

エナメル線皮膜の導体への接着性 (その一)

間 瀬 喜 好*

Adhesive Force between Enamel Film and
Conductor (Part 1)

By Kiyoshi Mase

Hitachi Wire and Cable Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

The adhesive force between the enamel film and the conductor is effected by the various factors. The Hardness of film among these factors is important. In this paper, author discussed the hardness and, adhesion of oil base film. The former is expressed by depression breadth H_x at constant pressing load and the latter is obtained by adhesive torsion number N which was deduce from hardness H_x , torsion number n_x , diameter of the wire and span length.

The adhesion of the film of Chinese tung oil which does not running is the greatest and increased adhesion was obtained by adding esterrosin.

[I] 緒 言

エナメル線は銅又はアルミ線に焼付ワニスに浸漬塗布後、フェルト又はゴム板、或は金属ダイスにて絞り、次に電気炉又はガス炉にて高温焼付けをなし、これを5~6回繰返し所要厚のエナメル線を作るのである。この際エナメル線の皮膜を導体に強固に接着させることは電線の一般的性能、特に機械的強度例えば屈曲、伸張特性等を高めることになる。従つて焼付ワニスと導体の接着力を考察することは優秀なエナメル線を作るために極めて重要である。

エナメル皮膜の接着機構は複雑で現在のところ判つていない。この機構に関して機械的接着説、固有接着説、一分子膜説、極性説、化学結合説等を一応取扱わなければならないが、この考察は後報することにして、先ず作業上の吟味は導体の表面条件、焼付ワニスの配合、塗装法と焼付度の調整等である。このような検討を施して出来上つたエナメル皮膜の接着性について、皮膜の物理性質と接着性とを関係づけて考えることは興味のあることであり、また重要なことでもある。この意味に於いて今回エナメル液の主材料である支那桐油のみの皮膜とエステルロジン系油性エナメル皮膜の接着性を知るために、皮膜硬度を検討し、この硬度因子を含む接着捻回数⁽¹⁾⁽²⁾

の多寡で比較した結果の一例を示すことにした。

[II] 接着力とその測定法の一般的考察

焼付ワニスを導体に強固に接着させるためには前述のように導体表面条件を先ず吟味しなければならない。例えば J. A. Weh⁽³⁾ は銅線表面を出来るだけ清浄にする方がよいと云い、また金丸氏、中島氏、H. L. Rice 等^{(4)~(7)} の云われているように被着面を大きくするためと、更に極性論的に考えて特殊化学処理を施す等が接着に関係する。しかし接着力だけを増加するために皮膜にピンホールの頻発するようなものではエナメル線としては考察外に置かなければならない。次にピンホールも皺もなく優れた接着力を与えるためには組成並にワニスの製造法が著しく影響する。即ちワニスの酸化重合の度合、組成による皮膜の強靱性、弾性、凝集性、脆度を考慮しなければならない⁽⁸⁾。例えば皺を無くすることは絶対条件であるから、油性系エナメルの主材料である支那桐油は固化過程に於て膨脹するに反し、亜麻仁油は収縮する⁽⁹⁾ ので、ある程度の亜麻仁油を配合することはその意味も含まれる。この亜麻仁油添加の接着力に及ぼす影響もまた興味がある。次に焼付条件、例えば焼付炉の構造、熱源の種類、温度分布、線速、一回塗布時の厚さ、繰返し塗布回数等により皮膜の機械的性質を異にして皮膜の接着力が変わる。焼付炉の構造と温度分布並に定配合によ

* 日立製作所日立電線工場

る線速の決め方の一例は既報⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾したようなものである。且つ一般には接着力は皮膜厚に関係するとされているが⁽¹²⁾⁽¹³⁾、エナメル線のように皮膜厚が約 0.013~0.05 mm の比較的薄い範囲では接着性が厚さに無関係であることは筆者⁽²⁾が明にした通りである。例えば以上のように接着性に関係する因子が非常に多く、考察に種々難かしさがある。

次にこの接着力の測定法であるが、R. J. Moore⁽¹⁴⁾ は皮膜の抗張力、伸から求めるか、直接皮膜を剥す力から求めるか、或は皮膜を剥ぐナイフの圧力によるかの 3 方法を示している。また H. Green & T. P. Lamattina⁽¹⁵⁾ もナイフ法を採用して接着性を求めている。しかし一般には焼付ワニスの接着力を求めたものよりは繊維素系皮膜の接着性をナイフで引掻くか、これに類する方式で求めたものが多い。例えば S. C. Britton⁽¹⁶⁾, H. Hadert,⁽¹⁷⁾ W. König⁽¹⁸⁾ の論文があり、本邦でも井上氏⁽¹⁹⁾ による種々研究されている。またこの方面の基礎考察としては畑、植松氏等の報告⁽²⁰⁾⁽²¹⁾ もあるが、焼付ワニスの接着力の測定については本邦では残念ながら皆無のようである。

しかるに先に W. Wolff & G. Pohler⁽²²⁾ はエナメル線を捻回し皮膜が銅線より剥離し始める迄の捻回剥離数 (n_x) と試料条件である線径 (d_x) 皮膜厚 (a_x)、皮膜硬度 (硬線で圧縮した窪みの最大幅 H_x)、並に測定条件の支点間隔 (l_x) との間で下記実験式を与え、接着捻回数 N を以て接着力を比較することが適切であるとした。

$$N = k \frac{n_x d_x}{l_x a_x H_x} \dots \dots \dots (1)$$

k : d_x, l_x, a_x, H_x による常数

詳細は不明であるが N は皮膜の一定硬度、単位厚、標準線径、標準長に於ける捻回剥離数を示すものと考えられる。この式がそのままわれわれのエナメル線に適用出来るか、どうか種々の条件で焼付したエナメル線について吟味した結果、筆者が既に詳報⁽¹⁾⁽²⁾したように

$$N = \frac{n_x d_x}{l_x (H_x - C)} \dots \dots \dots (2)$$

C : 恒数

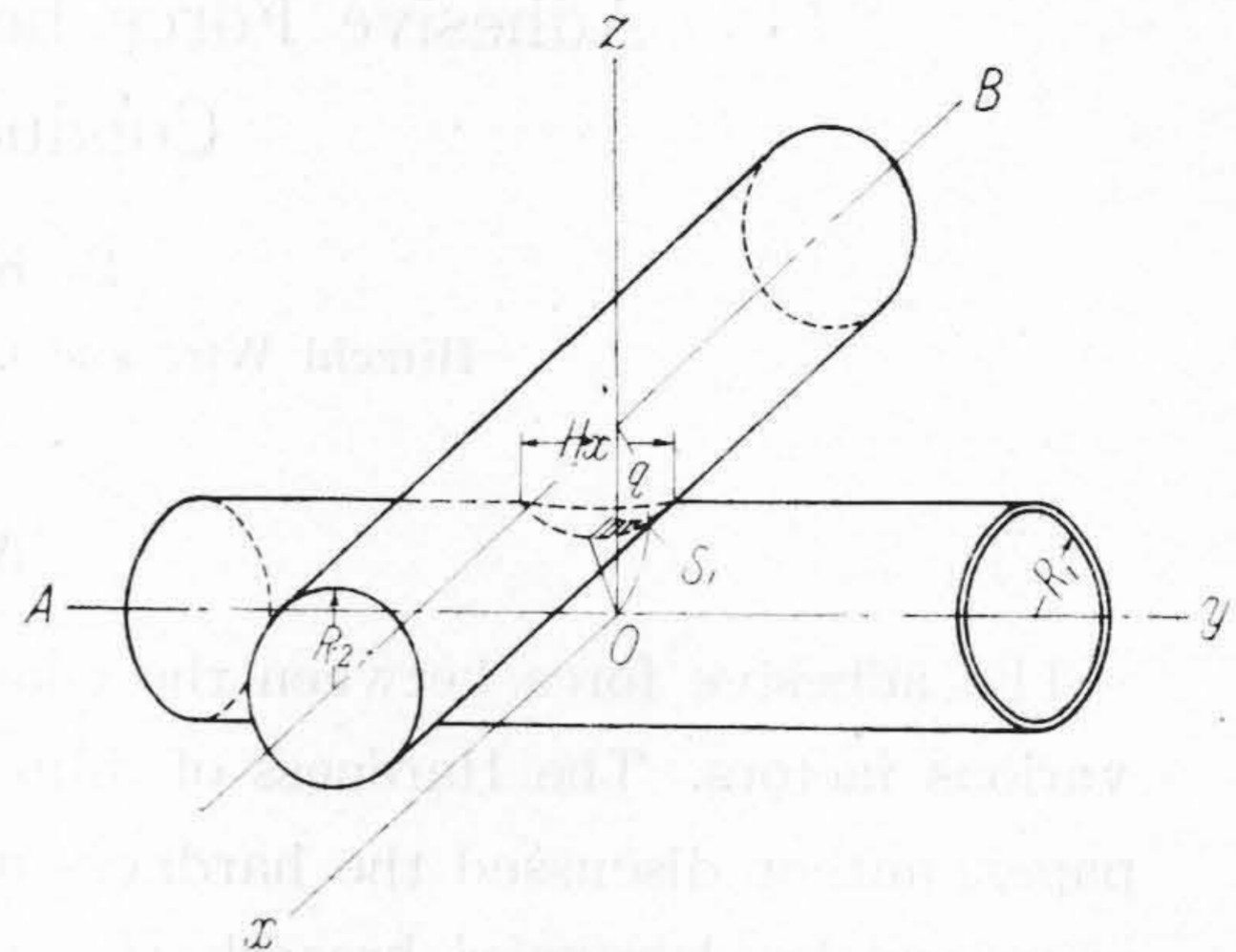
の関係となる。この際の皮膜硬度の吟味と (2) 式を用いて支那桐油皮膜とエステルロジン系油性エナメル皮膜の接着性の実測例を次に示す。

[III] 皮膜の硬度

皮膜の硬度は既に杉村氏が新案硬度計に述べられているように Brinell, Meyer, Marteus-Heyn, Rochwell, 松林式カタサメーター法等がある。ナメル線皮膜に於いては試料が平面でないため鋼球を使用することも出来

ない、従つて既報⁽³⁾の装置にてエナメル線と直角方向に 0.45mmφ の洋銀線を加圧し、加圧力と窪みの表面積、或は窪みの最大幅より硬度を考えて見ることにした。

エナメル線に洋銀線を加圧する状態は第 1 図のようにする。



第 1 図 エナメル線皮膜の窪み
Fig. 1. Depression of Enamel Film

即ち A をエナメル線、B を洋銀線として、それぞれの半径を R_1, R_2 mm とすれば荷重 P kg を加えて、B の中心軸と A の中心軸即ち y 軸との距離を q mm とする。図の斜線部の曲面積を S_1 mm² とすれば下式が成立する。

$$\begin{cases} x^2 + z^2 = R_1^2 \dots \dots \dots (3) \\ y^2 + (z - q)^2 = R_2^2 \dots \dots \dots (4) \end{cases}$$

(4)式より $y = \sqrt{R_2^2 - (z - q)^2}$

$$\frac{\partial y}{\partial z} = -\frac{z - q}{\sqrt{R_2^2 - (z - q)^2}}$$

$$\frac{\partial y}{\partial x} = 0$$

故に

$$\begin{aligned} S_1 &= \int_{q-R_1}^{R_1} \int_0^{\sqrt{R_1^2 - (q-R_2)^2}} \sqrt{1 + \left(\frac{\partial y}{\partial z}\right)^2} dx dz \\ &= \int_{q-R_1}^{R_1} \int_0^{\sqrt{R_1^2 - (q-R_2)^2}} \sqrt{1 + \frac{(z-q)^2}{R_2^2 - (z-q)^2}} dx dz \\ &= R_2 \int_{q-R_1}^{R_1} \int_0^{\sqrt{R_1^2 - (q-R_2)^2}} \frac{dx}{\sqrt{R_2^2 - (z-q)^2}} dz \\ &= R_2 \sqrt{R_1^2 - (q-R_2)^2} \int_{q-R_1}^{R_1} \frac{dz}{\sqrt{R_2^2 - (q-R_2)^2}} \\ &= R_2 \sqrt{R_1^2 - (q-R_2)^2} \left[\sin^{-1} \frac{z-q}{R_2} \right]_{q-R_1}^{R_1} \\ &= R_2 \sqrt{R_1^2 - (q-R_2)^2} \left(\sin^{-1} \frac{R_1 - q}{R_2} - \frac{3\pi}{2} \right) \dots \dots \dots (5) \end{aligned}$$

故に求める曲面積 S_{mm^2} は

$$S = 4S_1 = 4R_2 \sqrt{R_1^2 - (q - R_2)^2} \left(\sin^{-1} \frac{R_1 - C}{R_2} - \frac{3\pi}{2} \right) \dots\dots\dots(6)$$

となる。上式に於ける q は荷重に關係を有するもので実測に當つては q を求めないで、 H_x をコンパレーターにて求めるのである。よつて H_x より q は

$$q = \sqrt{R_2^2 - \left(\frac{H_x}{2}\right)^2} + R_1 \dots\dots\dots(7)$$

から求められ、結局 H_x より S を計算出来る。

このようにして得られる S から P/S を求めるか、 P を一定にして H_x を直接硬度と見做すかどうかを支那桐油皮膜を例にとり考察することにした。

支那桐油 (酸価 14.4, 鹼化価 192.8, 沃素価 137.1, 粘度エンゲラー 30.7, 25°C) を 10°C から 220°C に 50 分で上げ、最終加熱のものは 220°C で 75 分加熱し、230 分を要して 10°C に冷却し、温度上昇、降下時を 220°C の幾時間に該当するかを日月博士の方式⁽²⁴⁾⁽²⁵⁾ に依つて推算し得られる第 1 表の桐油を供試液とした。

次に導体として 0.5mm 径の銅線を炉長 2m, 平均焼付温度 264°C, 線速 3.14 m/min, 6 回繰返し塗布焼付した第 2 表に示す供試線のうち No. 1, No. 2, No. 4 に 0.45mm 径の洋銀線で 1~5 kg を荷重し、 H_x を求めたものが第 3 表~第 5 表であり、第 2 表の供試線に 3 kg 荷重のときの H_x は第 6 表である。

第 1 表 支那桐油の濃縮 (220°C)
Table 1. Running of Chinese Tung Oil (220°C)

試 番	7-No1	7-No2	7-No3	7-No4	7-No5
上昇時 (Min.)	0	8.1	8.1	8.1	8.1
降下時 (Min.)	0	37.5	37.5	37.5	37.5
220°C 加熱 (Min.)	0	0	55.0	65.0	75.0
220°C に換算時間 (Min.)	0	45.6	100.6	110.6	120.6

第 2 表 エナメル線の寸法
Table 2. Dimension of Enameled Wires

試 番	液	導 体 径		
		d_x (mm)	外 径 (mm)	皮膜原 (mm)
No. 1	7-No. 1	0.495	0.550	0.0275
No. 2	7-No. 2	0.495	0.530	0.0175
No. 3	7-No. 3	0.500	0.545	0.0225
No. 4	7-No. 4	0.495	0.548	0.0265
No. 5	7-No. 5	0.500	0.550	0.0250

第 3 表 No. 1 エナメル線の荷重と窪み幅
Table 3. Relation between Loading Weight and Depression Breadth of No. 1 Enameled Wire

荷 重 (kg)	窪み幅 H_x (mm)			回 数	平均偏差 (%)
	最 大	最 小	平 均		
1	0.258	0.209	0.229	15	6.07
2	0.276	0.235	0.258	15	3.72
3	0.331	0.270	0.301	15	2.90
4	0.378	0.320	0.349	15	4.15
5	0.435	0.390	0.409	15	2.61

第 4 表 No. 3 エナメル線の荷重と窪み幅
Table 4. Relation between Loading Weight and Depression Breadth of No. 3 Enameled Wire

荷 重 (kg)	窪み幅 H_x (mm)			回 数	平均偏差 (%)
	最 大	最 小	平 均		
1	0.287	0.267	0.250	15	4.8
2	0.333	0.248	0.286	15	5.6
3	0.350	0.302	0.324	15	4.6
4	0.390	0.330	0.357	15	3.6
5	0.450	0.385	0.410	15	2.9

第 5 表 No. 4 エナメル線の窪み幅
Table 5. Relation between Loading Weight and Depression Breadth of No. 4 Enameled Wire

荷 重 (kg)	窪み幅 H_x (mm)			回 数	平均偏差 (%)
	最 大	最 小	平 均		
1	0.27	0.20	0.232	30	6.6
2	0.32	0.235	0.286	30	4.8
3	0.49	0.290	0.310	30	5.2
4	0.40	0.342	0.371	30	5.1
5	0.45	0.38	0.416	30	4.5

第 6 表 3 kg 荷重に依る各エナメル線の窪み幅
Table 6. Depression Breadth of the Various Enameled Wires at 3 kg Load

試 番	窪み幅 H_x (mm)			回 数	平均偏差 (%)
	最 大	最 小	平 均		
No. 1	0.330	0.270	0.296	15	5.0
No. 2	0.335	0.280	0.299	15	4.4
No. 3	0.345	0.290	0.315	15	3.8
No. 4	0.345	0.290	0.316	15	4.5
No. 5	0.335	0.275	0.305	15	4.1

第 7 表 荷重に依る各試料の曲面積

Table 7. Cavity Area by Loading Weight of the Various Enamelled Wires

荷重 p (kg)	No. 1		No. 3		No. 4	
	$\frac{H_x}{2}$ (mm)	S (mm ²)	$\frac{H_x}{2}$ (mm)	S (mm ²)	$\frac{H_x}{2}$ (mm)	S (mm ²)
1	0.115	0.0614	0.125	0.0705	0.116	0.0435
2	0.129	0.0756	0.143	0.0964	0.143	0.0927
3	0.151	0.1093	0.162	0.1266	0.155	0.1183
4	0.175	0.1557	0.179	0.1628	0.186	0.1740
5	0.210	0.3439	0.205	0.2442	0.208	0.337

第 8 表 皮膜の硬度

Table 8. Hardness of Film

荷重 P (kg)	窪み面積単位当りの荷重 P/S (kg/mm ²)					
	No. 1	平均値に 対する比 (%)	No. 3	平均値に 対する比 (%)	No. 4	平均値に 対する比 (%)
1	16.3	78.8	14.2	69.5	23.1	107
2	26.5	116.2	20.7	100	21.6	100
3	27.4	124.0	23.7	114	25.4	117.8
4	25.7	116.5	24.6	118.5	22.9	106.2
5	14.5	65.7	20.5	98.8	14.8	68.7
平均	22.08		20.74		21.56	

第 9 表 桐油の濃縮度と皮膜の硬度 (3 kg 荷重)

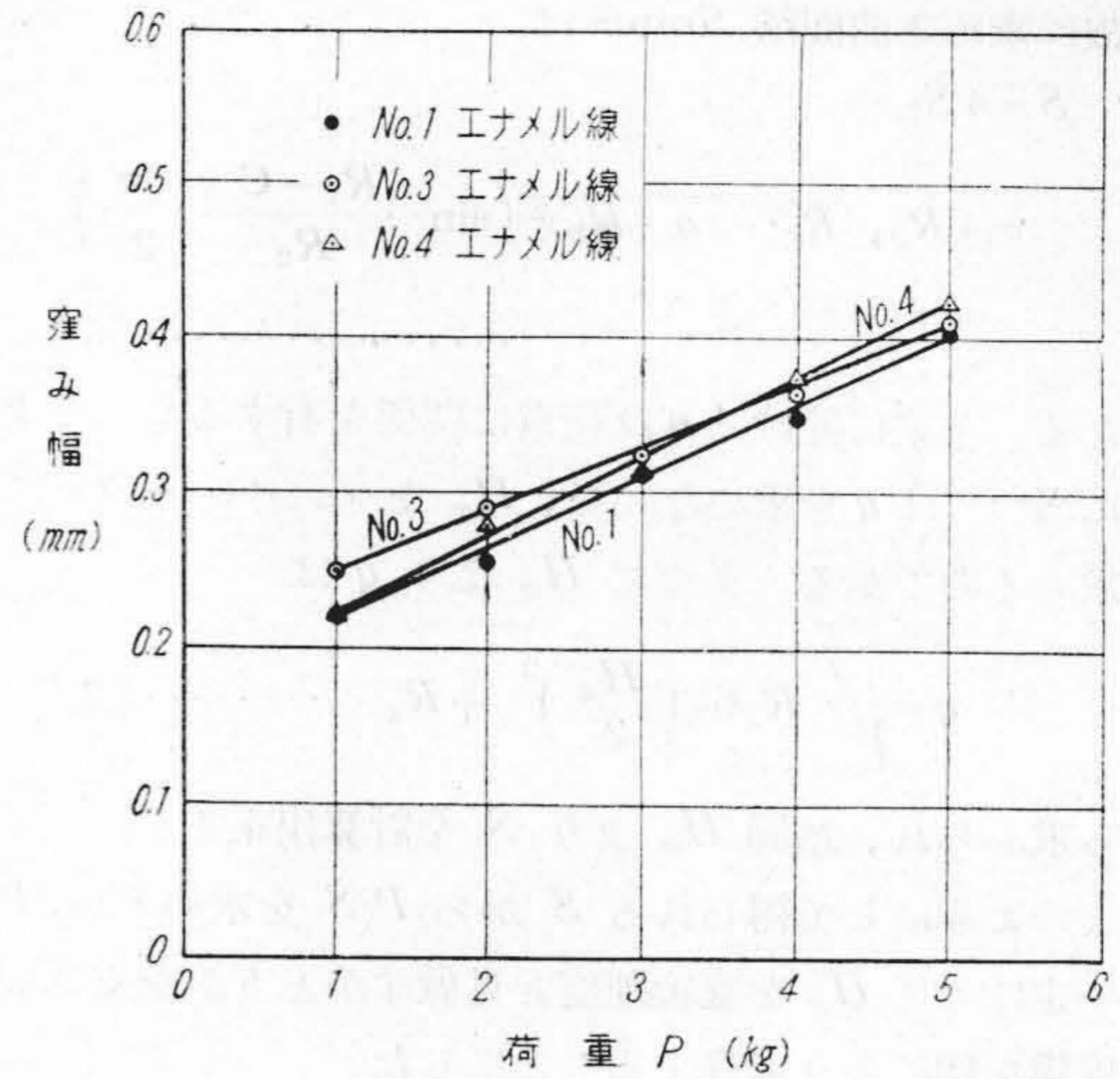
Table 9. Relation between Running of Tung Oil and Hardness of Film (3 kg Weight)

試番	R_1 (mm)	H_x (mm)	S (mm ²)	P/S (kg/mm ²)	P/H_x (kg/mm)
No. 1	0.275	0.296	0.1066	28.1	10.15
No. 2	0.265	0.300	0.0928	32.3	10.00
No. 3	0.273	0.316	0.1244	24.1	9.5
No. 4	0.274	0.316	0.1183	26.8	9.5
No. 5	0.275	0.306	0.1150	23.1	9.81

これ迄の概念からすれば P/S の方が普通であるが、第 7 表~第 9 表が示すように P/S にばらつきが多い、しかるに P による P/H_x がより一定している。更に P と H_x の関係は第 2 図のように直線関係になり、1~5kg では導体の影響を受けていないので、計算の簡便も考えて 3kg 荷重の H_x をもつて硬度と見做すことにした。

[IV] 皮膜の接着性

このようにして 3kg 荷重にて求めた支那桐油皮膜の硬度 H_x 、第 2 表の線径 d_x 、及び掴み間隔 $l_x=150$ mm



第 2 図 エナメル線の荷重と窪み幅

Fig. 2. Relation between Loading Weight and Depression Breadth on Enamelled Wire

162mm を実験式 (2) に代入して接着捻回数 N を求めると第 10 表の値が得られる。

第 10 表 支那桐油皮膜の接着性

Table 10. Adhesion of Film of Chinese Tung Oil

支那桐油の濃縮度 220°C での加熱時間 (min)	0	45.6	100.6	110.6	120.6
$n_x(l_x=150\text{mm})$	47	42.2	46.0	43.0	42.0
H_x-C (mm)	0.134	0.137	0.153	0.154	0.148
d_x (mm)	0.495	0.495	0.500	0.495	0.500
N	1.156	1.017	1.001	0.922	0.945

のときの捻回剥離数、及びこの皮膜固有の常数⁽²⁶⁾ $C=0$ 。

即ち支那桐油の皮膜はそれ自体の濃縮度により接着性を異にし、未濃縮のものが最も大きく、濃縮の進むに伴い減少する。従つて油性系エナメル線に供する桐油の濃縮は濃縮の少ないために生ずる皮膜の波状或は粒状を起さない程度の濃縮に止めた方がよい。

次にエステルロジン系油性エナメル、即ちエステルロジン 10.6% (重量比)、支那桐油 (濃縮は第 1 表 No. 5 程度) 25%、溶剤 64.4% の配合のものを用いて上記と同様に求めた結果の一例は $l_x=200$ mm, $d_x=0.5$ mm, $H_x=0.279$ mm, $n_x=106$ となり $N=2.65$ が得られる但し $C=0.179$ mm である。

この値は上記未濃縮支那桐油の 2.3 倍程度になる。この接着性増加は明かにエステルロジン添加によるものである。この他桐油に油溶性フェノールレジン、或はグリブタルレジンを追加することにより更に接着性が向上す

るものと私考する。

[V] 結 言

上記のようにエナメル線皮膜の硬度の決定は容易でないが、一定荷重時の最大窪み幅 (H_x) をもつて硬度と見做し得られるので、この硬度を接着性に関係ずけて考えた接着捻回数 (N) にて支那桐油皮膜を検討した結果、桐油の未濃縮のものが大きく、エステルロジン添加により著しく接着性の向上することを定量的に示し得た。

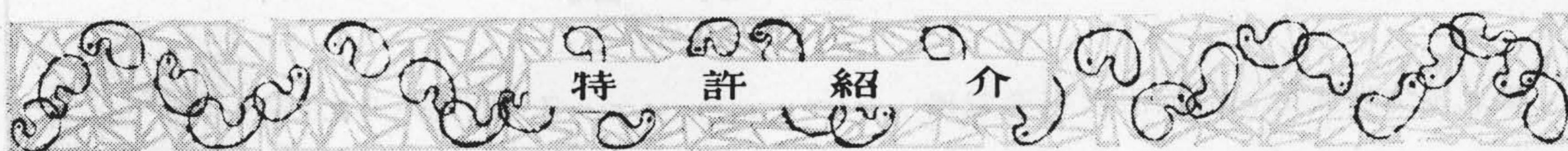
次回にホルマール線皮膜の接着特性の概要を報告する予定である。

最後に本研究に終始御懇篤なる御指導を賜つた前原工場長、山野井部長、日立研究所鶴田博士、測定に御協力された山本三郎、荻野幸夫両氏に感謝の意を表わす次第である。

参 考 文 献

(1) 間瀬: 工化 54 347 昭 26, (2) 間瀬: 工化 54 349 昭 26, (3) J. A. Weh: G. E. R. (4) 金丸: 有機材料 賦形論 141 頁 昭 23 (5) 金丸: 織学誌 2 82 昭 21, (6) 中島: 接着

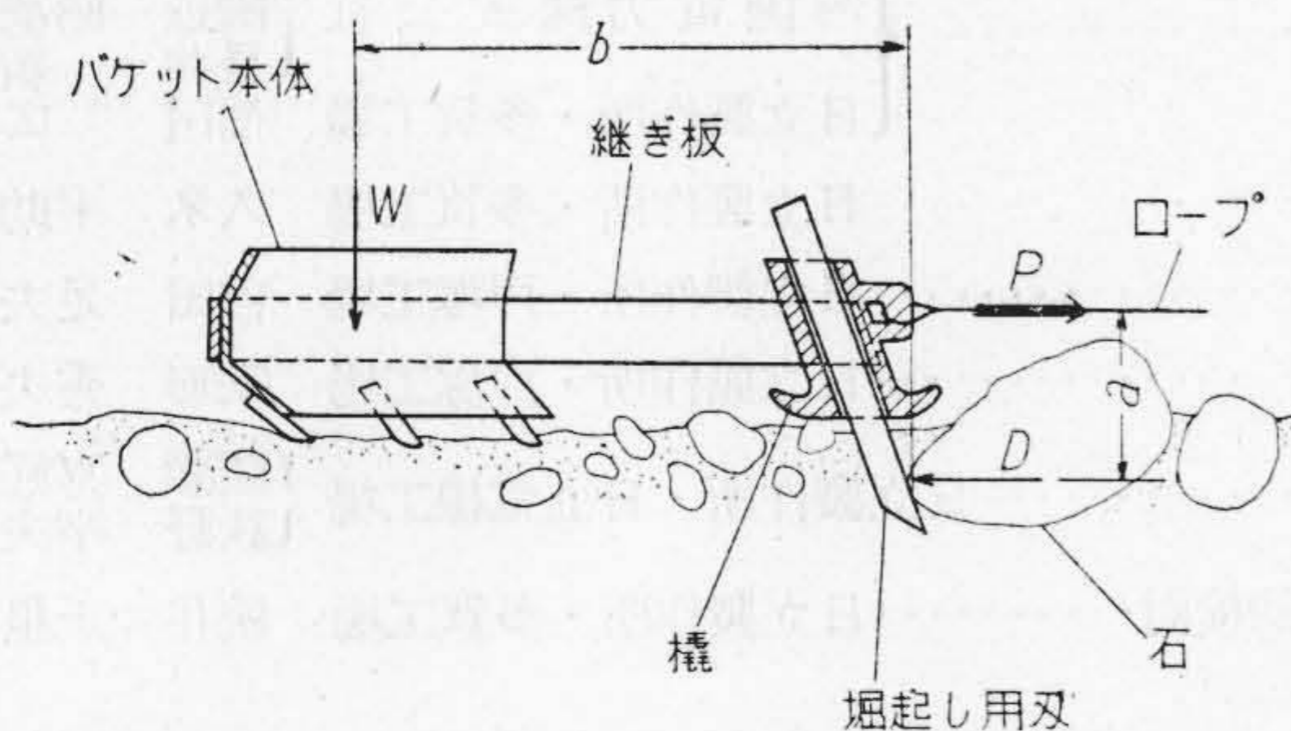
剤 110 頁 昭 26, (7) H. L. Rice: Org. Finishing 9 24~6, 41 1948, (8) 木下: 工化 45 1225 昭 17, (9) 松本: 工化 49 80 昭 21 (10) 間瀬: 日立評論 29 81 昭 22, (11) 間瀬: 日立評論 27 186. 昭 19, (12) A. D. McLaren and C. H. Hofriteter: Ind. Eng. Chem. 40 329 1948, (13) 谷: 高分子展望 第3集 90 頁 昭 25, (14) R. J. Moore: An. Paint J. 24 Convention Daily 18, 19, 20-1, 22-3 1939, (15) H. Green and T. P. Lamattina: Anal. Chem. 20 523~7 1948, (16) S. C. Bnnitton: Sheet Metal Ind. 25 1185-90, 1194 1948, (17) H. Hadert: Farbeu. Lack 56 399-400 1950 (18) W. König: Farben Ztg. 44 1230-2 1939, (19) 井上: 例えば工化 51 161 昭 23 (20) 畑: 高分子化学 4 67 22, (21) 畑, 植松: 高分子化学 4 77 昭 22, (22) 河野訳: 全科技連科学技術蒐録 1 42 1944, (23) 杉村: 機学誌 34 1389 昭 6, (24) 日月: 工化 46 45 C 1943, (25) 日月: 日立評論 27 147 1944, (26) 間瀬: 工化 54 563 昭 26



特許第 192201 号

安河内 春雄

スクレーパバケツト



バケツト本体に先行する掘起し用刃を、バケツト本体に連結して装備し、掘起し作業を良く行えるようにしたものである。

- W バケツト本体部分
- P ロープを引き寄せる引張力
- D 石に対する掘起し力
- a PD間の距離
- b WD間の距離

とすれば、

$$P = D = \frac{b}{a} W$$

が成立する。この式において $\frac{b}{a}$ を大きな値に設計すれば、バケツト本体部分の重量は小さくても強大な掘起し力を得ることが出来る。

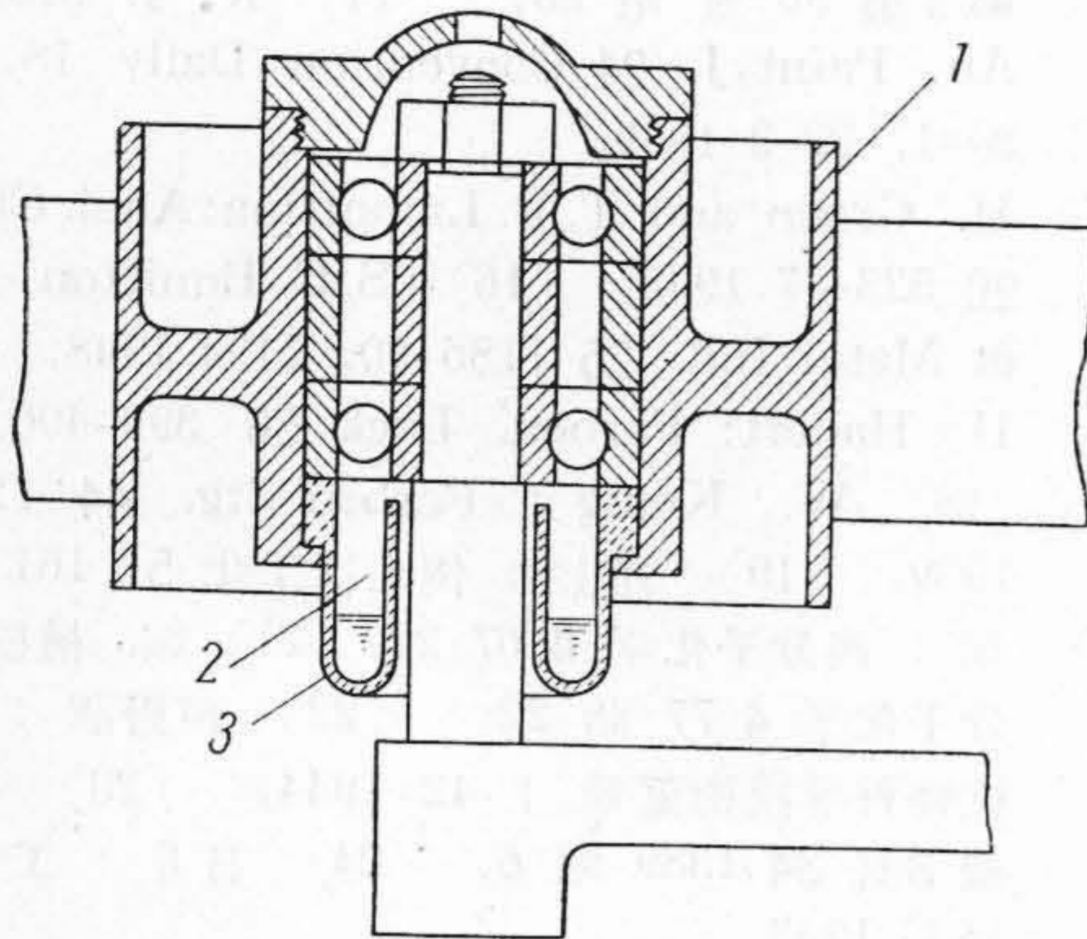
(富田)



登録新案第 384595 号

川崎光彦

ベルト緊張車



この新案は、垂直軸にボールベアリングを以て支持されたベルト緊張車 1 の下部に突出して透明物質性の断面 U 状の室 2 を有する油室 3 を設けたものである。従つて油室の油量を常に監視できると共に、回転中に於ける潤滑油の状態をも見得る効果がある。(田中)

第 34 卷 日立評論 第 5 号

東北電力株式会社沼沢沼水車発電機	日立製作所・日立工場	{ 深 栖 俊 一 菊 地 彌 十 郎 紛 沢 秀 夫 長 尾 善 右 衛 門
東北電力株式会社沼沢沼揚水発電所の制御装置	日立製作所・多賀工場	森 井 進
マズラ発電所納 12,500 kVA タービン発電機	日立製作所・日立工場	{ 高 林 乍 人 中 原 寿 雄
日立ユニットサブステーション	日立製作所・日立工場	{ 丹 秀 太 郎 池 田 正 一 郎
風冷式単極水銀整流器の発達	日立製作所・日立工場	{ 毛 利 銓 一 桑 島 千 秋
制弧遮断器による 60 kW 電力用蓄電器開閉試験	{ 四 国 電 力 株 式 有 限 公 司 日 立 製 作 所 ・ 多 賀 工 場	{ 重 松 忠 和 国 近 昭 徳 長 井 新 広 福 田 広
自動車用日立カーボンパイル発電機について	日立製作所・多賀工場	久 米 平 助
四号自動式及び共電式電話機	日立製作所・戸塚工場	吉 田 足 夫
集中レベル監視装置	日立製作所・戸塚工場	家 形 秀 夫
マグネットワイヤ用ポリアミド樹脂について	日立製作所・日立電線工場	{ 間 瀬 喜 好 萩 野 幸 夫
圧縮荷重を受ける円環の撓みの簡易計算式の誘導と実験的検討	日立製作所・多賀工場	松 井 千 里

東京都品川区
大井坂下区 2717

日立評論社

誌代 100 円 千 12 円
 半年分 360 円 千 70 円
 一年分 720 円 千 120 円