬、萩野：工化投稿中 (第 12 報) (昭 28)
- (5) 間瀬：工化 54 349, 563, 565, 566 (昭 26) 55 143, 241, 584 (昭 27)
- (6) 増沢：日化 第 6 年回 94 頁 (昭 28)
- (7) W. Patnode, E. J. Flynn, J. A. Weh: Ind. Eng. Chem. 31 1063, 1939