

日立塗装用粉末樹脂の特性

Properties of Hitachi Coating Powder Resins

齋藤 茂* 杉江 忠*
Shigeru Saitō Tadashi Sugie

要 旨

流動浸漬法、粉末吹付法などの粉末塗装用として開発した日立塗装用粉末樹脂 F111, F112, F113 (いずれもエポキシ樹脂系)、および F220 (ポリエステル樹脂系) の粉末特性、塗装皮膜などの諸特性を測定し、F111, F112 は一般絶縁、防食用に、F113 は低温硬化の塗装、防食用として、また F220 は耐熱性のよい絶縁用としてそれぞれすぐれた特性をもつことを紹介した。

1. 緒 言

最近の絶縁塗装は合成樹脂工業の発展にともなって、従来の溶剤形塗装から、火災などの危険が少なく、作業性が良好な無溶剤形塗装および水性塗料による塗装に移行しつつある。E. Gemmer 氏によって発明された流動浸漬法⁽¹⁾に代表される粉末塗装方式による絶縁、防食塗装もこの方向に沿った新しい塗装法といえよう。

粉末塗装法の長所、短所についてはすでに種々論じられており⁽²⁾、方法によっても差異はあるが、流動浸漬法の長所、短所はつぎのとおりである。

長所としては

- (1) 均一な皮膜が短時間ででき、厚みが自由に調節できる。
- (2) 部分的な皮膜厚みの変更が可能である。
- (3) 粉末の損失が少なく、経済的である。
- (4) 同一形状のものの多量生産が可能である。
- (5) 無溶剤塗装であるから作業上も安全である。
- (6) 金属との密着が良好である。
- (7) 補修が容易である。

欠点としては

- (1) 樹脂粉末の作製がむずかしい場合が多く、高価である。
- (2) 0.1 mm 以下の連続した一様な皮膜をうるのが困難である。
- (3) 塗装する物体の大きさが流動そうの大きさに制限される。

などがあげられている。

一般塗装、防食の分野では、これらの長所を生かし、種々の工夫によって欠点を補いつつ、熱可塑性粉末樹脂を使用した粉末塗装法がますます発展の途上にある。一方、絶縁材料の分野でも、早くからこの粉末塗装法が注目され、いろいろ検討されていたが、粉末塗装法に使用される粉末樹脂も熱可塑性からさらに熱硬化形へと発展し、耐熱性、耐寒性を要求される絶縁用を使用することが可能となった。そのため、現在、小形低電圧機器の絶縁からさらに大形高電圧機器へと用途が広がりつつある。日立化成工業株式会社においても電気絶縁および防食用熱硬化形粉末樹脂を開発し、需要に応じうる体制にあるが、本報ではこれらの粉末塗装用樹脂の特性を紹介する。

2. 粉末塗装法の概要

はじめに種々の粉末塗装法の概略をのべる。

2.1 流動浸漬塗装法 (Fluidized Bed Coating)

多孔質板の底部を持つ流動そうに粉末樹脂を入れ、多孔質板を通して底部から圧搾空気を送り、粉末を流動させる。別に、被塗装物を粉末の融点以上に予備加熱 (以下、予熱と略す) しておき、これ

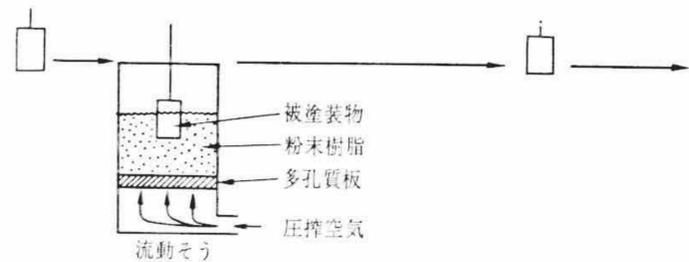


図1 流動浸漬法による塗装工程

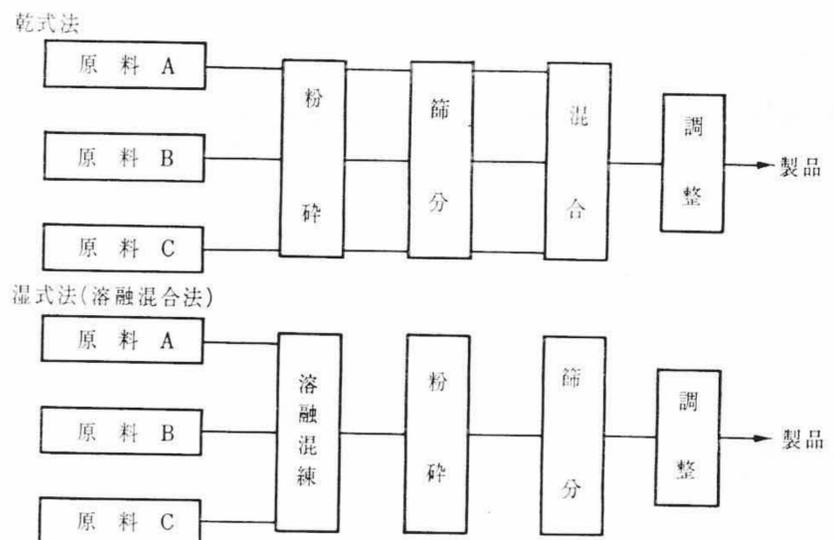


図2 粉末塗装用熱硬化性樹脂粉末の製造法

を流動状態にある粉末中に浸漬し、粉末を被塗装物の表面に融着する。その後、加熱硬化により平滑な皮膜をうる。塗装過程を図1に示す。

2.2 粉末吹付法 (Powder Spray Coating)

被塗装物を粉末の融点以上に加熱しておき、これに粉末用スプレガンで粉末を吹付け融着させる。その後の処理は2.1と同じである。

2.3 溶射塗装法 (Flame Spray Coating)

火炎と粉末を同時にスプレガンにより吹付け、溶融した樹脂を被塗装物表面に融着させて皮膜を形成する。

2.4 静電吹付塗装法 (Electrostatic Spray Coating)

粉末用スプレガンと被塗装物間に電圧をかけ、粉末を帯電させて吹付け、被塗装物に静電的に付着させる。その後、電圧を除き加熱して皮膜とする。

3. 粉末製造法の概略

筆者らが検討している熱硬化形粉末樹脂の代表的な製造法を図2に示す。熱硬化形粉末は一般に原料樹脂と硬化剤もしくは硬化促進

* 日立化成工業株式会社山崎工場

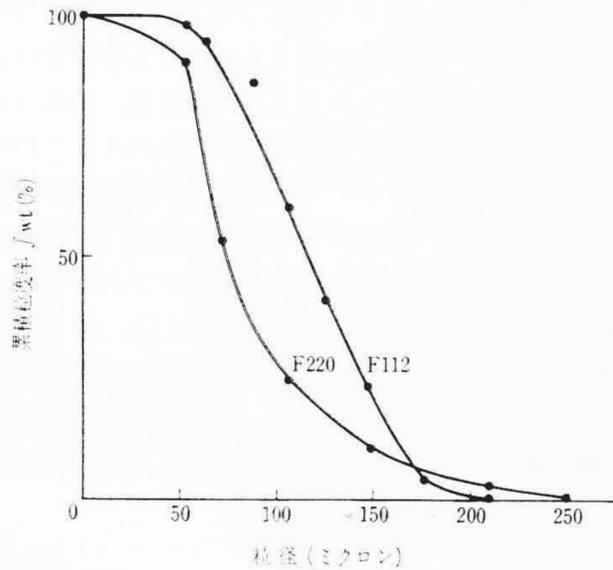


図3 粉末樹脂の累積粒度率

剤からなるが、粉末保存性の点からその混合方法が問題となる。初期には乾式混合法が採用されたが、皮膜の特性が悪いため、ついで湿式法(溶融混合法)が用いられた。この場合、加熱溶融するため、硬化剤は主として潜在性のものが使用される。このほか、両方法を組み合わせた製造法も行なわれている。

4. 粉末および皮膜の試験方法

粉末樹脂および粉末塗装法による皮膜の試験法は現在特に規定されていないので下記の方法で試験した。今後、これらの点もしいに規定されていくべきものとする。

4.1 粉末樹脂特性試験法

融点： 微量融点測定器を使用し、第一次融点は粉末表面の融け始めと終りの温度を、第二次融点は粉末どうしの融着温度を示す。
 かさ比重： 粉末試料約 100 g を容量 1,000 cc のメスシリンダにとり、かさ高さが変化しなくなるまでゴム板上でたたき、そのときの容積と粉末重量から算出する。

ゲル化時間： 粉末試料 0.1 g を使用し、JIS C-2104 (電気絶縁塗料用 100% 油溶性フェノール樹脂試験方法) に準じ、熱板法により測定する。

水平流れ率： 粉末試料 1 g を 1,000 kg/cm² の圧力で径 15 mm、高さ 4 mm の錠剤に成形する。これを鋼板にのせ 140℃、10 分間加熱した後の錠剤の平均直径を測定し、次式により水平流れ率を算出する。

$$\text{水平流れ率 (\%)} = \frac{d-d_0}{d_0} \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 d_0 ： 始めの錠剤の直径

d ： 加熱溶融後の直径

無機質分： 容量約 30 cc のルツボに粉末約 2 g を精秤し、800℃ で有機質分を燃焼し、残留分より算出する。

4.2 皮膜特性試験法

衝撃強さ： 両面塗装した試験片を用い、JIS-K 5580 (塩化ビニル樹脂塗料試験方法) に準じ、デュボン式衝撃試験機を使用する。荷重 500 g および 1 kg、撃心 1/4 インチ。

エリクセン： 両面塗装試験片を使用し、JIS-B 7777 (エリクセン試験方法) に準ずる。

耐曲げ性： 両面塗装試験片を用い、JIS-C 2103 (電気絶縁用ワニス試験方法) で使用されているマンドレル曲げ試験機でクラックのはいらない最小曲げ半径を測定する。

吸水率： 20×20×0.3 mm の皮膜を 25℃ の水中に浸漬し、重量変化で測定する。

表1 各種粉末の特性

種類 記号	エポキシ系			ポリエステル系
	F111	F112	F113	F220
用途	流動浸漬塗装用	流動浸漬塗装用	流動浸漬塗装用	流動浸漬塗装用 スプレ塗装用
特性				
融点(℃)	第1次 82.5~85.5 第2次 87	68.0~74.0 79	59.0~68.0 76	78.0~85.0 95
かさ比重 (g/cc)	0.795 (0.7±0.1)	0.716 (0.7±0.1)	0.724 (0.7±0.1)	0.840 (—)
ゲル化時間(秒)	200℃ 125.4 (150±50)	200℃ 86.8 (80±10)	150℃ 310 (300±50)	200℃ 335 (—)
水平流れ率(%) (140℃, 10分)	64.2 (—)	20.0 (17±5)	15.0 (17±5)	65 (—)
無機質分(%)	20.87 (—)	17.0 (<20)	19.0 (<20)	4.1 (<20)

数字は測定値の一例、() 内は規格値を示す。

表2 粉末特性と他特性との定性的な関係(流動浸漬法の場合)

粉末特性	項目	融点		粒径	かさ比重	ゲル化時間	水平流れ率
		第一次	第二次				
特性の変動		低→高	低→高	小→大	小→大	短←長	小←大
作業性	項目	①予熱温度 ②浸漬時間		流動状態	流動状態	予熱温度	
粉末特性の変動による影響	①低→高 ②短→長			不良→良好 →不良	不良→良好 →不良	高→低	
皮膜特性	項目	膜厚	皮膜表面状態	皮膜表面状態	皮膜表面状態	皮膜表面状態	①角部膜厚 ②表面状態
粉末特性の変動による影響	厚→薄	良好→不良	不良→良好 →不良	不良→良好 →不良	不良→良好 →不良	不良→良好 →不良	①厚→薄 ②不良→良好 →不良

線膨張係数： 100×10×10 mm の皮膜を使用し、ASTM-D 696 (Test for Coefficient of Linear Thermal Expansion of Plastics) に準ずる。

加熱減量： 100×50 mm の塗装試験片を用い、150、200℃ で 24 時間加熱したときの重量損失から計算する。

絶縁破壊の強さ： 両面塗装試験片を用い、JIS-C 2103-16 (電気絶縁用ワニス試験方法) に準ずる。

体積抵抗率： 片面塗装試験片を用い、DC 500V を印加し、直偏法で測定する。

誘電率、誘電正接： 片面塗装試験片を用い、シエーリングブリッジを使用し、1,000V、60 c/s で測定する。1 kc、1 Mc の値は広帯域誘電体測定装置による。

耐アーク試験： 両面塗装試験片を用い、ASTM-D 495 (Test for High-Voltage, Low-Current Arc Resistance of Solid Electrical Insulating Materials) に準ずる。

5. 粉末樹脂の特性

粉末樹脂は粉末であるがゆえに、他の絶縁ワニス、テープ、クロス、塗料などと同じ目的で使用されるにもかかわらずまったく別の特性で規制される。粉末を規制するものは融点、粒径、粒度分布、比重などであるが、粉末塗装法においてもこれらは塗装作業条件、皮膜特性を左右する重要な性質である。粉末樹脂の特性を表1に、また粒度分布を図3に示す。

これらの粉末の物理化学的特性が、塗装時および皮膜硬化時に及ぼす影響については、現在いろいろ検討中であるが、いままでにわかっていることを定性的にまとめたのが表2である。たとえば、同一条件で皮膜化すると低融点の粉末は厚い、高融点の粉末は薄い皮膜となる。また、ゲル化時間が短い、または水平流れ率が小さい粉末とゲル化時間が長い、または流れ率が大きい粉末を同一条件で皮膜化すると前者には角部膜厚がやや厚く、かつ皮膜表面がやや悪いなどの現象がみられる。しかも、同一配合でゲル化時間の短い

粉末を作成すると融点が高く、水平流れ率が小さくなるなど、これらの物理化学的粉末特性は相互に関連があるので、どの特性が真に独立し粉末を規制するものであるかということは今後さらに究明しなければならない問題である。

6. 硬化条件と皮膜特性の関係

熱硬化形粉末による皮膜の特性はその硬化条件によって左右される。ここでは流動浸漬法による粉末融着後の硬化条件と皮膜の機械的および電気的特性の関係を検討し、結果を表3~5に示す。流動浸漬法での予熱-浸漬条件は各表の注に示されているが、同じ膜厚にするため、粉末によって多少変更している。

F111, F112は180℃, 30分の硬化でも十分実用可能な特性を示すが、さらに高温、長時間硬化することによって特性は向上する。F113は110℃, 60分硬化がもっともよく、高温、長時間の硬化はむしろ特性を低下する。130℃以下の低温硬化用としての使用が望ましい。F220はこれらのエポキシ系粉末より高温(200℃以上)の硬化が必要である。以上の結果から最適と推定する硬化条件を表6に示す。比較のため現在、塗装用、防食用に使用されている熱可塑性粉末の最適塗装条件を引用して表6に示したが⁽³⁾、熱硬化形粉末の予熱、硬化温度が240~250℃以下であるのに対して熱可塑性粉末の処理温度は比較的高温である。これは、皮膜形成能を有する熱可塑性樹脂は一般に高分子量のため、高融点であるか、または低融点で

表3 F111, F112の硬化条件と皮膜特性

樹脂	皮膜特性	硬化温度(℃)		180				200				220		
		硬化時間(分)	30	60	90	20	30	40	50	10	20	30		
F111	膜厚 (mm)		0.375	0.355	0.355	0.370	0.375	0.375	0.320	0.405	0.385	0.390		
	衝撃 (cm) 1kg-1/4in		10~15	15	15	10	15	20	20	20	15~20	20~25		
	エリクセン (mm)		0.5	1.1	0.7	0.5	1.8	1.8	1.6	1.4	1.7	1.8		
	誘電率 { 60~1,000V	20℃		4.50	4.60	4.57	—	4.13	4.24	3.79	4.09	4.0	3.76	
		100℃		6.07	5.96	5.84	—	5.28	5.23	4.04	6.22	5.54	5.26	
	誘電正接(%) { 60~1,000V	20℃		0.69	0.61	0.54	—	0.53	0.52	0.53	0.55	0.49	0.50	
		100℃		8.25	5.81	5.80	—	6.43	4.96	2.87	7.28	4.49	4.17	
	体積抵抗率 (Ω-cm) DC500V, 30秒, 100℃		5.54×10 ¹¹	3.46×10 ¹²	4.26×10 ¹²	—	8.17×10 ¹¹	2.58×10 ¹²	6.85×10 ¹²	4.20×10 ¹¹	2.79×10 ¹²	7.25×10 ¹²		
	絶縁破壊電圧 (kV) 常温油中		18.7	18.3	18.4	—	18.2	18.0	17.5	18.3	18.1	17.6		
皮膜状態		◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎			
F112	膜厚 (mm)		0.290	0.355	0.260	0.295	0.300	0.290	0.290	0.325	0.355	0.330		
	衝撃 (cm) 1kg-1/4in		15	15	10	20	20	25	25	15~20	20	15		
	エリクセン (mm)		1.2	0.9	1.9	0.4	0.6	1.0	1.3	1.4	1.3	1.8		
	誘電率 { 60~1,000V	20℃		4.50	4.48	4.45	—	4.47	4.33	4.31	4.25	4.25	4.22	
		100℃		5.75	5.32	4.75	—	4.94	4.69	4.51	4.48	4.38	4.22	
	誘電正接(%) { 60~1,000V	20℃		0.78	0.70	0.63	—	0.66	0.60	0.58	0.55	0.48	0.45	
		100℃		10.8	10.4	7.15	—	9.86	7.32	6.66	3.42	1.97	1.73	
	体積抵抗率 (Ω-cm) DC500V, 30秒, 100℃		2.62×10 ¹¹	3.12×10 ¹¹	8.15×10 ¹¹	—	3.75×10 ¹¹	8.18×10 ¹¹	9.70×10 ¹¹	1.8×10 ¹²	5.21×10 ¹²	6.5×10 ¹²		
	絶縁破壊電圧 (kV) 常温油中		17.0	17.1	16.8	—	16.2	16.4	16.0	16.5	15.1	15.4		
皮膜状態		◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎			

(注) ◎良好 ○やや悪い 皮膜作成条件……基材 1mm厚鋼板, 予熱温度 200℃, 浸漬時間 3秒

表4 F113の硬化条件と皮膜特性

皮膜特性	硬化温度(℃)		110			130			150		
	硬化時間(分)	30	60	90	20	30	40	10	20	30	
膜厚 (mm)		0.315	0.305	0.300	0.315	0.314	0.303	0.307	0.352	0.305	
衝撃 (cm) (1kg-1/4in)		35	50	50	<5	15	20	<5	5	15	
エリクセン (mm)		0.37	1.22	1.73	0.15	0.21	0.41	0.10	0.16	0.19	
誘電率 { 60~1,000V	20℃		4.98	4.80	4.73	4.83	4.40	4.76	4.85	4.94	4.55
	100℃		6.44	6.44	6.19	6.03	5.66	5.31	5.72	6.80	6.81
誘電正接(%) { 60~1,000V	20℃		2.93	2.87	2.70	2.86	2.58	2.59	3.00	2.95	2.39
	100℃		18.3	18.3	20.2	22.9	18.5	19.5	17.2	19.1	21.8
体積抵抗率 (Ω-cm) DC, 500V, 100℃		2.25×10 ¹¹	2.65×10 ¹¹	2.17×10 ¹¹	2.12×10 ¹¹	3.94×10 ¹¹	3.9×10 ¹¹	31.8×10 ¹¹	2.65×10 ¹¹	4.71×10 ¹¹	
絶縁破壊電圧 (kV) 常温油中		14.2	14.8	14.6	13.3	13.5	13.0	12.5	13.0	14.2	
皮膜状態		◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	○	○	

(注) ◎良好 ○やや悪い 皮膜作成条件: 基材 1mm厚鋼板, 予熱温度 150℃, 浸漬時間 3秒

表5 F220の硬化条件と皮膜特性

皮膜特性	硬化温度(℃)		220			240			250		
	硬化時間(分)	60	90	120	30	40	50	10	20	30	
膜厚 (mm)		0.325	0.375	0.300	0.325	0.325	0.300	0.325	0.325	0.325	
衝撃 (cm) (1kg-1/4in)		10	15	25	15~20	15~30	>50	5>	5~10	15~25	
エリクセン (mm)		0.25	0.73	2.62	1.03	3.50	3.67	0.21	0.41	0.96	
誘電率 { 60~1,000V	20℃		3.32	3.58	3.24	4.19	3.25	2.94	3.77	3.76	3.57
	100℃		6.43	4.84	4.20	5.19	4.36	3.65	5.20	5.18	5.06
誘電正接(%) { 60~1,000V	20℃		0.20	0.24	0.24	0.29	0.32	0.24	0.42	0.43	0.30
	100℃		6.73	6.30	6.00	7.13	6.50	6.22	7.05	6.98	5.39
体積抵抗率 (Ω-cm) DC, 500V, 100℃		6.28×10 ¹²	1.15×10 ¹³	2.73×10 ¹³	1.40×10 ¹²	1.97×10 ¹³	9.05×10 ¹²	1.00×10 ¹²	7.50×10 ¹³	6.70×10 ¹³	
絶縁破壊電圧 (kV) 常温油中		12.7	12.5	13.8	12.5	12.8	12.9	13.0	12.9	13.0	
皮膜状態		○	○	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	

(注) ◎良好 ○やや悪い 皮膜作成条件: 基材 1mm厚鋼板, 予熱温度 240℃, 浸漬時間 3秒

あっても溶融粘度が高いので低温処理では平滑な表面が得にくいためである。200℃前後の比較の実用しやすい温度で皮膜化が可能なことは熱硬化形粉末の一つの長所といえよう。

表6の硬化条件はたいいていの場合そのまま適用できるが、被塗装物の材質、形状、熱容量、熱伝導率および要求される膜厚によって予熱—浸漬—硬化条件も異なってくるので、実際の塗装にあたっては予備実験が必要である。

7. 皮膜の特性

粉末塗装による皮膜は液状の塗料、ライニングによる皮膜との本質的な差異はない。しかし、粉末塗装法では静電塗装法を除いて膜厚0.1ミクロン以下の均一な皮膜を形成するのは困難なので、膜厚の点からはむしろライニング塗装に近いといえる。以下、皮膜の諸特性の測定結果を示す。皮膜化はすべて流動浸漬法で行なわれた。

表6 各種粉末樹脂の最適塗装条件

樹脂 記号	エポキシ									ポリエステル		
	F111			F112			F113			F220		
予熱温度(℃)	160~220			140~200			110~150			200~250		
硬化温度(℃)	180	200	220	180	200	220	110	130	150	220	240	250
硬化時間(分)	60	40	20	60	30~40	20	60	30~40	—	90	40	30

樹脂 条件	塩化ビニル	アセチル ブチル セルローズ	ナイロン	ポリエチ レン	ペントン	テフロン
予熱温度(℃)	232~288	260~316	343~427	260~316	260~343	427~538
後加熱温度(℃)	204~316	204~288	343~371	204~316	232~316	427~482
後加熱時間(分)	1~3	1~3	1	1~5	1~10	1~3

表7 試料皮膜の作成条件

樹脂	F111	F112	F113	F220
予熱温度(℃)	200	200	150	240
硬化温度—時間(℃/分)	200—40	200—30	130—30	240—40
膜厚(mm)	0.3~0.4	0.3~0.4	0.3~0.4	0.3~0.4
基 材	1mm 厚 鋼 板			

表8 各種粉末樹脂の皮膜特性

特 性	樹 脂 区 分 記 号	エポキシ系			ポリエステル系	エポキシ系	ポリエステル系		
		F111	F112	F113	F220	A社製	B社製		
機 械 的 特 性	耐 衝 撃 性	1kg-1/4in (cm)	20	20	500g-1/4in 15	25	20	35	
	エリクセン	(mm)	1.8	0.6	0.21	3.50	0.70	3.70	
	耐 曲 げ 性	最小曲げ半径 (mm)	20	35	>60	50	>60	>60	
	硬 度	パーコール 935形	80	84	80	82	86	81	
物 理 的 特 性	吸 水 率	(%) 25℃浸水24時間後	0.5	0.54	0.28	1.0	0.10	1.04	
	加 熱 減 量 (24時間後)	135℃	0.91	0.25	0.45	0.15	—	0.20	
		150℃	2.36	0.55	0.70	0.45	100時間<1.0	0.42	
		200℃	4.99	2.25	2.76	3.70	—	2.27	
熱膨張係数	(ASTM) cm/cm/℃	—	-20℃~110℃ 5.5×10 ⁻⁵ 110℃~160℃ 1.48×10 ⁻⁴	—	—	—	—		
電 気 的 特 性	絶縁破壊の強さ	25℃油中(kV/0.1mm)	4.79	5.40	4.28	3.94	3.96	3.80	
	耐アーク性	(秒)	131	130	128	183	137	140	
	誘電正接	60c/s { 25℃ 100℃	1kc 25℃	0.52	0.66	2.58	0.32	0.53	0.54
			1kc 100℃	4.96	9.86	18.5	6.50	5.60	4.70
			1Mc 25℃	0.67	0.93	0.30	0.66	—	—
			1Mc 100℃	3.36	3.03	2.0	3.11	—	—
	誘電率	60c/s { 25℃ 100℃	1kc 25℃	4.24	4.47	4.40	3.25	3.61	4.10
			1kc 100℃	5.23	4.94	5.66	4.36	5.87	4.60
			1Mc 25℃	4.03	3.77	3.8	3.81	—	—
			1Mc 100℃	4.21	3.42	3.7	3.67	—	—
体積抵抗率	(Ω-cm) 25℃ 直偏法 DC500V 30秒 100℃	>10 ¹⁵ 2.58×10 ¹²	>10 ¹⁵ 3.75×10 ¹¹	>10 ¹⁵ 3.94×10 ¹¹	>10 ¹⁵ 1.97×10 ¹³	>10 ¹⁵ 3.5×10 ¹³	>10 ¹⁵ >5×10 ¹²		

7.1 常態での皮膜特性

表6の最適硬化条件のうち表7の条件で作成した皮膜の常態での諸特性の測定結果を表8に示す。比較のため外国のA, B社製品についても測定し、表8に併記した。耐衝撃強さでは粉末間の差はほとんどみとめられないが、エリクセン、耐曲げ性はF111がもっともよく、ついでF220, F112の順である。電気特性ではポリエステル系のF220の絶縁破壊強さがやや低い。これ以外の特性では粉末間の差はあまりみられない。温度上昇のない通常の条件で使用する場合ほどの粉末による皮膜でもそれほど差はないといえる。全般的にいて粉末塗装法による皮膜は、同じ膜厚で比較した場合溶剤形塗料による皮膜、無補強のライニング皮膜よりすぐれているといえよう。

7.2 皮膜電気特性の温度特性

7.2.1 絶縁破壊の強さの温度変化

皮膜の絶縁破壊の強さの温度変化を図4に示す。F111, F112は温度が高くなるにつれて徐々に低下する。F113, F220はいったん上昇するが、この原因は不明である。相互の比較では、F111とF220は高温での低下が比較的少ない。

7.2.2 体積抵抗率の温度変化

体積抵抗率の温度変化を図5に示す。F111とF112はほとんど差がなく、温度とともに低下しているが、F113は80℃付近、

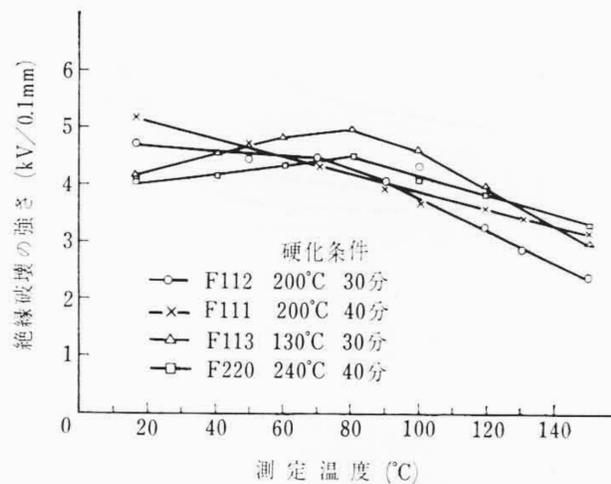


図4 絶縁破壊の強さの温度特性

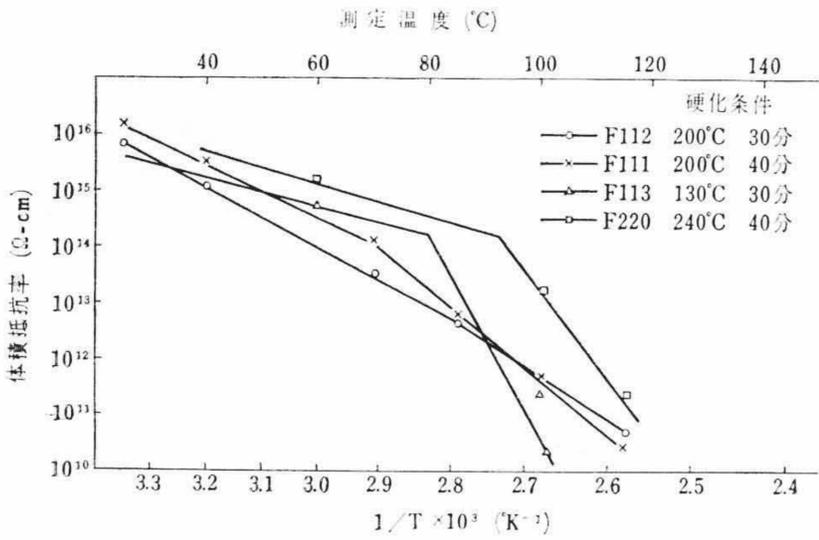


図5 体積抵抗率の温度特性

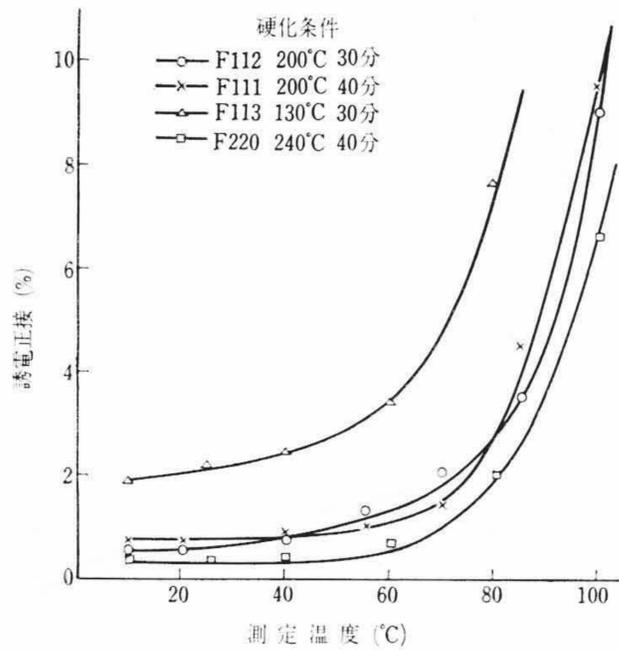


図6 誘電正接の温度特性

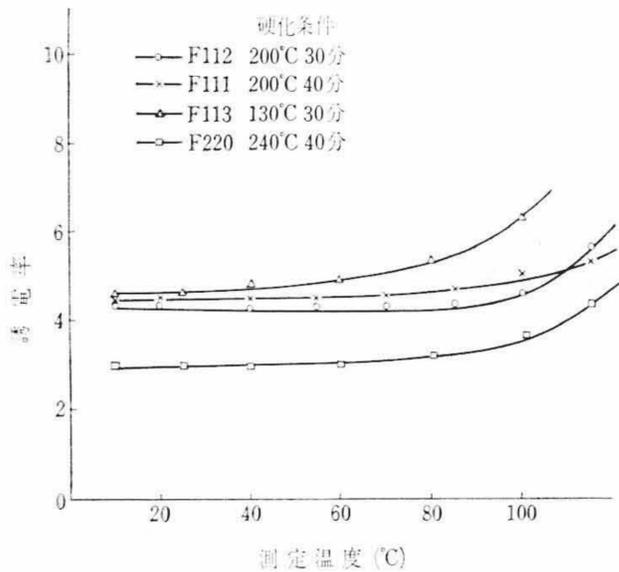


図7 誘電率の温度特性

F220は90°C付近に変曲点があり、その後急激に低下している。しかし、高温での体積抵抗率はF220がもっともすぐれている。

7.2.3 誘電正接、誘電率の温度変化

誘電正接、誘電率の温度変化を図6、7に示す。F220は高温における誘電正接の立上りも遅く、誘電率も低い。F111、F112は大差がない。F113の誘電特性は他のものにくらべて悪い。

以上の結果からみてF220はもっとも高温の電気特性にすぐれた粉末樹脂であるといえる。

7.3 皮膜の吸湿特性

F112、F220の25°C浸水による吸水率の経日変化を図8に示す。

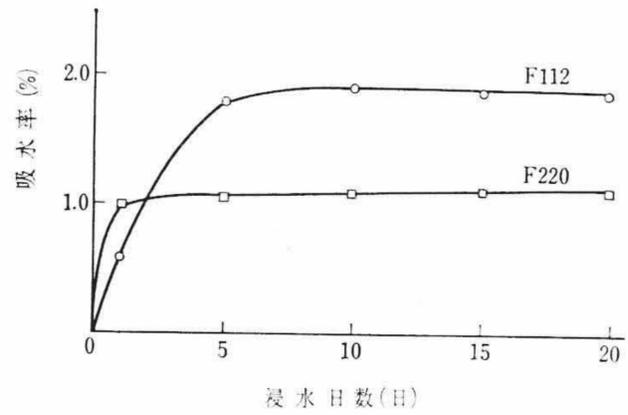


図8 浸水日数と吸水率の関係

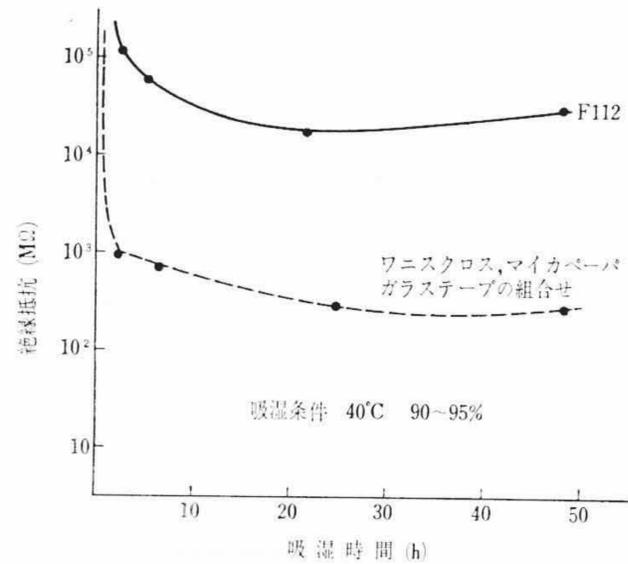


図9 吸湿時間と絶縁抵抗の関係

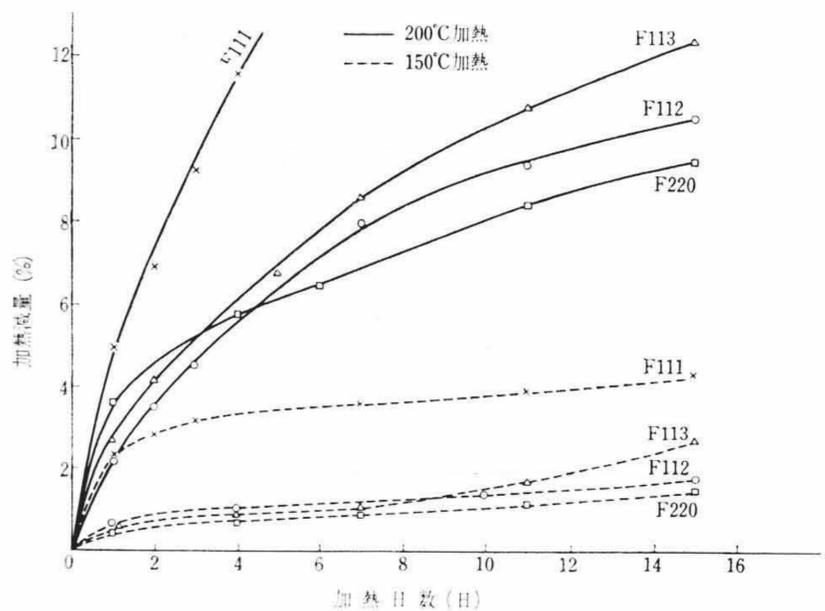


図10 粉末樹脂皮膜の加熱減量

図で明らかなように飽和吸水率はF112で2%、F220は1%でF220がすぐれている。

図9にF112と現在多く使用されているワニスクロス・マイカ・ガラステープ複合絶縁体(ワニス処理)の吸湿絶縁抵抗の変化を比較して示す。絶縁厚さはF112が0.5mm、複合絶縁体は1.35mmであるにもかかわらず、F112の吸湿時の絶縁抵抗が非常にすぐれている。

7.4 皮膜の加熱劣化特性

7.4.1 加熱減量

耐熱性判定の尺度として加熱減量の測定が一般に採用されている。各粉末の定温加熱減量の測定結果を図10に示す。150°C以下では各粉末の加熱減量も小さく、粉末による差も小さい。しかし、200°Cでは減量も増大し、F220、F112、F113、F111の順に大きくなる。

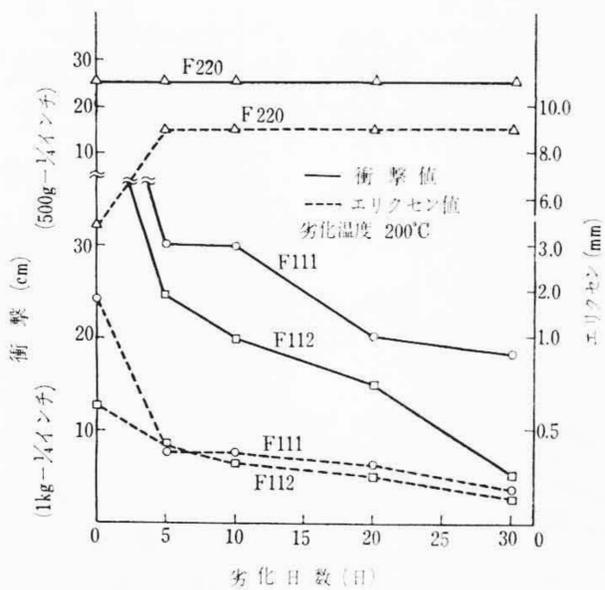
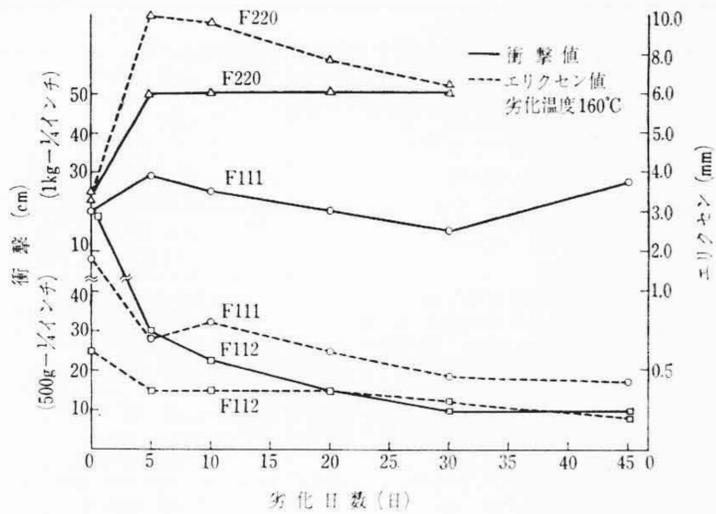


図11 熱劣化皮膜の機械特性

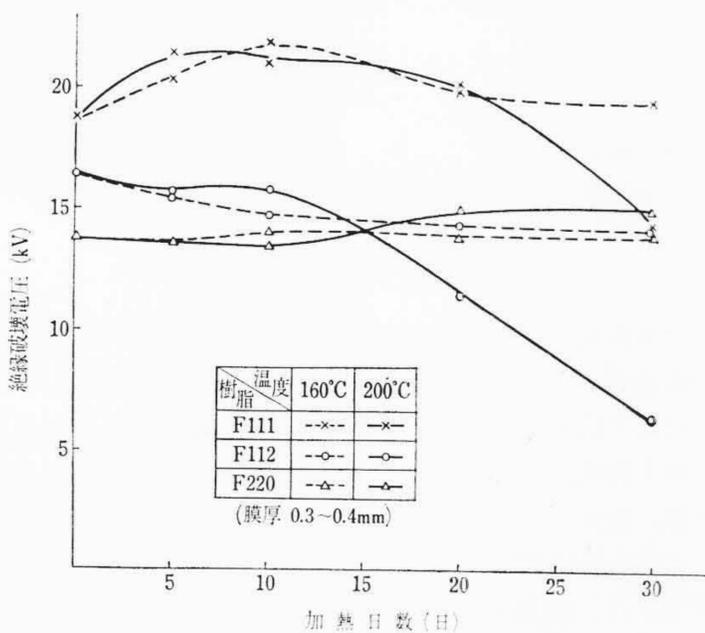


図12 加熱劣化皮膜の絶縁破壊電力

7.4.2 熱劣化皮膜の機械的特性

試験皮膜板を160, 200°Cで熱劣化した後の機械的特性の変化を図11に示す。F220は加熱によりいったん特性が向上し、その後の特性の低下はなく耐熱性はきわめて良好である。F111はそれについて良好である。前述の加熱減量の測定結果ではF220はもっとも減量が小さかったが、F111はF112より大きかった。それにもかかわらず皮膜の劣化はF111のほうが小さい。これは減量により膜厚が薄くなったためとも考えられるが、図10の150°Cでの減量からみて160°Cの劣化では膜厚の減少はそれほど大きいとは考えられない。このことからすくなくとも160°C付近までのF111の耐熱性はF112よりすぐれているといえる。

7.4.3 熱劣化皮膜の電気的特性

同様に熱劣化した後の電気的特性の測定結果を図12, 13に示

表9 モータレット劣化試験条件 (1サイクル)

加熱温度	加熱日数	振動	吸湿
200°C	2日	0.2mm, 3,000サイクル/分 1時間	40°C 90%RH 3日間
180°C	8日	0.2mm, 3,000サイクル/分 1時間	40°C 90%RH 3日間

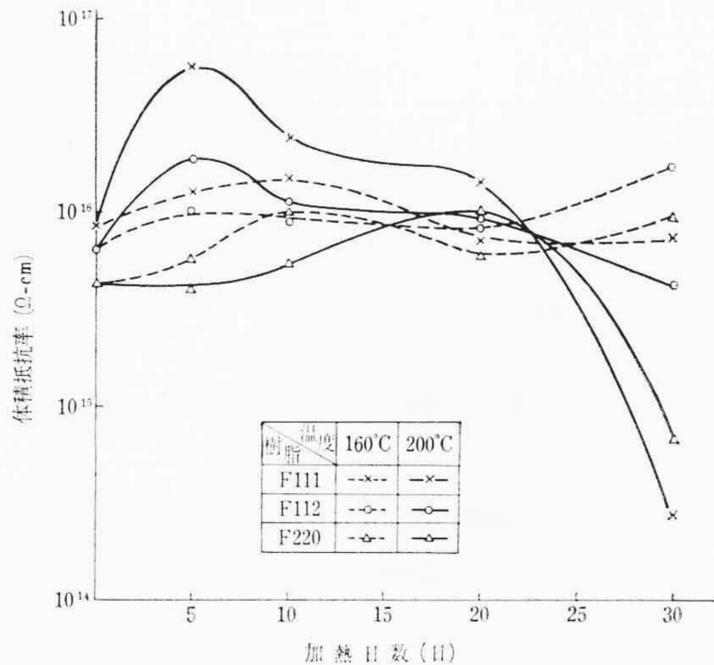


図13 加熱劣化皮膜の体積抵抗率

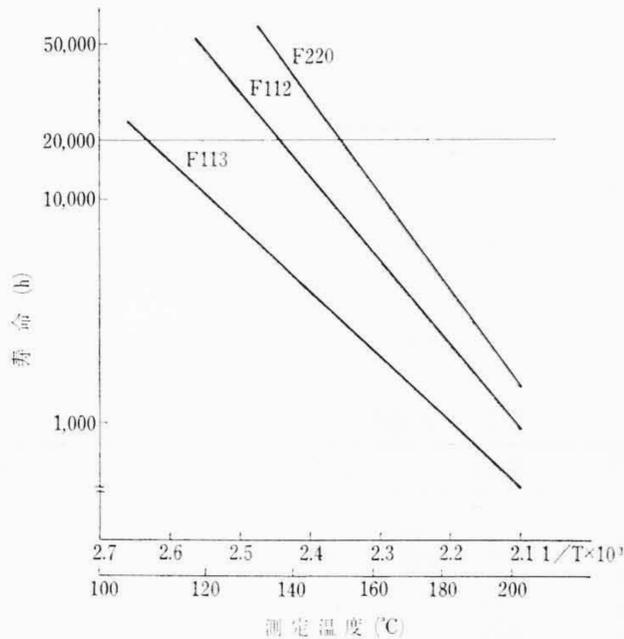


図14 モータレット試験結果

す。電気的にみた熱劣化後の特性もF220, F111がすぐれていて、F220ではほとんど変化ない。すなわちF220, F111, F112の順である。F113の結果は図に示さなかったが、耐熱性の点ではもっとも劣っている。これは一般塗装用に開発されたものであることに留意する必要がある。

7.4.4 モータレット試験による寿命

絶縁材料の耐熱性は材料自体の耐熱性よりも、むしろ材料の組合せや使用条件を考慮した耐熱寿命が重要である。以下にF112, F113, F220について行なったモデルモータ試験の結果を述べる。モデルステータに0.3~0.4mm厚の流動浸漬塗装を行ない、径1.2mmのPEW線(ポリエステルエナメル銅線)で組線後、不飽和ポリエステル樹脂(ポリセットPS202)で含浸処理し、180, 200°Cの2点について試験した。試験員数は各温度に対して8個使用し、表9の劣化促進条件で行なった。各サイクルごとにコイルとアース間に試験電圧(AC 300V, 15分間)を印加し、絶縁破壊した点をもって寿命とした。結果を図14に示す。

図から明らかなように耐熱性はF220がもっともよく、ついで

表10 皮膜の耐薬品、耐溶剤性

薬品	樹脂	F111	F112	F113	F220
酢酸	(30%)	異常なし	異常なし	(10%) 膨潤	2日目角部はく離
塩酸		異常なし	異常なし	異常なし	異常なし
アンモニア	(28%)	異常なし	異常なし	異常なし	2日目中央はく離 6日目全部はく離
カセインソーダ	(50%)	6日目き裂	異常なし	異常なし	6日目き裂 11日目はく離
沸騰水		1日目収縮き裂 17日目両面完全にはく離	1日目色が薄れポイド 6日目角部よりはく離 17日目片面完全にはく離	1日目角部はく離 6日目片面完全にはく離	6日目異常なし 11日目角部はく離
キシレン		異常なし	異常なし	異常なし	異常なし
n-ブタノール		異常なし	異常なし	異常なし	異常なし
ガソリン		異常なし	異常なし	異常なし	異常なし
変圧器油 (105°C)		異常なし	異常なし	異常なし	異常なし
機械油 (105°C)		異常なし	異常なし	異常なし	異常なし
メモルエチルケトン		5日間軟化膨潤	5日目膨潤	膨潤	5日目はく離

(注) 温度の記載のない場合はすべて常温試験を示す。「異常なし」は1ヶ月後の結果を示す。

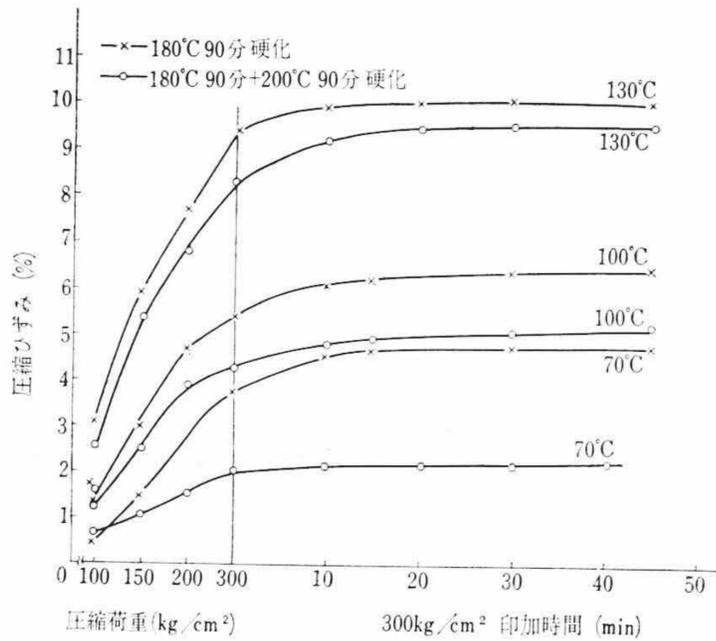


図15 F112の熱圧特性

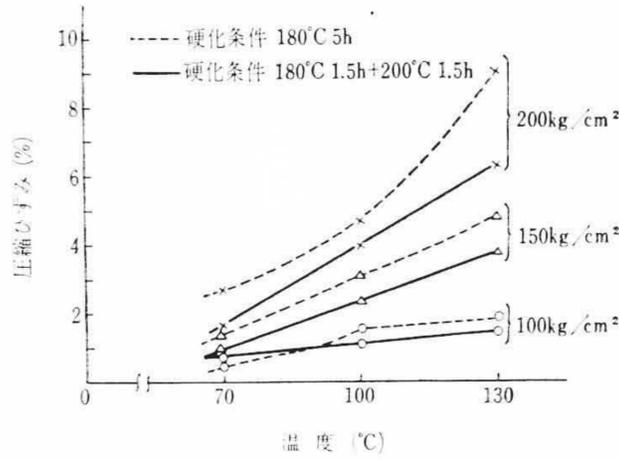


図16 F112の熱圧による温度ひずみの関係

よる皮膜は比較的耐薬品、耐溶剤性がよく、F112では沸騰水、ケトン系溶剤に侵される程度である。ついでF113がすぐれている。F220、F111は耐アルカリ性が悪いが、他の薬品類に対してはF112、F111とほとんど差がない。とくに変圧器油など、実用上接触する機会が多いものについては促進試験を行なったが、これにはすべて異常は認められない。このように、粉末樹脂による皮膜はすぐれた耐薬品性、耐溶剤性を示し、かつ前述のように皮膜の機械的特性も良好なので機器および部品の防食には最適である。

表11 各種粉末樹脂の特長、用途

項目	樹脂	F111	F112	F113	F220
硬化性		○	○	◎	○
密着性		○	◎	○	◎
可撓性		○	○	○	○
電気的性質		○	○	○~△	◎
耐熱性		○	○	△	◎
耐薬品性		○	◎	○	△
耐溶剤性		○	○	○	○
耐油性		◎	◎	◎	◎
用途		一般絶縁防食用 (高温用)	一般絶縁防食用	一般塗装防食用 (低温硬化)	耐熱絶縁用

F112, F113の順である。いま2万時間寿命の点の温度を最高使用温度として耐熱温度区分にあてはめるとF113はA種、F112はB種、F220はB~F種相当である。

7.4.5 皮膜の熱圧および熱圧クリープ特性

特殊な耐熱性の試験として加熱、加圧時におけるひずみおよびクリープ特性を測定した。加熱温度を変えた場合の圧縮荷重とひずみの関係および荷重300 kg/cm²におけるクリープ特性を図15に、圧縮荷重を変えた場合の温度ひずみの関係を図16に示す。加熱温度が高くなるにつれ、また硬化時間が短いほど圧縮ひずみは増大する。したがって、大型の回転機などで熱圧のかかる部分に流動浸漬法を用いる場合、寸法精度の点で、圧縮ひずみを考慮して設計する必要がある。

7.5 皮膜の耐薬品性

皮膜の耐薬品、耐溶剤性の測定結果を表10に示す。粉末塗装法に

8. 結 言

流動浸漬塗装法、粉末吹付塗装法用粉末樹脂の使用法、製造法を概略的に述べ、さらにこの用途に開発した日立塗装用粉末樹脂F111, F112, F113(エポキシ樹脂系)およびF220(ポリエステル樹脂系)の粉末特性、皮膜の一般特性および熱劣化後の特性などを試験し、絶縁、防食用としてすぐれた特性を有していることを明らかにした。これら粉末の特長は表11に示すとおりである。すなわち、F111, F112は一般絶縁、防食用でF111がやや耐熱性にすぐれ、F113は低温硬化の一般塗装、防食用に、F220は耐熱性の要求される絶縁用に最適である。

粉末塗装法は小形低電圧機器の絶縁、小形部品の防食から、今後さらに大型高電圧機器、大型部品の絶縁、防食用へと採用されていくものと思われる。われわれもこれに適した新しい粉末の開発と改良に努力していく考えである。

本検討をおこなうにあたりいろいろご指導、ご援助をいただいた日立化成工業株式会社山崎工場古賀博士、櫻村、阿保両氏および関係各位に厚くお礼申しあげる。

参 考 文 献

- (1) E. Gemmer: G. P., 933, 019 (1955), 日特, 238, 454
- (2) M. M. Lee: Elect. Mfg. 66, 149 (1960)
西岡: プラスチック 9, No. 2, 74 (1958)
西岡: コーティングライニング技術講演会テキスト(日刊工業新聞社, 昭35)
- (3) W. R. Pascoe: Matls. Design, Engng., 51, (2) 91 (1960)