

## レール・ボンド用強力半田合金の試作

山路賢吉\*

Studies on the High Strength Soldering Alloys for  
Weld Rail Bond

By Kenkichi Yamaji

Hitachi Electric Wire Works, Hitachi, Ltd.

## Abstract

Various methods have been employed for welding the rail bond, but gas- and arc-welding methods are not always satisfactory because, in lack of proper treatment, the bond wire suffers falling or breaking due to overheating or overpressure, whereas the soldering method generally gives a good result. The purpose of the writer's study was to find a suitable soldering alloy for rail bond which possesses such properties that fulfil the requirements of the specification provided by the National Railway Corporation as follows:

Melting point.....	<400 °C
Tensile strength .....	>9 kg/mm <sup>2</sup>
Elongation .....	>9%
Specific resistance .....	<15μΩ/cm <sup>3</sup>

As high tensile strength was desirable, about 40 types of alloys belonging to the Sn-Zn and the Sn-Zn-Cd System had been prepared for the test, and their electrical resistance, flow characteristics and shear strength of various soldered joints as well as their mechanical properties were studied. As a result, the following alloy was found to be most suitable for the purpose:

Composition .....	Sn 55%, Zn 30%, Cd 15%
Melting point.....	305 °C
Tensile strength .....	11.5 kg/mm <sup>2</sup>
Elongation .....	30%
Specific resistance .....	8.90 μΩ/cm <sup>3</sup>

## 〔I〕 緒 言

最近における電気鉄道の発展とともに、これに使用される帰線回路のレール・ボンドはますます重要度を占めてきている。このため各種形状の溶接ボンドならびに打込（圧縮）長ボンドが使用され、これらをレールに取りつけるにはガスまたは電弧溶接法および圧縮法が採用されている。現在のガスまたは電弧溶接法は打込長ボンド

に比べれば、ボンドの本質的使命すなわち電氣的にもまた経済的にもかなり有利である。しかしつぎに述べるような保守上の問題が解決しなければ上述の溶接ボンドの有利性ははなはだしく減殺されることになる。

保守上の問題としてはレールの交換、盗難、脱落および断線などのための迅速簡易な取付け操作を絶対必要とするのであるが、これを在来のガス、電弧溶接による場合、熱源設備の問題、操作に熟練を要すること、危険防止の問題などがあり、ガスまたは電弧溶接によるボンド

\* 日立製作所日立電線工場

の補修作業は非常に困難がある。またガス、電弧などを用いてレールに溶接するとレールの材質を変化させ、特にマンガン鋼レールの場合には焼割れを生ずる。

以上のように打込長ボンドに代用できるガス、電気溶接も種々の欠点を包含している。そこで新しく登場したものが低温溶接ボンド法（半田付けする方法）である。この機構はレールの鋼と導体の鋼端子とをそれらと合金しやすくかつボンドとしての所要限度の強さを持つ低溶融点合金で端子と導体とを低温溶接し、さらに当該合金でレール側と端子側とを低温溶接させようとするものである。低温溶接ボンドすなわち半田揚げを用いると取付けが簡単であり適用性が大であること、実用上差支えない程度の強度がえられ、かつ比較的均一性が高く、さらに仕損じに対し再操作が容易であることおよび経済的であることなど種々のすぐれた特色がある。

したがってレール・ボンド用半田合金に関する国鉄の仕様書によれば、一般の半田用合金として必要な諸条件の他に下記のような条件を満足することが規定されてある。

- 抗 張 力 .....9 kg/mm<sup>2</sup> 以上
- 伸 び .....9% 以上
- 溶 融 点 ..... 400 °C 以下
- 固 有 抵 抗 ..... 15 μΩ/cm<sup>3</sup> 以下

本研究は国鉄レール・ボンド用半田合金として上記のような仕様に対し十分満足できる半田合金をうるのが目的である。たゞしこのような低融点合金の場合は試験材および試験方法によつて測定値が変化することが当然考えられるが、機械的性質の試験方法は規定してないのでその使用状態から金型鋳物として上記の諸性質を有する必要があると考えて実験を進めた。

所要抗張力が 9 kg/mm<sup>2</sup> 以上であることは一般の半田合金としては高抗張力合金とも呼ぶことができるので

第 1 表 Sn-Zn 二元系合金の組成および諸性質

Table 1. Compositions of the Sn-Zn Binary Alloys Prepared and Their Various Properties

試料 番号	配合成分 (%)		溶融点 (°C)	抗 張 力 (kg/mm <sup>2</sup> )			伸 び (%)			固 有 抵 抗 (μΩ/cm <sup>3</sup> )
	Sn	Zn		A	B	C	A	B	C	
0	100	0	232	3.01	3.00	2.61	40.0	41.0	39.0	11.30
1	95	5	217	6.72	6.23	6.25	34.0	42.1	42.0	13.35
2	91	9	199	8.29	7.65	8.48	59.2	48.0	38.2	14.54
3	85	15	250	9.19	8.57	8.06	36.0	34.8	37.5	13.42
4	75	25	297	10.50	8.63	8.39	25.0	30.1	12.0	12.12
5	65	35	324	10.50	10.36	8.05	41.8	35.8	10.5	11.40
6	55	45	340	11.69	11.82	7.76	38.8	35.3	7.9	10.59
7	45	55	355	13.48	12.89	7.65	40.0	32.0	12.0	10.11
8	35	65	365	15.01	15.26	7.84	33.4	30.0	10.3	9.41
9	25	75	382	—	—	7.87	—	—	8.2	—

A: 線引きしたもの (6 mmφ)。 B: A 試料を 10 日間常温に放置したもの。 C: 金型 (20 mmφ×250 mm) 鋳造したもの。

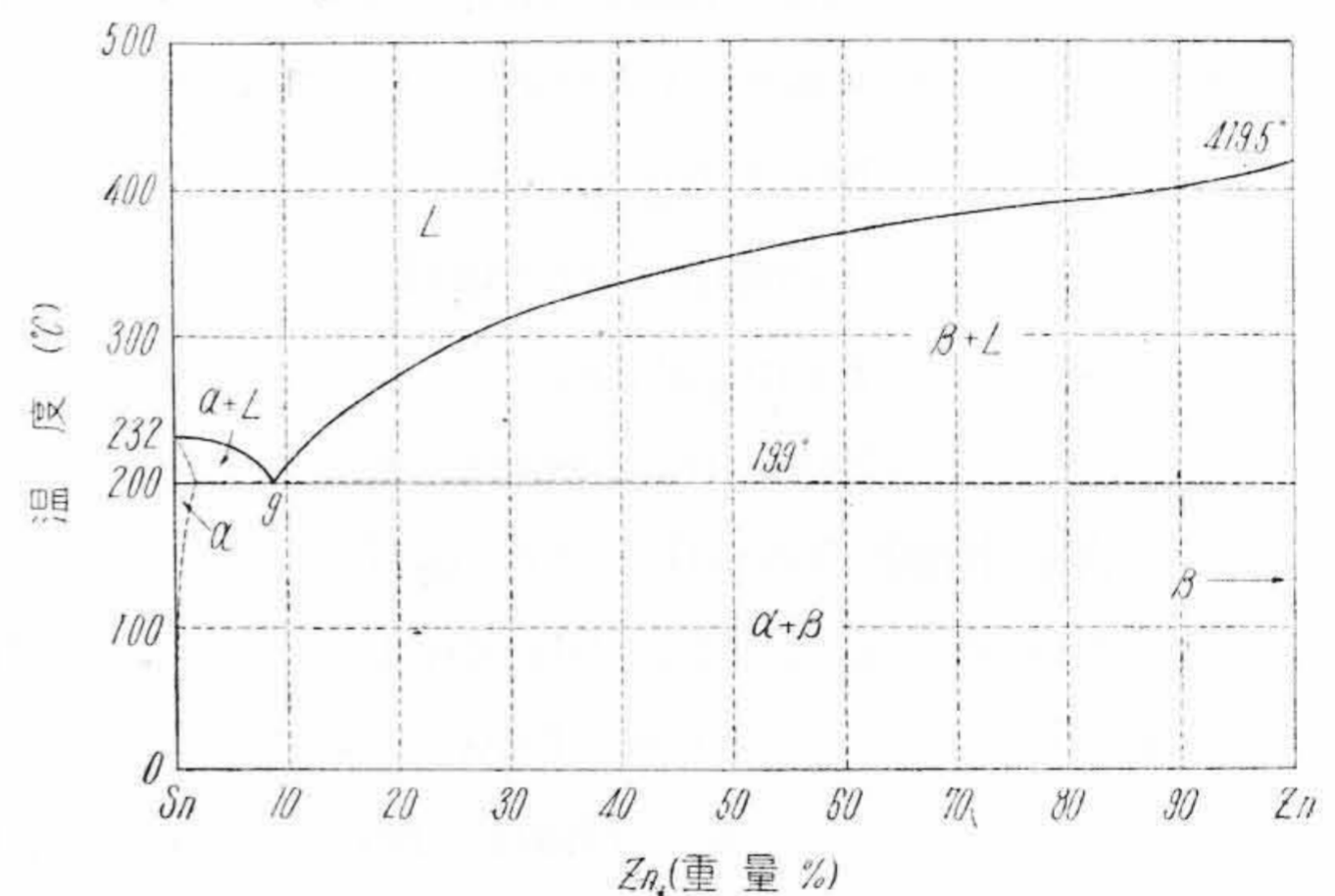
ある。従来の Pb を主体とした Pb—Sn 系<sup>(1)</sup>, Pb—Sn—Sb 系<sup>(2)</sup>, Pb—Cd 系<sup>(3)</sup>, Pb—Cd—Zn 系<sup>(4)</sup>, Pb—Ag 系<sup>(4)</sup> などでは抗張力 6~7 kg/mm<sup>2</sup> しか望みえない。そこで所要抗張力から考えて Al 用半田合金としてとりあげられていた Sn—Zn 系<sup>(5)</sup>, 高温用半田合金の Cd—Zn 系<sup>(6)(7)</sup>, Cd—Zn—Ag 系合金に着目した。しかし後者は Cd を主体とする故前者に比べ高価であるので、まず Sn—Zn 系を主体とする合金について種々実験を行つた。

Sn—Zn 二元系状態図は E.A. Anderson<sup>(8)</sup> によれば第 1 図に示すように単純な二元共晶系である。図からわかるように Zn 90% 以下の場合には溶融点は 400 °C 以下であり、この点からは規格内である。なお Zn に対する Sn, Sn に対する Zn の最大固溶限はそれぞれ約 0.05%<sup>(9)</sup>, 1.5%<sup>(10)</sup> である。

## 〔II〕 試料および実験方法

### (1) 試 料

使用地金としては品位 99.95% の Sn と 99.98% の



第 1 図 Sn—Zn 二元系状態図  
Fig. 1. Equilibrium Diagram of the Sn—Zn Binary System

第2表 Sn-Zn 二元系合金の諸性質におよぼす各種添加元素の影響  
Table 2. The Effect of the Adding Elements on the Various Properties of the Sn-Zn Alloys

試料 番号	配 合 成 分 (%)							抗 張 力 (kg/mm <sup>2</sup> )			伸 び (%)			固有抵抗 ( $\mu\Omega/cm^3$ )
	Sn	Zn	Cd	Al	Cu	Bi	Pb	A	B	C	A	B	C	
10	86	9	—	5	—	—	—	9.85	9.95	8.72	33.8	26.8	33	11.49
11	85	10	5	—	—	—	—	9.65	9.60	8.56	42.0	42.0	19	14.67
12	80	15	5	—	—	—	—	9.20	9.08	8.39	37.2	37.0	12	13.62
13	85	10	—	—	5	—	—	8.50	8.43	6.07	28.4	25.6	8	15.18
14	80	15	—	—	5	—	—	9.02	9.00	6.96	24.0	24.4	6	14.87
15	78	8	5	9	—	—	—	—	—	10.35	—	—	12	—
16	78	8	5	—	9	—	—	—	—	9.98	—	—	2	—
17	78	8	5	4.5	4.5	—	—	—	—	10.4	—	—	4	—
18	65	30	—	—	—	5	—	—	—	6.25	—	—	4	—
19	62	12	4	4	5	5	8	—	—	7.41	—	—	—	—

A: 線引きしたもの (6 mm $\phi$ )。 B: A試料を10日間常温に放置したもの。 C: 金型 (20 mm $\phi$ ×250 mm) 鋳造したもの。

第3表 Sn-Zn-Cd 三元系合金の組成および諸性質

Table 3. Compositions of the Sn-Zn-Cd Ternary Alloys Prepared and Their Various Properties

試料 番号	配 合 成 分 (%)			抗 張 力 (kg/mm <sup>2</sup> )	伸 び (%)	固有抵抗 ( $\mu\Omega/cm^3$ )
	Sn	Zn	Cd			
20	90	10	—	8.39	57.92	10.59
21	85	10	5	10.15	31.75	10.84
22	80	10	10	10.10	13.60	11.11
23	75	10	15	10.00	10.85	11.11
24	70	10	20	9.80	22.70	11.05
30	80	20	—	8.55	27.20	10.84
31	75	20	5	9.05	13.60	10.84
32	70	20	10	9.40	9.09	10.48
33	65	20	15	9.36	11.30	10.33
34	60	20	20	9.12	11.34	9.73
40	70	30	—	8.40	15.8	9.48
41	65	30	5	10.20	13.6	10.48
42	60	30	10	10.80	10.2	9.87
43	55	30	15	11.45	31.8	8.90
44	50	30	20	10.54	20.5	9.09
50	60	40	—	—	—	8.89
51	55	40	5	10.50	18.1	9.09
52	50	40	10	10.40	11.3	8.63
53	45	40	15	10.87	11.3	9.02
54	40	40	20	9.64	9.1	9.03

Zn を用い各種添加元素もできるだけ高純度のものを使用した。試料の溶解にはニクロム線巻き電気抵抗炉, エレマ炉などを用い, また黒鉛坩堝を使用した。鋳造温度は各融点より 100°C 高くし, 使用金型 (200 mm $\phi$ ×250 mm, 10 mm $\phi$ ×160 mm) は約 100°C に予熱した。20 mm $\phi$  の鋳物より 4号試験片<sup>(11)</sup> 2~3 本を切りとり溝ロールにかけた後線引きにより 6 mm $\phi$  とした。なお 10

mm $\phi$  のものから 4号試験片に準ずる試験片 (6 mm $\phi$ , 標点距離 22 mm) を作成した。第1表~第3表に供試合金の配合組成を示す。

(2) 実験方法

半田合金の良否判定には数多くの方法があるが, 本実験ではまず規格試験を行い, ついで蝕接性, 耐蝕性および「走り」などを調べた。

抗張力ならびに伸びの試験にはアムスラー 5t 試験機を用い, 電気抵抗測定にはケルビンのダブル・ブリッジならびにポテンシオメータを用いた。

蝕接部の剪断強度を測定するためには第2図に示すように(蝕の部分黒くしてある) 板材の端部を 5mm 重ね合せて蝕接し, これを引張り試験機にかけた。なお蝕接には 200 匁の半田ごてを用いた。この場合溶剤としては, 20% 塩化亜鉛溶液を用いた。作業温度は 350~400°C である。蝕接部の耐蝕性を調べるためには上記のように蝕接した試験片を 100~110°C の水蒸気中に 200 時間露呈し (オート・クレーブ使用) その剪断強度の低下から耐蝕性を比較した。このような蒸気試験法は Zn の枯化現象を調べる場合よく用いられる方法<sup>(16)~(18)</sup> であるが, 本系合金の場合のように Zn が比較的少量入っている場合には, その耐蝕性を比較するのに有効と考えられるから行つたのである。



第2図 剪断強度試験片  
Fig. 2. Shear Test Specimen

$$\text{剪断力低下率(\%)} = \frac{S_0 - S_{200}}{S_0} \times 100$$

$S_0$  : 蒸気処理前の剪断荷重

$S_{200}$  : 200 時間蒸気処理後の剪断荷重

蠟の「走り」を試験するには第 3 図のように簡単な装置を用い「走り」試験を行つた。まず鉛浴槽(C)を一定温度に保つ。つぎにエメリー紙 No. 4 でみがき 20% 塩化亜鉛水溶液で前処理した 60 mm×100 mm×1.6 mm の銅板または鉄板 (D) の上に 10 mmφ×3 mm の試片 (S) を乗せこれを (C) の上に置く。(S) は数秒後に溶融し (D) 上に拡がる。この拡がりは 10~15 秒後には停止する。停止した後に (D) を静かに取り出し放冷した後水洗し面積計を用いて拡がり面積を算出した。走りの程度を比較するには次式を用いた。

$$\text{走り\%} = \frac{A - A_0}{A_0} \times 100$$

$A_0$  : 試片と板との最初の接触面積 (≒78.5 mm<sup>2</sup>)

$A$  : 試片と板との実験後の接触面積

### [III] 供試合金の諸性質

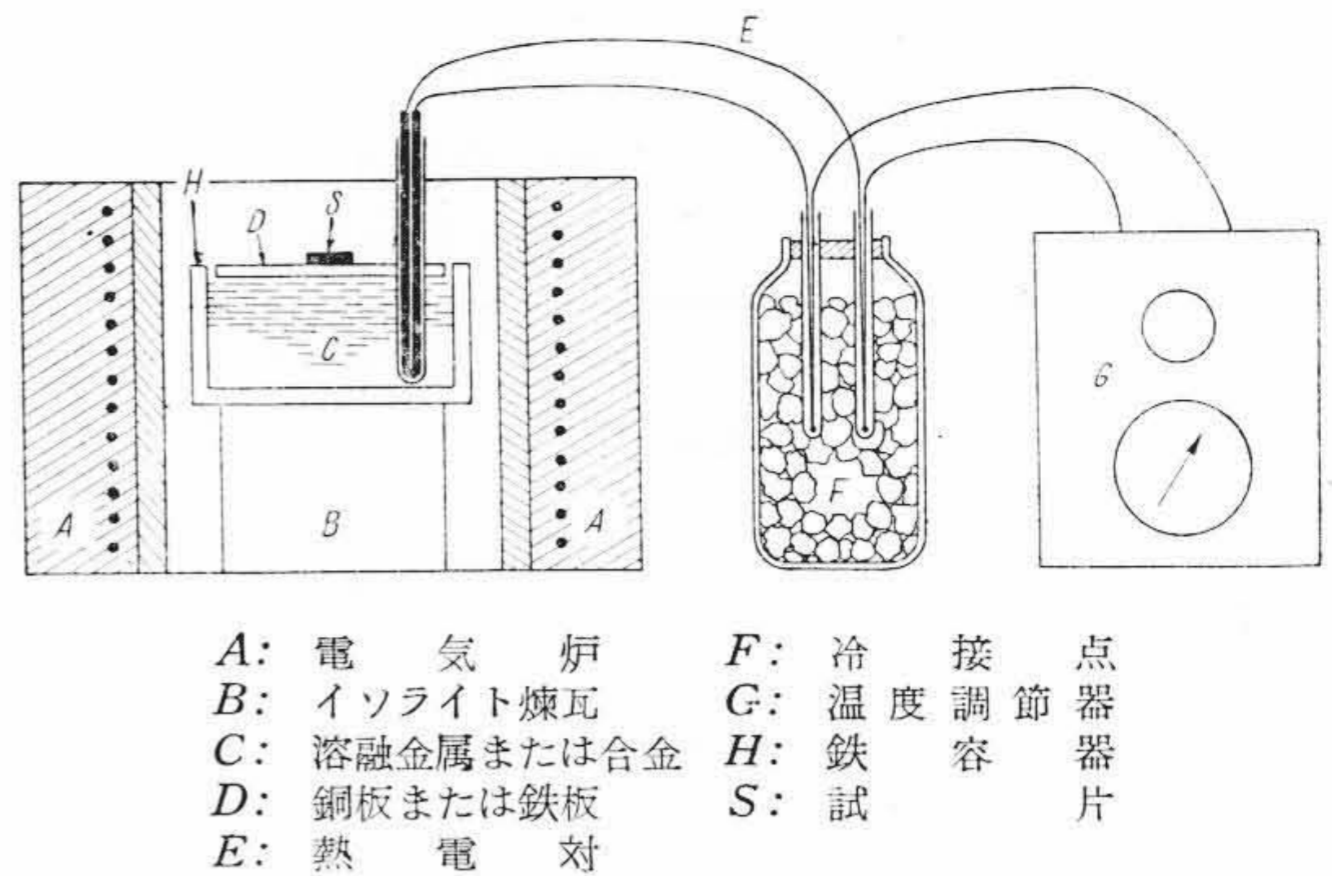
#### (1) Sn—Zn 二元系合金の諸性質

抗張力、伸びおよび電気抵抗の測定結果を第 1 表および第 4 図に示す。それぞれの規格値は第 4 図に横軸に平行な鎖線で示した。

線引きした試料の抗張力は Zn% が増すにしたがい急激に上昇するが共晶組成附近からその増加度はやゝ減少し以後 Zn 量とともにほぼ直線的に増大する。この場合 Zn 15% 以上では規格値に合格する値を示した。伸びはこの場合には共晶附近で最大値を示すが、他の試料では Zn% と明確な関係を示さず 20~40% の範囲内の値を示す。固有抵抗は Zn% 増加とともに増大し共晶附近で最大を示した後 Zn% とともに直線的に減少する。いずれの試料も 15 μΩ 以下であり十分規格値に合格する。

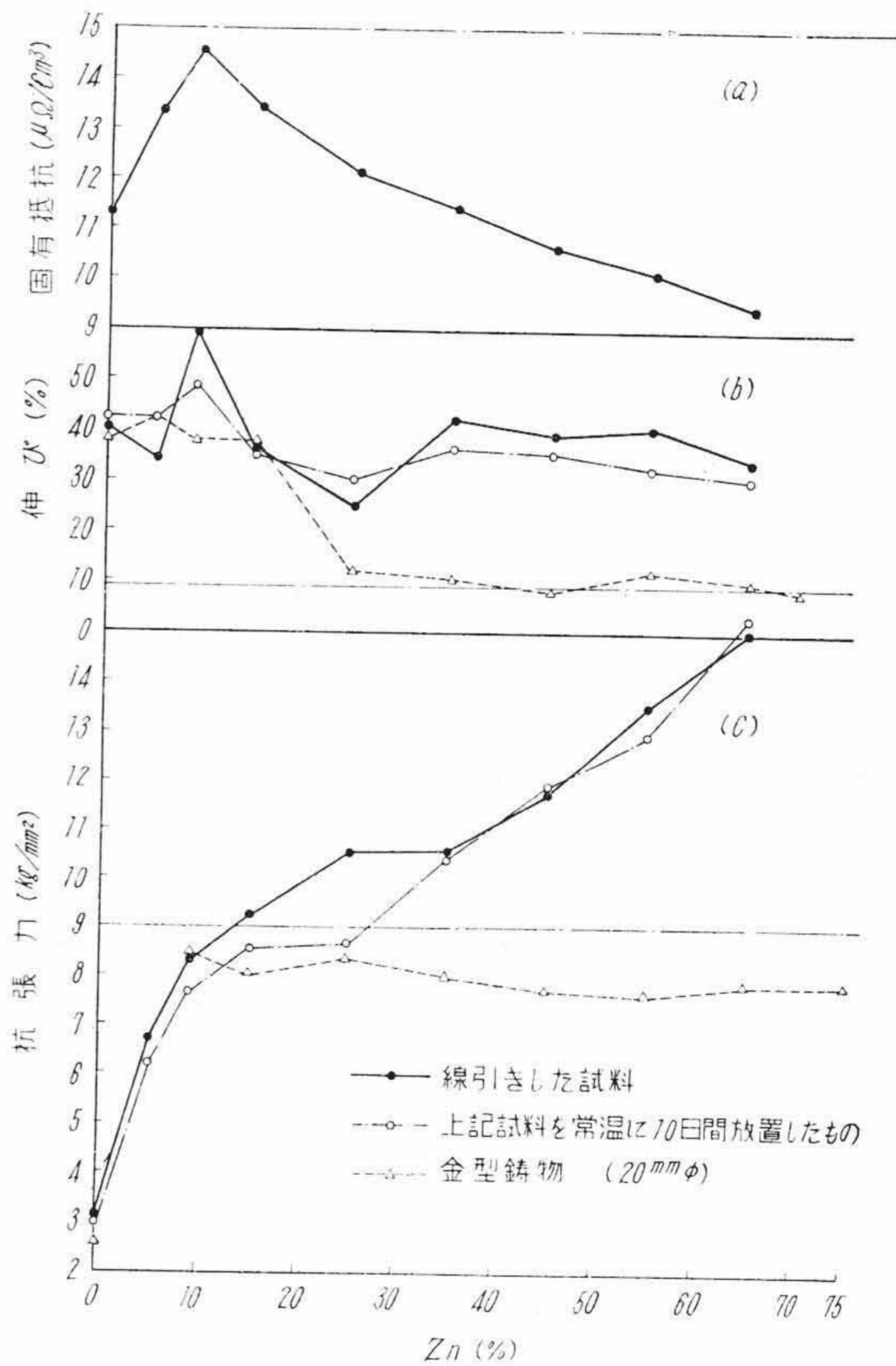
この線引きした試料を 10 日間常温に放置した後抗張力ならびに伸びを測定すると図に鎖線で示すように抗張力、伸びともにやゝ減少する。この場合には約 Zn 30% 以上でないとも規格値に合格しない。4号試験片(鑄造材)による実験結果もまた第 4 図に示した。抗張力は共晶点附近で最大値(8.48 kg/mm<sup>2</sup>)を示し、後やゝ減少し Zn% に無関係にほぼ一定値を示す。伸びは共晶附近までは 30~40% の値を示すが、以後 Zn% とともに急激に減少し Zn 25% 以上では 10% くらいになる。この場合には抗張力はいずれも規格値以下である。

鑄造材ならびに線引きした材料について抗張力、伸びを測定した結果をみると共晶附近では両者の測定値はほぼ一致するが共晶組成以上 Zn 量が増加するにしたがい



第 3 図 蠟の「走り」試験説明図

Fig. 3. Explanatory Diagram Showing the Spreading Test of Solders



第 4 図 Sn—Zn 二元系合金の諸性質

Fig. 4. Various Properties of the Sn—Zn Binary Alloys

両者の差が大となつてくる。すなわち線引き材は抗張力、伸びともに鑄造材よりも大である。また鑄造材でも 10 mm φ 金型に鑄造した試料は 20 mm φ 金型に鑄造した試料よりも抗張力、伸びともに大きい。

No. 5 合金 (Zn 35%) について 20 mm φ および 10 mm φ 金型鑄造ならびに線引き材の 3 種の顕微鏡組織を

第5図、第6図および第7図に示す。三者よりあきらかなように鑄造材では $\beta$ の初晶が大きく樹枝状に発達している。また20mm $\phi$ の試料は10mm $\phi$ の試料に比べて冷却速度が遅いために $\beta$ の発達は著しい。これに対し線引き材では加工により鑄造組織は変化し、 $\beta$ 相はあたかも鑄鉄における菊目組織のような組織を呈している。すなわち過共晶組成合金の鑄造材、加工材の機械的性質の著しい相違は晶出した $\beta$ 相の形、大きさに起因するものである。なお供試線引き材は20mm $\phi$ 金型に鑄造したものを溝ロールを通した後、徐々に冷間引抜きして6mm $\phi$ にしたものである。

線引き材を10日間常温に放置した後の抗張力、伸びを測定した結果では抗張力はZn 30%附近までの試料では若干の低下を示した。これは本系合金が低融点合金であるから室温そのものが一般の金属または合金の高温に相当すると考えられるから時効によりある程度応力が除去されたものと考えられる。しかしこれに対し伸びはあまり回復していない結果を示した。

### (2) Sn-Zn 二元系合金の諸性質におよぼす各種元素の影響

上記二元系合金にCd, Al, Cu, Bi および Pb など各種元素を添加した場合の抗張力、伸びの変化を第2表に示す。

Sn 85%, Zn 10% の合金に Al, Cd ならびに Cu をそれぞれ5% 添加した結果では抗張力を高めるのに良好な添加元素は Al, Cd, Cu の順であり、伸びを増加させる添加元素は見当らぬが Cd はやゝ良好な値を示している。また Sn 80%, Zn 15% の合金に Cd, Cu をそれぞれ5% 添加した場合は抗張力、伸びともに Cd の方が良好な結果を示した。なお固有抵抗値は Al を添加した場合は純二元系の場合よりも減少しているが、Cd の場合は若干増加の傾向を示している。

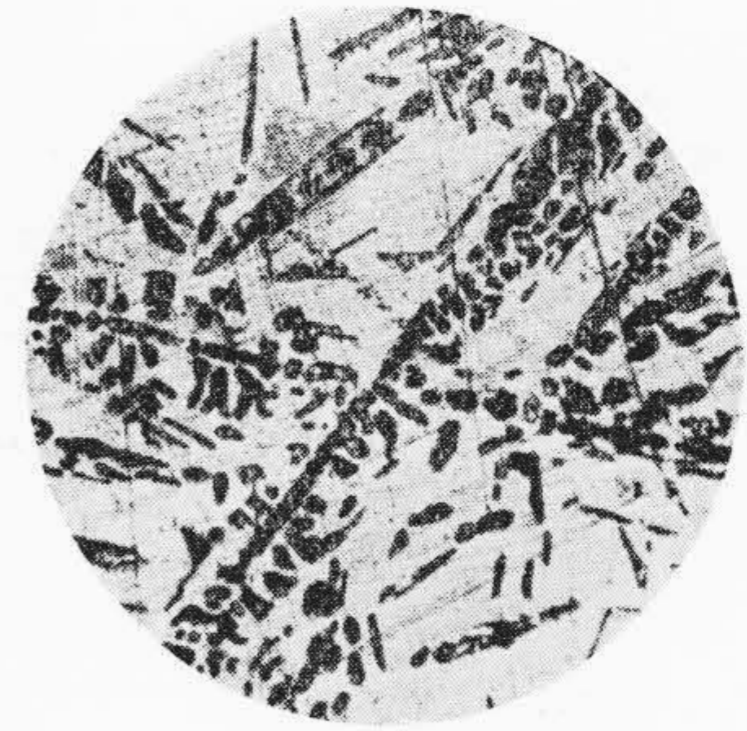
Cu は固有抵抗を増大させるので規格に合格しない場合もある。これらの結果から考えると Cd の添加が最も効果的である。しかしながら4号試験片の抗張力試験においていずれの場合も規格値以下の値しか示さなかつた。

No. 15~20 の試料は文献<sup>(5)</sup>を参照して作成した試料であるが抗張力および伸びの両面から規格値以上を示したものは No. 15 しかなかつた。

### (3) Sn-Zn-Cd 三元系合金の諸性質

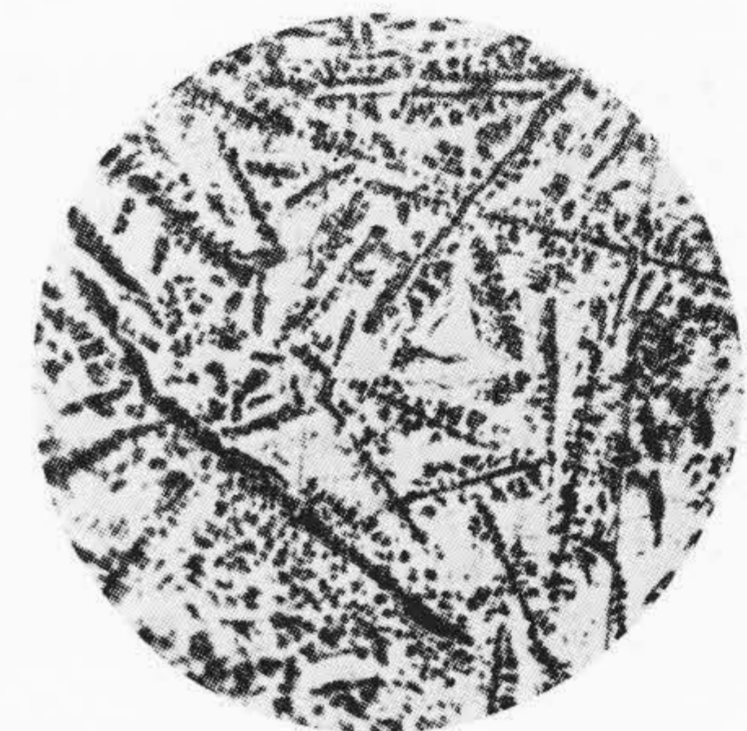
上記実験より Cd の添加により Sn-Zn 二元系合金の諸性質特に抗張力を増大させる可能性が考えられるので本三元系の研究を行つた。

本三元系状態図は未だ研究されておらず、したがって各試料の相関性をあきらかにすることはできないが、本



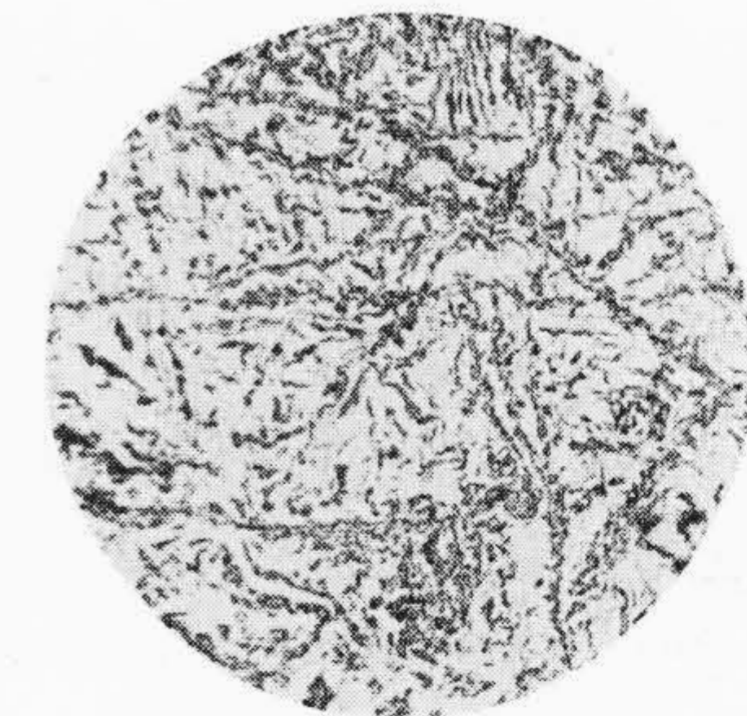
第5図 No. 5 合金の 20 mm $\phi$  金型鑄造組織 (×100)

Fig. 5. Cast Structure (20 mm $\phi$ ) of Sn-35% Zn Alloy (×100)



第6図 No. 5 合金の 10 mm $\phi$  金型鑄造組織 (×100)

Fig. 6. Cast Structure (10 mm $\phi$ ) of Sn-35% Zn Alloy (×100)



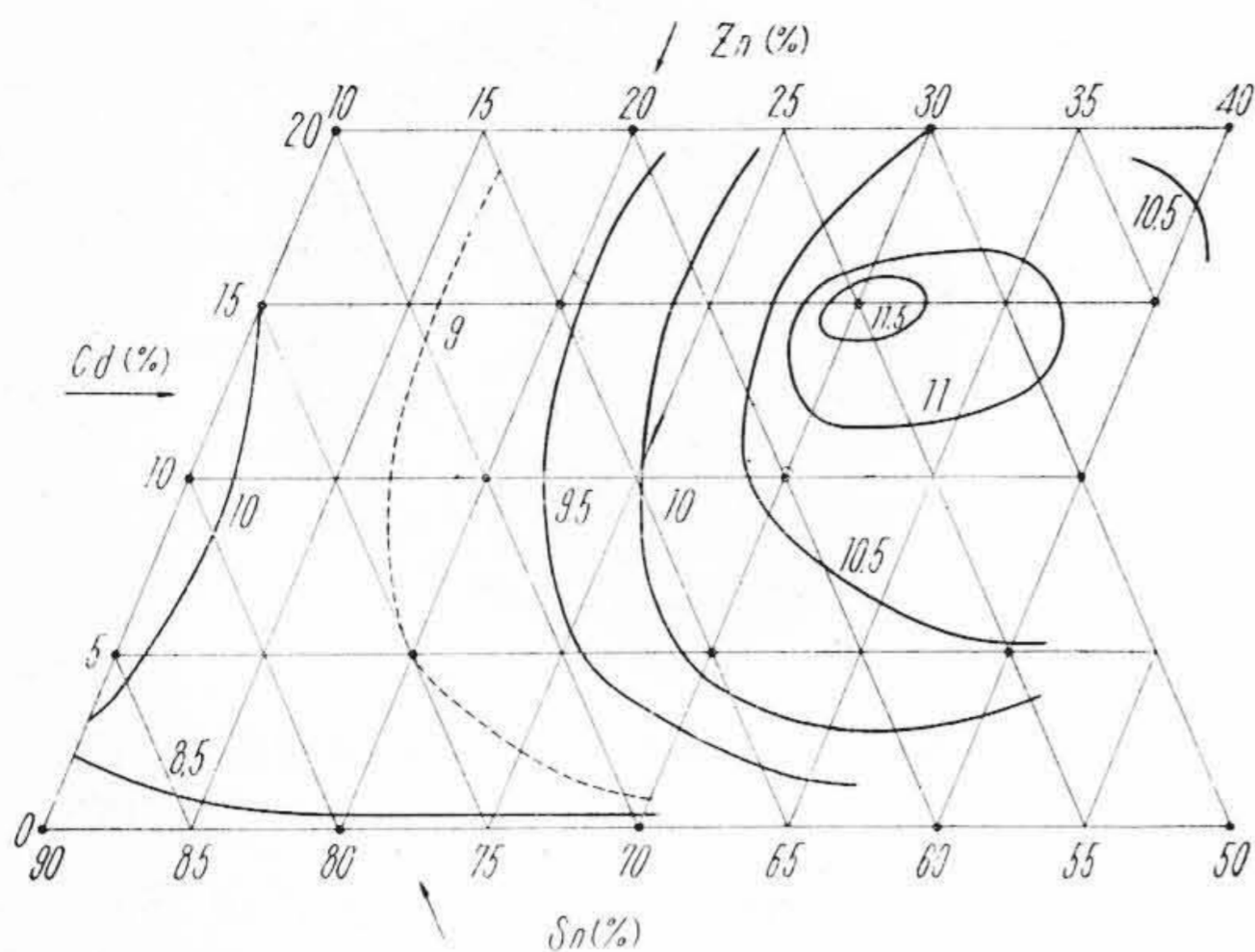
第7図 線引きした No. 5 合金の組織 (×100)

Fig. 7. Structure of Cold-Drawn Sn-35% Zn Alloy (×100)

三元系に属する 16 種の試料ならびに主体となる Sn-Zn 二元系合金 4 種を作成し、抗張力、伸びおよび電気抵抗を測定した。この場合試料はすべて 10mm $\phi$  の金型に鑄造した鑄物について行つた。

実験結果を第3表ならびに第8図、第9図(次頁参照)に示した。いずれの合金も融点、伸びおよび比抵抗値は規格に合格するので問題となるのは抗張力のみである。

第8図には Sn-Zn-Cd 三元系状態図上に等抗張力



第 8 図 Sn—Zn—Cd 三元系合金の抗張力 (図中数字の単位; kg/mm<sup>2</sup>)

Fig. 8. Tensile Strength of the Sn—Zn—Cd Ternary Alloys

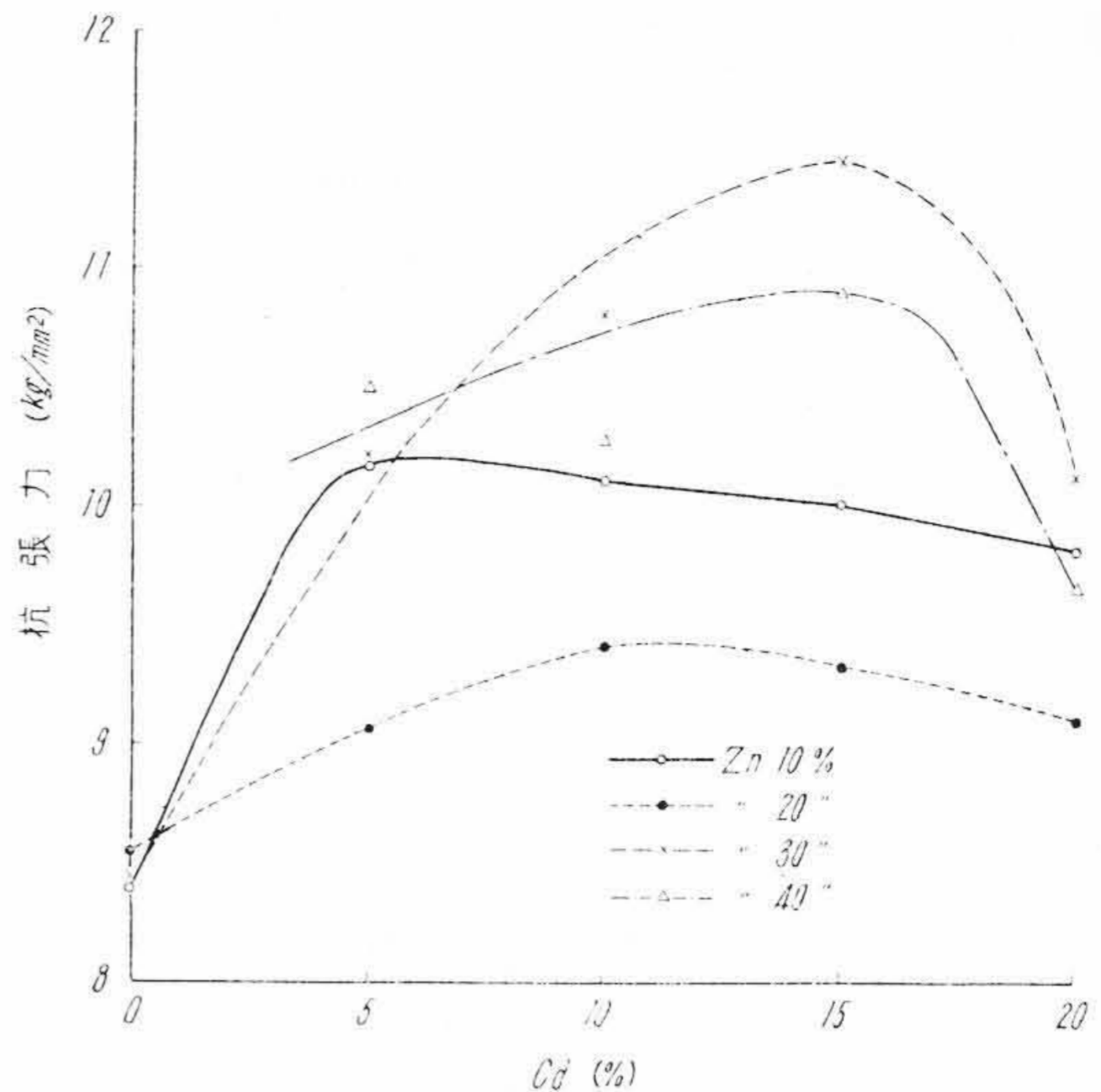
線をえがいた。図中黒丸は試料の配合組成を示し、曲線の側には書いてある数字は抗張力を kg/mm<sup>2</sup> で示した。供試合金数が少ないため、また相関関係が不明なために明確な線図をえがきえなかつたが、大体の傾向は判別される。すなわち Sn 80%, Zn 10%, Cd 5% 附近に抗張力の若干高いところがあり、それより Zn が多くなると抗張力は低くなり以後 Zn%, Cd% の増加に伴い、Sn 55%, Zn 30%, Cd 15% 附近を頂点とする抗張力に近づく。

第 9 図は Sn—Zn 二元系合金の抗張力におよぼす Cd の影響を調べたもので、それぞれの Zn% の断面における抗張力を示した。Cd を添加するとあきらかに抗張力を改善しているが、その有効添加量は Zn% と関係し、ある程度以上は不必要であることがわかる。実験範囲では No. 43 の合金が最高値 11.45 kg/mm<sup>2</sup> を示した。

#### [IV] 蠟 接 部 の 剪 断 強 度

Sn—Zn 二元系合金ならびに上記実験で良好な結果を示した Sn—Zn—Cd 三元系に属する No. 21, No. 41 および No. 43 合金の蠟接部の剪断強度を測定した。蠟接させる材料としてはその使用上より考えて銅と銅、銅と鋼および鋼と鋼 (鋼 0.4% C) の 3 種をえらんだ。なお蠟接作業を容易にするため鋼スリーブを溶融亜鉛内に浸漬して作業する場合も現場的に考えられるから、本実験においてもこれと同様な実験を行つた。これらの場合の符号はつぎに示す通りである。

- CC: 銅と銅を蠟接した試料
- CF: 銅と鋼を蠟接した試料
- FF: 鋼と鋼を蠟接した試料
- F<sub>z</sub>F<sub>z</sub>: 亜鉛浸漬した鋼と鋼を蠟接した試料
- F<sub>z</sub>F: 亜鉛浸漬した鋼としない鋼を蠟接した試料
- F<sub>z</sub>C: 亜鉛浸漬した鋼としない銅を蠟接した試料



第 9 図 Sn—Zn 二元系合金の抗張力におよぼす Cd の影響

Fig. 9. The Effect of Cd on the Tensile Strength of the Sn—Zn Binary Alloys

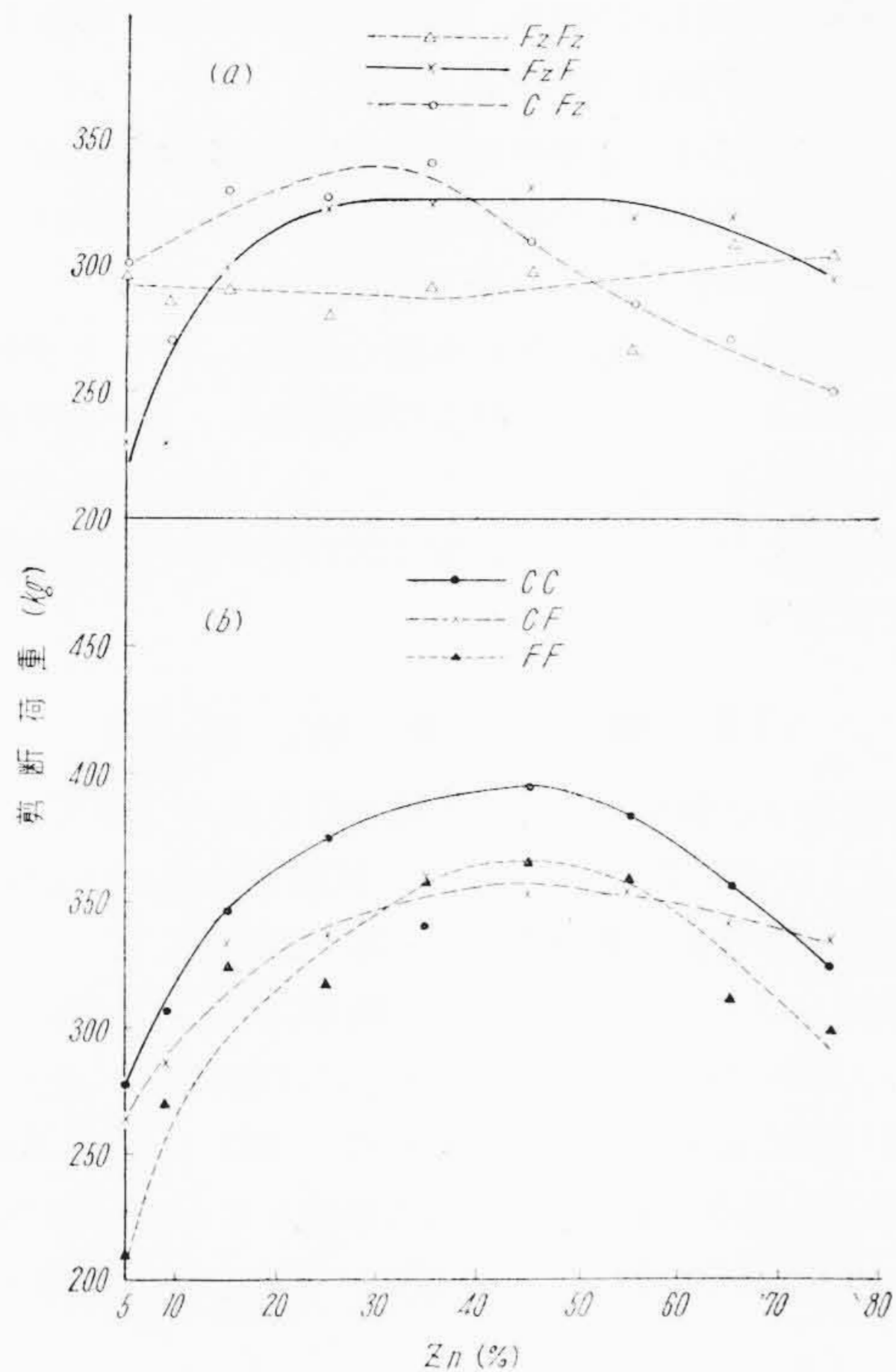
Sn—Zn 二元系についての実験結果を第 10 図 (a) (b) に示す。また Sn—Zn—Cd 三元系についての結果を第 4 表に示す。なお実験結果は 4~8 本の試料についての平均値である。実験結果は剪断応力で示すのが普通であるが、蠟接作業の関係上明確に剪断応力を示すことが困難であるので剪断荷重をもつて示した。端部を亜鉛浸漬しない場合の結果は第 10 図 (b) に示すように全体的にいえば CC の場合が一番強く、以下 CF, FF の順になつてゐる。すなわち銅板と銅板を蠟接する場合がその剪断強度が一番大きい。また Zn% に対しては剪断荷重は Zn 45% 附近に最大を示す曲線を示した。

亜鉛浸漬した場合の結果は第 10 図 (a) に示すように各測定値には相当バラツキがあり、剪断荷重は 220~340kg の間の値を示した。F<sub>z</sub>F<sub>z</sub> の場合には、剪断荷重は Zn% にあまり関係がなく、270~300 kg の間に落ち着き、ほぼ一定である。F<sub>z</sub>F では約 Zn 30% まで Zn 量とともに剪断荷重は増加し、以後 Zn 量の増加とともに剪断荷重は若干減少の傾向を示した。CF<sub>z</sub> では Zn 35% 附近まで増加した後 Zn 量とともに減少した。

Zn 15~75% の範囲内の合金の剪断荷重は亜鉛に浸漬しない場合の方が大で、Zn 15% 以下では亜鉛浸漬した場合が若干値が高くなつてゐる。

Sn—Zn—Cd 三元系合金の場合にも Sn—Zn 二元系の場合と大体同じ傾向が認められ、CC の場合の剪断荷重が最も大きく No. 43 では 514 kg を示した。

供試合金の抗張力 (铸造材) とそれら合金を用いて蠟接した場合の蠟接部の剪断強度との間には第 4 図ならび



第10図 Sn—Zn 二元系合金の剪断強さ  
Fig. 10. Shear Strength of the Sn—Zn Binary Alloys

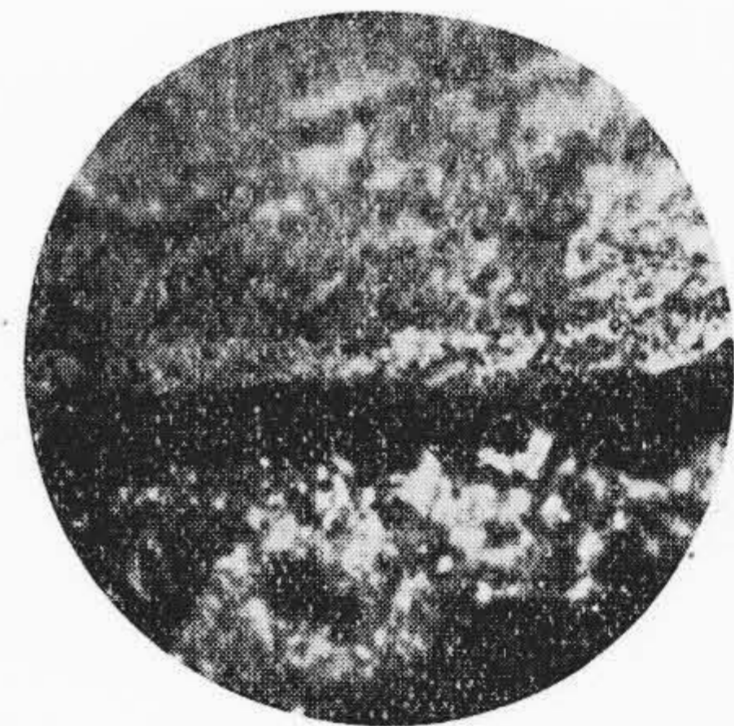
に第10図に見るように一定の関係はない。すなわち抗張力は共晶組成附近が最大であるが、剪断力は Zn40% 附近を頂点とする上部に凸な曲線を示し、CC, CF および FF いずれの場合も同様な傾向を示している。これは蠟接部において半田合金と母材との間に拡散により中間相が形成され、また母材表面の微小な凹凸部に半田合金が密着し<sup>(19)</sup>、剪断力に相当影響するためと考えられる。第11図ならびに第12図に一例として No. 43 合金の蠟接部の顕微鏡写真を示した。

上部はそれぞれ銅板、鋼板であり下部は半田合金である。銅板の場合には(第11図)中間層の存在(厚さ約 6~8 $\mu$ )が認められるが鋼板の場合には認められなかつた。したがって CC の場合が FF の場合よりも剪断強度が大であり、CF がほぼその中間の値を示すものと思われる。なお半田層の厚さは試料の抜き取り検査の結果では 0.15~0.25 mm であつた。

亜鉛浸漬の場合すなわち FzFz, FzF, CFz の場合には、蠟接部には亜鉛濃度の高いことが考えられ、また半田自体も Zn-rich になる。これらの原因ならびに半田層の厚さが亜鉛浸漬しない場合よりも厚いことなどにより亜鉛浸漬の場合の剪断力は浸漬しない場合よりも低い値を示したものと考えられる。

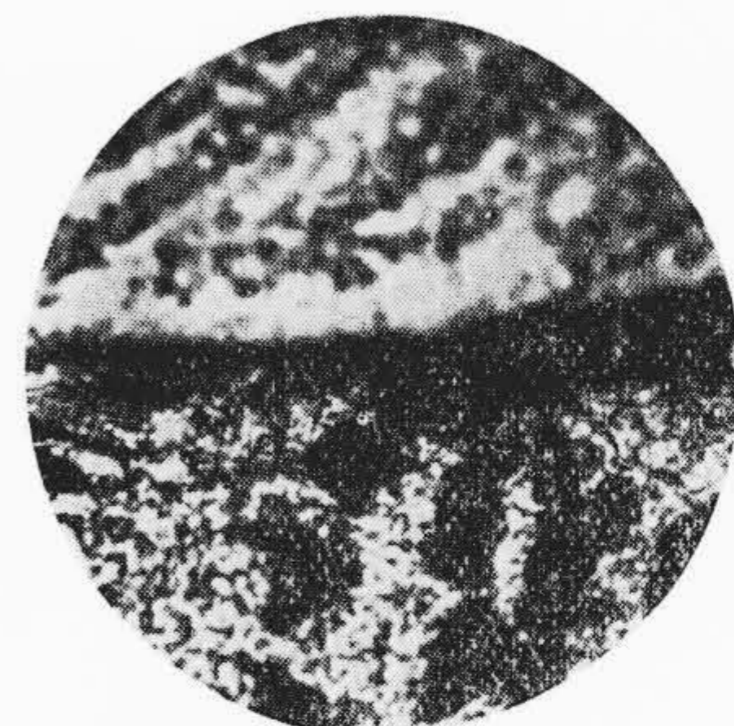
第4表 Sn—Zn—Cd 三元系合金の剪断強さ  
Table 4. Shear Strength of the Sn—Zn—Cd Ternary Alloys

試験状態	被試験材	No. 21	No. 41	No. 43
常温 (S <sub>0</sub> kg)	CC	362	420	514
	CF	314	347	457
	FF	303	295	409
	FzFz	271	203	301
	FzF	325	327	368
	CFz	375	297	384
蒸気処理後 (S <sub>200</sub> kg)	CC	144	175	205
	CF	174	174	197
	FF	118	128	170
	FzFz	60	117	112
	FzF	83	118	162
	CFz	92	117	144
蒸気処理による 剪断力低下率 ( $\frac{S_0 - S_{200}}{S_0} \times 100\%$ )	CC	60.2	58.3	60.1
	CF	44.6	49.9	56.7
	FF	61.1	56.6	58.4
	FzFz	77.9	42.4	62.8
	FzF	74.5	63.9	56.9
	CFz	75.5	60.6	62.5



第11図 No. 43 合金と銅板との蠟着部  
( $\times 600$ )

Fig. 11. Structure of Soldered Joint between Copper and Sn—30%Zn—15%Cd Alloy ( $\times 600$ )



第12図 No. 43 合金と鋼板との蠟着部  
( $\times 600$ )

Fig. 12. Structure of Soldered Joint between Steel and Sn—30%Zn—15%Cd Alloy ( $\times 600$ )

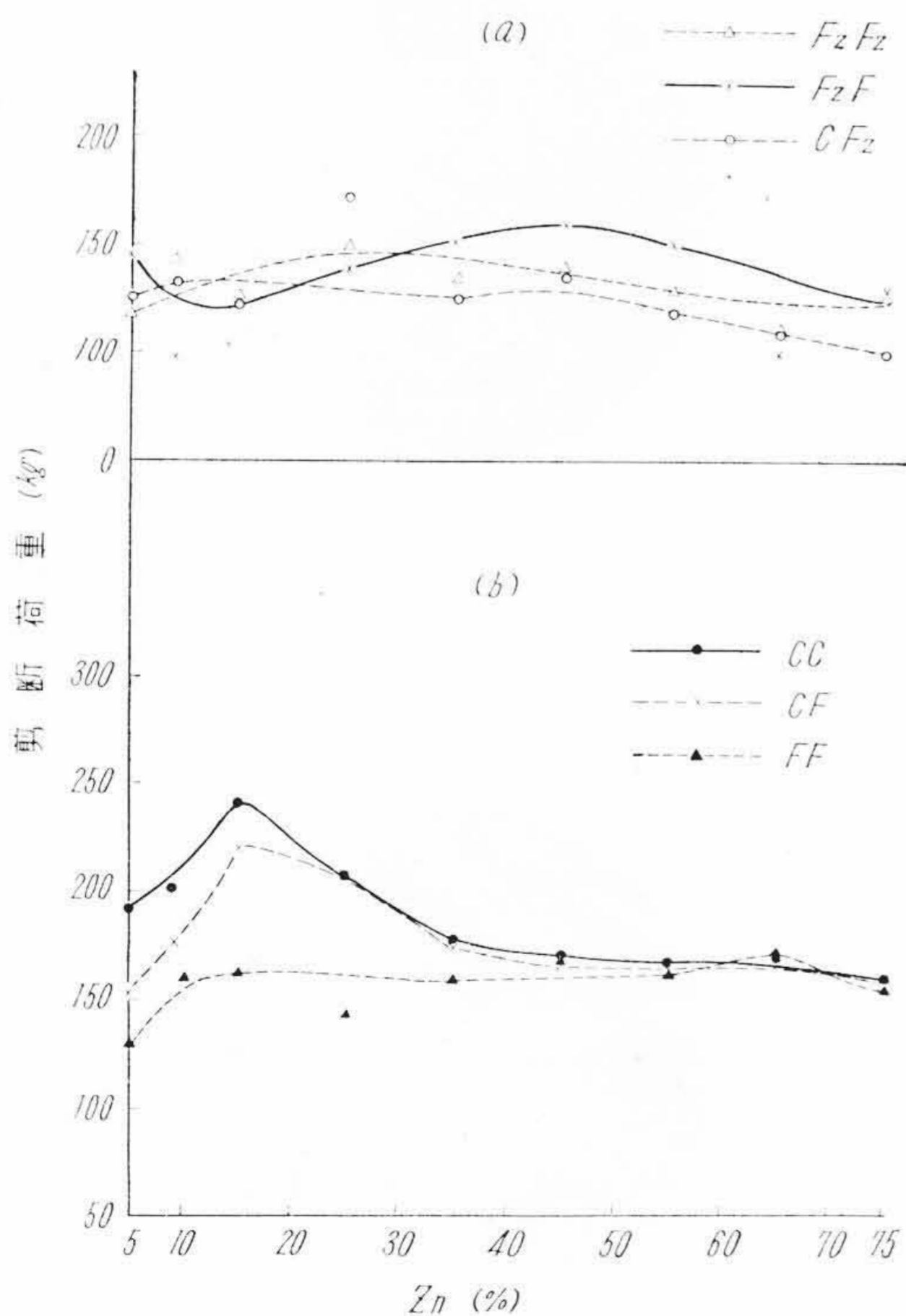
[V] 蠟 接 部 の 耐 蝕 性

蒸気処理後の試料の表面は灰黒色を呈し、その剪断荷重を測定すると 第13図 (a) (b) および第4表に示すようになった。

前者は Sn—Zn 二元系について、また後者は Sn—Zn—Cd 三元系についての結果である。蒸気処理により剪断荷重は著しく低下し、その蠟接面は、Zn 量が多いものではほとんど金属光沢を失っており、枯化現象を示した亜鉛と同様であり<sup>(17)(18)</sup>、結晶粒間腐蝕にもとづくものである。第13図にみるように蒸気処理後の剪断荷重は腐蝕したものは著しく低くなつており、(b) の場合には Zn 15% 附近で最大を示す曲線を示した。亜鉛に浸漬した場合にはその剪断荷重は (a) に示すように (b) に比べ一般に低くなつていた。この傾向は第4表に示すように Sn—Zn—Cd 三元系合金の場合も同様である。

試みに蒸気処理による剪断力低下率を Zn% に対してプロットすると第14図 (a) (b) のようになる。

亜鉛に浸漬した場合にはその低下率は全試料 50% 以上となり浸漬しない場合には Zn 量の増加とともに増大



第 13 図 Sn—Zn 二元系合金の蒸気処理後の剪断強さ

Fig. 13. Shear Strength of the Sn—Zn Binary Alloys after the Vapour-Treatment

し、CCの場合には 35%、FF の場合には Zn 15% 以上ではその低下率は 50% をこえる。

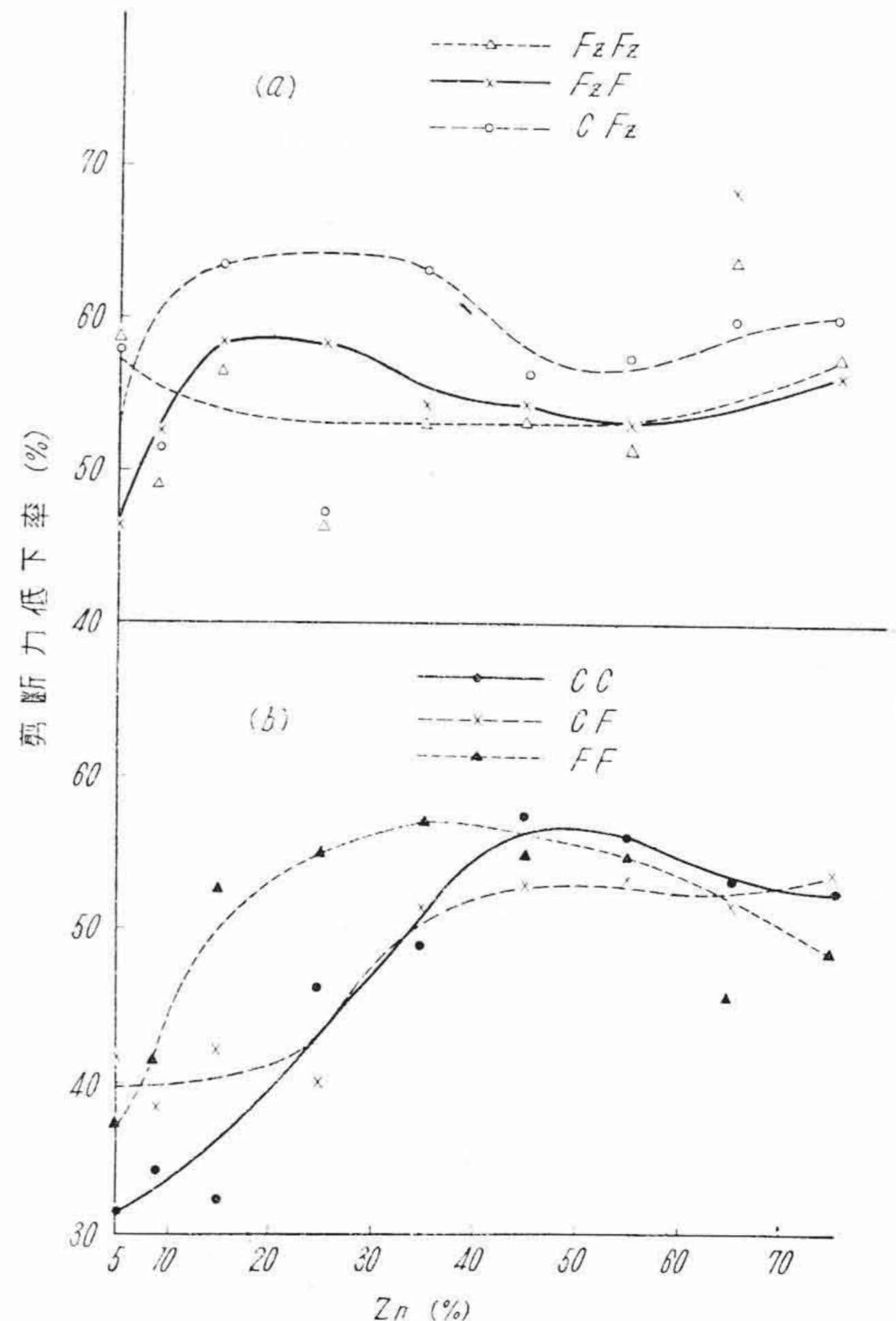
Sn—Zn—Cd 三元系の場合の低下率は第4表に示すようになり二元系に比べ低下率は大きくなり、No. 21 合金の FzFz では約 80% の低下率を示した。

蒸気処理による蠟接部の剪断力低下は Zn% と密接な関係があり、この低下は結晶粒間腐蝕によるためであることは破断面の観察よりあきらかであつたが Sn—Zn 二元系合金に対する Cd の影響は試料数の少いため定量的にとりあつかいえなかつた。

[VI] 蠟 の 「 走 り 」 試 験

銅板および鋼板に対する各種半田合金の 343°C、403°C および 493°C における「走り試験」(Spreading test) の結果を第15図、第16図および第5表に示した。

銅板上の「走り」は鋼板上の場合に比べて一般的に大きい。Sn—Zn 二元系合金の場合には銅板上の「走り」% は第15図に示すように Zn% に対し 343°C では Zn 25% 附近に頂点をもつ上方に凸な曲線となるが、403°C、493°C ではその傾向は全く逆で、下方に凸な曲線とな



第 14 図 Sn—Zn 二元系合金の蒸気処理による剪断力低下率

Fig. 14. Decrease of Shear Strength of the Sn—Zn Binary Alloys by the Vapour-Treatment



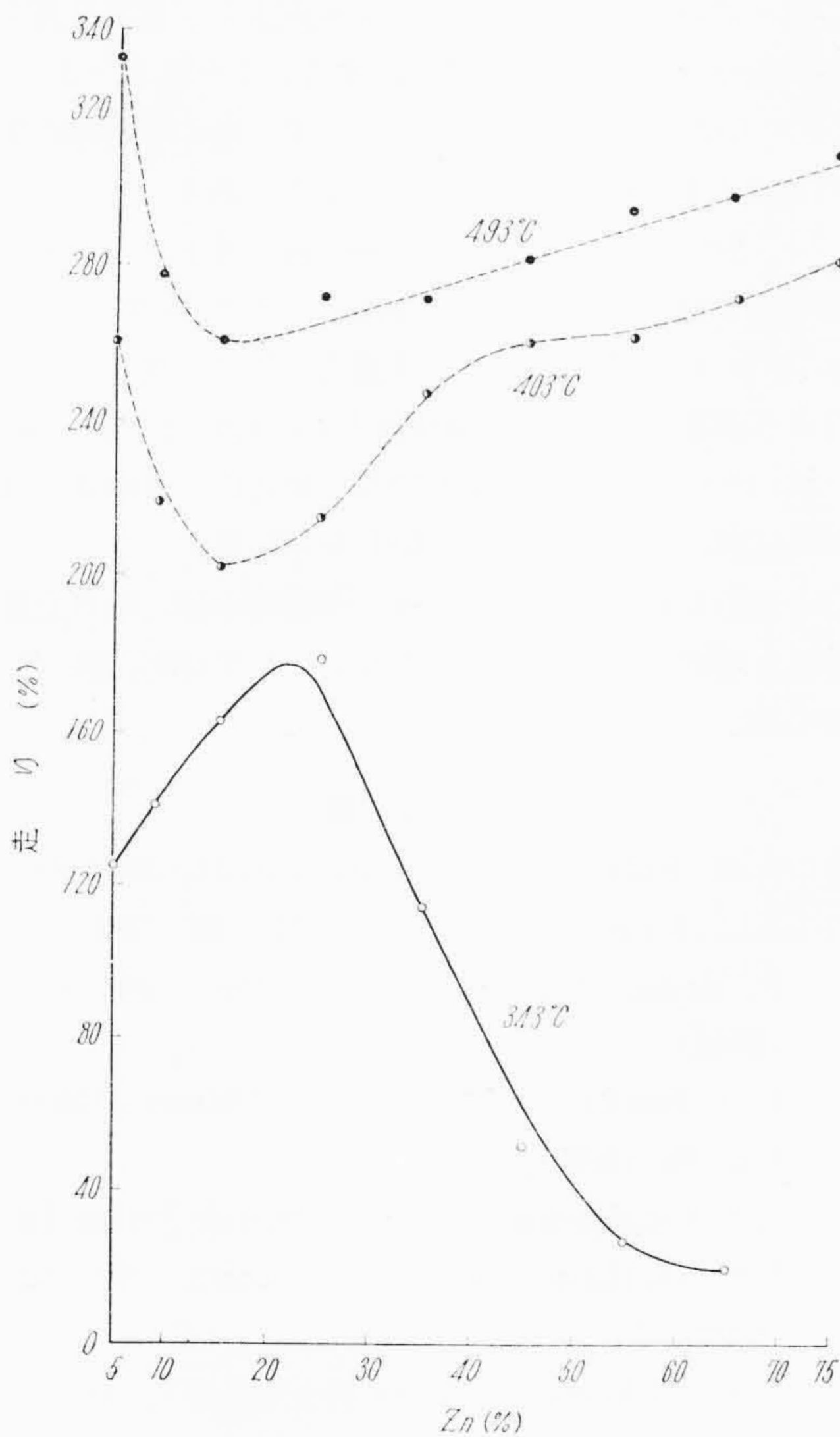
る。銅板上の場合にはこのように明瞭な結果はえられなかつたが、ほぼ同様な傾向が認められた。

Sn—Zn—Cd 三元系合金の「走り」は Sn—Zn 二元系の場合に比べ、若干大きい値を示した。

全体的に温度が高い程「走り」%は大きい、温度上昇による「走り」%の増加度は Zn% と関連性があることがわかつた。「走り」を支配する因子としては溶融合金の表面張力、比重、溶融合金と銅板または鋼板との接触角および溶剤の影響などがあり<sup>(20)</sup>、これらが酸化、ガス、不純物などにより変化するので上述の実験結果について早急な結論を出すことはできない。

〔VII〕 試作レール・ボンドの特性

上記実験結果よりレール・ボンド用強力合金として良好な結果を示した Sn—Zn—Cd 三元系合金に属する3種の合金 No. 21, 41 および 43 を選び、これら合金を



第15図 種々の温度における Sn—Zn 二元系合金の銅板上の走り

Fig. 15. Spread of Sn—Zn Solders on Copper Plate at Various Degrees of Superheat

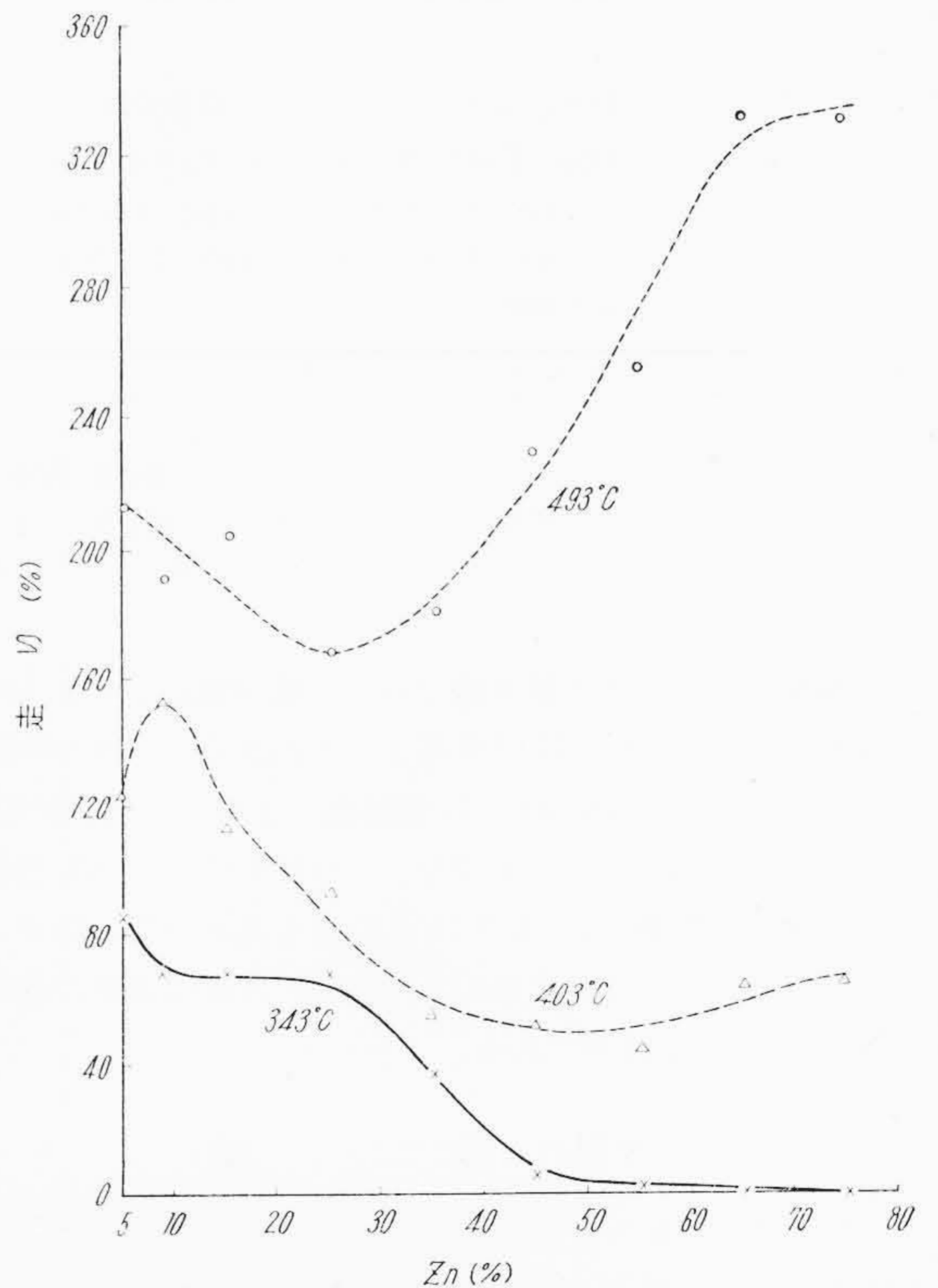
第5表 種々の温度における Sn—Zn—Cd 三元系合金の銅板および鋼板上の走り

Table 5. Spreading of Sn—Zn—Cd Solders on Copper and Steel Plate at Various Degrees of Superheat

試料番号	銅板上の走り (%)			鋼板上の走り (%)		
	343°C	400°C	493°C	343°C	400°C	493°C
21	165.0	241.4	282.2	78.3	108.9	251.6
41	210.8	292.4	282.2	63.1	108.9	282.2
43	287.3	320.4	384.1	103.8	134.4	328.0

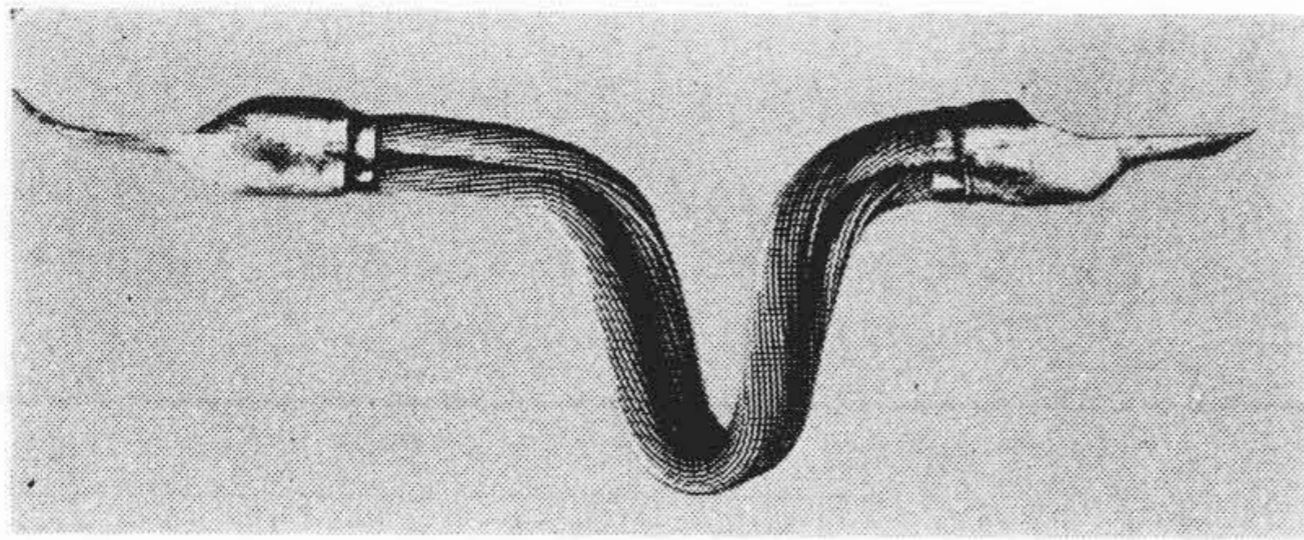
用いてレール・ボンドをそれぞれ3本づゝ試作した。まず鉄端子をそれら溶融半田合金に浸漬し、これを導体と同合金を用いて鬻付けした。第17図(次頁参照)にその製品の写真を示す。なお No. 21 合金は従来用いられているものである。

電気抵抗および抗張力を測定した試験結果を第6表に示す。電気抵抗はいずれも 40 μΩ 以下であり、かつ 1t の荷重を3分間かけても異常がなかつたので、規格に合格した。荷重試験の後鉄端子をチャックにかけ、引張り

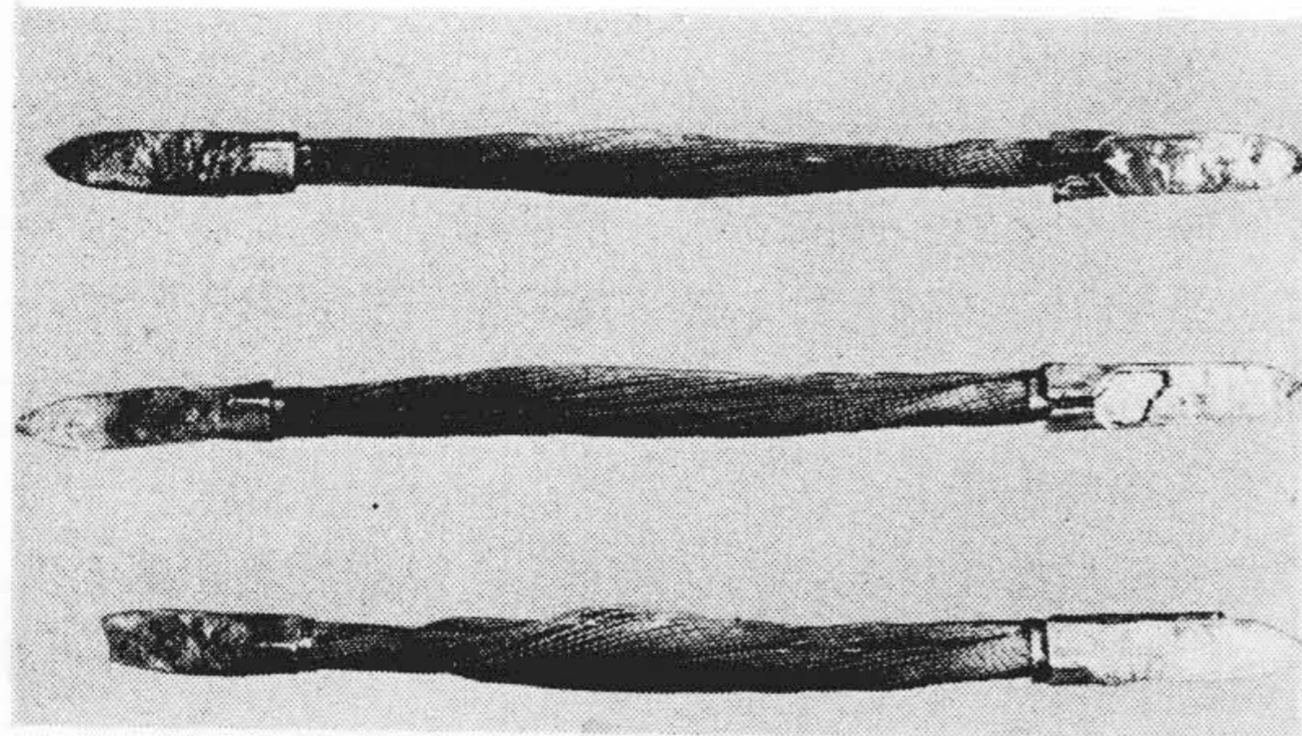


第16図 種々の温度における Sn—Zn 二元系合金の鋼板上の走り

Fig. 16. Spread of Sn—Zn Solders on Steel Plate at Various Degrees of Superheat



第 17 図 低温溶接したレール・ボンド  
Fig. 17. Soldered Rail Bond



試料上より 21, 41, 43

第 18 図 レール・ボンドの破断状態  
Fig. 18. Fracture State of Rail Bond

第 6 表 50 kg レール・ボンドの試験結果  
Table 6. The Test Result of Rail-Bond  
(50 kg) Soldered by the Alloys  
Shown Good Mechanical Properties

試料番号	電気抵抗 ( $\mu\Omega$ )	抗張力 (kg)	備考
21	35.1	1,660	蠟着部で切断
41	34.2	1,590	蠟着部で切断
43	34.2	1,700	鋼スリーブが切断

試験を行つてみると第 6 表ならびに第 18 図に示すように No. 21 および No. 41 は鉄端子と半田部分との間から破断しているが、No. 43 では蠟着部で切断せず 1,700 kg で鉄端子が切断してしまつた。この結果は No. 43 合金が抗張力、剪断力、「走り」ともに最も良好である結果とよく一致している。すなわち No. 43 合金は従来の合金 No. 21 よりも優秀である。

### 〔VIII〕 結 言

Sn—Zn 二元系合金ならびに Sn—Zn—Ca 三元系合金などについて抗張力、伸びおよび電気抵抗などを測定するとともに、それら合金を用いて銅板、鋼板などを蠟接し蠟接部の剪断強度、耐蝕性などを調べた。なお各種半田合金の銅板、鋼板上の「走り」製品についての試験も行つた結果次記のような結論をえた。

(1) Sn—Zn 二元系合金の抗張力、伸びは初晶  $\beta$  の形、大きさにより著しく影響され、加工材においてはその抗張力は Zn% とともに増大するが鑄造材においては共晶附近で最大を示す。しかしながら規格値以下である。なお加工材の電気抵抗は共晶で最高を示すが規格に合格する。

(2) Sn—Zn 二元系合金の抗張力を高めかつ伸びを害さない第三添加元素としては Al, Cd などが適当であるが、前者は蠟接性を不良にする。

(3) 蠟接部の剪断強度はそれを形成する半田合金の抗張力と一定の関係を示さず Sn—Zn 二元系においては Zn 40~50% で最高を示す。たゞし母材の端部を亜鉛浸漬した場合には剪断強度は劣化する。

(4) 蠟接部の耐蝕性は Zn% の増大とともに著しく不良となり Sn—Zn 二元系合金では銅板と鉄板を蠟接するときには 40% 以上 Zn を添加することは望ましくない。

(5) 供試合金蠟の「走り」は組成および蠟接温度と関係があり、使用上温度を適当にすることが必要である。

(6) Cd の添加は Sn—Zn 二元系合金の蠟接部の剪断力を高めるが耐蝕性を弱くする傾向がある。

(7) Sn—Zn—Cd 三元系合金においてレール・ボンド用半田合金としての規格に合格し、かつ従来の合金 (No. 21 に相当する) に比べ抗張力、伸び、固有抵抗のみならず剪断力、耐蝕性、蠟接性ともに良好な合金、No. 43 (Sn 55%, Zn 30%, Cd 15%) をえた。なお本合金は製品試験においても優秀な結果を示した。

この報告を終るにあつて種々御援助を頂いた日立製作所日立電線工場久本、田村両課長、山本主任、岡、堀、藤田の諸氏に感謝の意を表する。

### 参 考 文 献

- (1) A.H. Falk: Bell Lab. Record, 14, 89 (1935)
- (2) E.L. Avuch: Met. Abst. 13, 342 (1945)
- (3) F. Stassi D'Alia: Chem. Abst. 38, 1721 (1944)
- (4) C.A. Reichelderfer and B.W. Gonser: Steel 116, 86 (1945)
- (5) 日本学術振興会編: 金属材料第 4 卷 794 (昭 16)
- (6) B.S. Barham: Met. Ind. (Lond.) 52, 521 (1938)
- (7) Alex Schaefer: Metallwirtschaft, 16, 61 (1937)
- (8) E.A. Anderson: Metals Handbook (ASM) 1240 (1948)
- (9) W.M. Peirce: Trans. AIME., 68, 767 (1923)
- (10) P. Saldan: J. Inst. Metals, 41, 289 (1929)

- (11) 日本工業規格: JIS, H-0321  
 (12) J.A. Kies & W.F. Roser: Proc. ASTM, 43, 600 (1943)  
 (13) J.A. Kies & W.F. Roser: Proc. ASTM 44, 691 (1944)  
 (14) A. Latin: J. Inst. Metals, 72, 265 (1946)  
 (15) L.G. Earle: J. Inst. Metals, 71, 45 (1945)  
 (16) A. Burkhardt: Technologie der Zinklegierungen, 15 (1937)  
 (17) 大日方, 日景: 日本金属学会誌 B-14, 39 (1950) 昭 25  
 (18) 大日方, 日景: 日本金属学会誌 B-14, 44 (1950) 昭 25  
 (19) W.J. Smellie: Met. Ind. (Lond.) 79, 43 (1951)  
 (20) G. L. J. Bailey & H. C. Watkins: J. Inst. Metals, 80, 57 (1951)

## 日立製作所社員社外講演一覧 (昭和29年9月分受付)

講演月日	主 催	演 題	所 属	講 演 者
10/5	学 術 振 興 会 会 第 117 委 員 会	直 流 機 の 無 火 花 整 流 帯 の 電 氣 的 測 定 に つ い て	日 立 研 究 所	一 木 利 信 茂 木 正 三
10/29~30	溶 接 学 会	18-8 系 オーステナイト 溶着鋼 の 高 温 に お け る 機 械 的 性 質 に お よ ぼ す フェライト の 影 響	日 立 研 究 所 日 立 研 究 所	小 野 健 二 小 川 浩 三
9/30	日 刊 工 業 新 聞 社	フ レーム ハード ニング	亀 有 工 場	割 石 官 市
10/19	東 京 能 率 協 会	文 書 事 務 管 理	戸 塚 工 場	太 田 文 平
9/末	日 本 学 術 振 興 会	ニ ッケル の 分 析 化 学 的 研 究 (第 三 報)	中 央 研 究 所	栗 田 常 雄
9/末	日 本 学 術 振 興 会	鋼 種 簡 易 鑑 別 法 の 研 究 (第 10 報)	中 央 研 究 所	栗 田 常 雄
9/29	東 京 都 精 密 工 具 組 合	精 密 工 具 用 工 具 鋼 に つ い て	安 来 工 場	小 柴 定 雄
10/22~25	日 本 金 属 学 会	電 氣 式 熱 膨 脹 計 の 試 作 研 究	戸 畑 工 場	塩 谷 勝 喜 川 井 藤 修 実 藤 修 作
10/6	日 刊 工 業 新 聞 社	実 際 的 経 営 統 計	亀 戸 工 場	猪 瀬 実
9/21~28	東 大 機 械 工 学 科	起 重 機 お よ び 運 搬 設 備	亀 有 工 場	村 田 敏 雄
10/29~30	溶 接 学 会	ス テンレス 鋼 SEC 15 溶 接 部 の 耐 蝕 性 に お よ ぼ す 熱 処 理 の 影 響	日 立 研 究 所	小 野 健 二 渡 辺 潔
10/11~15	日 本 事 務 能 率 協 会	資 材 管 理 事 務 に つ い て	本 社	寺 沢 俊 平
11/6~7	京 大 応 用 物 理 学 会	ノ モ グ ラ フ を 応 用 し た 真 空 排 気 コ ン ダ ク タ ン ス の 計 算 に つ い て	中 央 研 究 所	近 藤 弥 太 郎
11/6~7	立 坑 専 門 委 員 会	ガ イ ド ロ ープ と ケー ジ 横 揺 の 実 測	亀 有 工 場	石 橋 重 遠
10/2	日 本 鉱 業 油 業	変 圧 器 油 安 定 度 に 関 す る 研 究 の 現 状	日 立 研 究 所	高 橋 治 男
10/3	全 国 炭 砒 技 術 協 会	選 炭 機 ブ ロ ヲ に つ い て	川 崎 工 場	阪 倉 康 男
10/29	全 日 本 産 業 安 全 連 合 会	下 請 工 場 の 安 全 指 導 に つ い て	亀 戸 工 場	寺 下 信
10/6	製 紙 工 業 社	製 紙 工 業 に お け る 電 力 応 用 特 に セ ク シ ョ ナ ル ド ラ イ ブ に つ い て	本 社	井 上 清 二
10/6	製 紙 工 業 社	チ ル ド ロール の 硬 度 に つ い て	若 松 工 場	原 岡 正 敏
10/6	製 紙 工 業 社	高 濃 度 パ ル プ ポ ン プ に つ い て	亀 有 工 場	寺 田 進
10/6	製 紙 工 業 社	日 立 製 紙 用 真 空 ポ ン プ に つ い て	川 崎 工 場	緒 方 剛
10/20	日 本 能 率 協 会	標 準 常 備 量 と 貯 蔵 量	本 社	寺 沢 俊 平



第 36 卷

日 立 評 論

第 12 号

- ◎ 最近のガスタービンの傾向と日立試作機について.....日立製作所 { 日立工場 佐々木精治  
川崎工場 瀬賀将久
- ◎ 関西電力株式会社池田ユニットサブステーション.....日立製作所・日立国分分工場 { 丹 秀 太 郎  
池 田 正 一 郎
- ◎ 最近のアルミスラブ熱間圧延機電気品について..... { 高田アルミニウム製作所 中 村 登 喜 生  
日立製作所・日立工場 { 木 田 真 吉  
高 根 元
- ◎ 電氣的積算方式の流量計.....日立製作所・日立研究所 岩 淵 芳 雄
- ◎ 納入実績によるエレベータの動向.....日立製作所・日立国分分工場 上 田 光 男
- ◎ 日立 MC-EP 型集塵装置の性能について ....日立製作所・日立工場 小 川 伝 三 郎
- ◎ 農林省新井郷川排水機場電気設備と制御装置.....日立製作所・日立国分分工場 { 森 山 一 夫  
倉 橋 健 三
- ◎ セメントカーの通風冷却管 ..... { 電源開発株式会社 { 塚 原 重 憲  
日立製作所・笠戸工場 { 高 尾 井 辺 美 三 昭 寛  
渡 高 井 辺
- ◎ コールカッターによる透截に関する研究.....日立製作所・亀有工場 盛 武 賀
- ◎ A形自動交換機用ロータリスイッチの改良.....日立製作所・戸塚工場 菊 地 誠
- ◎ PH-4 型電力線搬送電話装置 .....日立製作所・戸塚工場 工 藤 康
- ◎ テレビ受像管の試験法.....日立製作所・茂原工場 { 辻 沢 令 享  
西 沢 令 智
- ◎ 電力ケーブル用絶縁紙の熱化特性 .....日立製作所・日立電線工場 { 下 山 田 富 保  
常 松 甲 子 郎
- ◎ ゴム絶縁電線の連続加硫に関する基礎的考察(続報)....日立製作所・日立電線工場 { 山 本 三 郎  
伊 勢 明
- ◎ 日立アミナール耐熱絶縁ワニスの二、三の特性.....日立製作所・日立絶縁物工場 森 義 輔
- ◎ 低損性フェノール樹脂成型材料 CP-60N .....日立製作所・多賀工場 { 横 山 亮 次  
石 田 重 信

東京都千代田区丸の内1ノ4  
(新丸の内ビルディング7階)

日 立 評 論 社

誌代 { 1冊分 ¥100 千 12  
6冊分 ¥430(送料共)  
12冊分 ¥840(送料共)

### 「日立評論」綴込みカバー発売

(上製綴込み紐付) 特価1組 ¥100 (郵送料共)

「日立評論」の綴込み用として写真に示すような堅牢美麗な綴込みカバーを発売致しております。

御希望の方には特に実費にてお預ち致しておりますから、直接下記に御申込み下さい。

日 立 評 論 社

東京都千代田区丸の内1丁目4番地  
(新丸の内ビルディング7階)

振替口座 東京 7 1 8 2 4

