細線と薄膜の接合に関する研究 (第1報)*

—亜鉛溶射皮膜と CP 線の平行ギャップ抵抗溶接部の接合強度—

岡本 郁男** 大森 明** 川村 正晃***

Bonding of Lead Wire to Thin Film (Report 1)*

—Peel Strength of Parallel Gap Resistance Welded Joint which Consisted of CP Wire and Zinc Spraying Coated Film—

by Ikuo Okamoto**, Akira Omori** and Masaaki Kawamura***

A lead wire set on a zinc spraying coated film was joined by a parallel gap resistance welding method. In this joining, the wire penetrates into the film, depending on welding heat input under constant electrode force. On the other hand, the peel strength of the joint increases as the penetration depth increases, but the deeper penetration may effect on the insulation of a plastic capacitor due to welding heat. Then, a something controlling method of the penetration depth is to be considerable to perform a sound lead wire joint.

1. 緒 言

プラスチックコンデンサーを製造するさい、コンデンサーからリード線を引き出す方法として、コンデンサーの端面に亜鉛あるいははんだなどの低融点の溶射皮膜を形成し、その皮膜とリード線を平行ギャップ抵抗溶接法 (以下、PGRW 法と略記する) によって接合する方法が広く使用されているが、接合部の機械的強度の不均一や溶接熱によるコンデンサー素子の焼損など多くの問題点が残されている。

今日まで、PGRW に関する研究は多数^{1,2,3)}あるが、溶射皮膜を母板とする場合の接合強度におよぼす諸因子の影響についての詳細な報告はみあたらない。そこで、筆者らはまず手始めとして、銅プライ線 (以下、CP 線と略記する) と亜鉛溶射皮膜 (以下、Zn 皮膜と略記する) を接合し、その接合強度について検討した。

2. 供試材および実験方法

PGRW 法による CP 線と Zn 皮膜との接合要領を Fig. 1 に示す。Zn 皮膜は、厚紙 (12mm×6mmW) の片面にガス溶線式溶射装置を使用して、Table 1 に示す

溶射条件* で 3.2mmφ の市販溶射用亜鉛線を溶射し、膜厚 0.55~0.65mm のものを作製した。CP 線の総直径は 0.8mmφ で、その表面に銅めっき層 (厚さ 0.05mm) があり、さらにその上に錫-鉛共晶はんだが約 10μm 厚さにめっきされている。

Fig. 1 Schematic illustration of parallel gap resistance welding method

Table 1 Spraying condition

Oxygen pressure (Psi)	Acetylene pressure (Psi)	Air pressure (Psi)	Spraying distance (cm)	Wire feed speed (m/min)
II	6	45	25	2.3

*溶射は素地 (プラスチックコンデンサー) の保護のため、適正条件からはずれている。

*原稿受付 昭和53年3月30日 (昭和50年度秋季全国大会にて発表)

**正 員 大阪大学溶接工学研究所 Member, Welding Research Institute of Osaka University

***正 員 大阪府立大学工業短期大学部 Member, Junior College of Engineering, University of Osaka Prefecture

接合方法は, アセトン中で超音波洗浄によって脱脂した長さ 50 mm の CP 線の先端約 12 mm を溶射したままの Zn 皮膜の長手方向に平行に, 皮膜上のほぼ中央部におき, 並列モリブデン電極 (断面が 3.2 mm×3.2 mm の F 型電極, 以下, Mo 電極と略記する) 間距離を一定 (本実験では $D=2.4$ mm, 1.6 mm および 0.8 mm) に保ち, 足踏レバーにより加圧して, 加圧力が一定値 (本実験では $P=3.75$ kg) に達したとき, 所定の時間通電 (本実験では $t=50\sim 167$ ms) し, 接合する。

本装置の電源は位相制御方式であり, 溶接電流 (導通角) は目盛板上に相対値 (以下, H と略記する) で示されているので, Zn 皮膜と CP 線とを接合し, H 番号と波高率および導通角との関係を求めた。Table 2 はその結果を示す。

Table 2 Crest factor and rising angle of various H numbers

H NUMBER	10	8	6
WAVE OF CURRENT
CREST FACTOR	1.61	1.77	1.99
RISE ANGLE (°)	0.25	0.36	0.50

CP 線の Zn 皮膜中への浸入深さは, 接合後の試片を樹脂に埋込み, Zn 皮膜の横方向に電極直下部まで研磨し, 検鏡によって実測した。

接合強度は, クロスヘッドの移動速度 50 mm/min, 剥離角度 90° で剥離試験を行ない, 最大荷重によって求めた。なお, 剥離初期の第 1 ピークに最大値を示すものはそのピーク値を除外し⁴⁾, 以後のピーク値のうち最大のものを接合強度とした。また, 試験中剥離角度を一定に保つため, 試片は, Fig. 2 に示すように, 一端は滑車を介して鎖でクロスヨークに, 他端は重錘に接続された台車上に取り付けられている。

3. 実験結果および考察

3.1 接合部断面の観察結果

CP 線と Zn 皮膜を接合した場合の電極直下部の接合部の断面写真を Fig. 3 に示す。Zn の融点は CP 線芯部の鋼およびめっき層の銅のそれより低く, かつ線と皮膜の接合であるから, CP 線は溶融亜鉛を押し出しながら Zn 皮膜中へ浸入して接合される。いっぽう, 押し出された溶融亜鉛は余盛を形成するが, 余盛の Zn 皮膜に対するぬれ性はよくない。また, 接合部にはかなりの気孔が存在するが, これは Zn 皮膜中に存在する微細な空隙によるものと考えられる。ちなみに, 供試 Zn 皮膜のか

Fig. 2 Schematic illustration of jig used in peel test

Fig. 3 Cross sectional view of welded part ($H=10$, $t=66.7$ ms $D=2.4$ mm, $P=3.75$ Kg)

さ比重 (JIS H8664) を測定したところ 6.09 でこの値は常態亜鉛の 7.13 に比較してはるかに小さい。なお, CP 線頂部の Mo 電極との接触部分が飛散しているが, これは通電開始時の CP 線と Mo 電極との接触状況によるものと思われる。しかし, CP 線と Zn 皮膜との接触部ではこのような現象はほとんど生じていなかった。

3.2 はく離試験における破壊形式

溶接電流 ($H=10$), 電極間距離 ($D=2.4$ mm) および通電開始時の加圧力 ($P=3.75$ kg) を一定にして, 通電時間を変えた試片の剥離試験における荷重-変位曲線および剥離試験後の接合部断面の代表例を Fig. 4 および Fig. 5 に示す。これらから, 破壊形式は図示のように三つの型に分類できる。

Fig. 4 Typical example of load-displacement curve

Fig. 5 Typical example of cross sectional fracture face after peel test

I型は入熱不足のため、接合が充分でなく、荷重-変位曲線はパルス型をなし、剝離部の Zn 皮膜の変形はほとんど認められない。

II型は Zn 皮膜が溶融して CP 線が Zn 皮膜中かなり浸入している場合で、そのため強度は I 型より大きくなり、荷重-変位曲線は充分な変位が生じ、剝離部の Zn 皮膜も著しく変形している。

III型は入熱過剰の場合で、CP 線の Zn 皮膜中への浸入深さが過大になり、そのため荷重-変位曲線は谷と山の差が著しく、剝離試験後の断面は貫通破壊を示す。

3.3 CP 線の Zn 皮膜中への浸入深さと接合強度との関係

溶接電流 ($H=10$)、電極間距離 ($D=2.4\text{ mm}$) および通電開始時の加圧力 ($P=3.75\text{ kg}$) を一定にして、通

電時間 ($t=50\sim100\text{ ms}$) を変えた場合の接合強度を Fig. 6 に示す。図示のように、通電時間が長くなるほど接合強度は増加し、そのばらつきは大になる。他方、CP 線の Zn 皮膜中への浸入深さも、Fig. 7 に示すように、通電時間とともに増大し、Fig. 6 の結果と考えると、接合強度と浸入深さの間に密接な関係のあることがわかる。

Fig. 6 Relation between max. fracture load and welding time

この点を明らかにするため、溶接条件を種々変えて接合強度と浸入深さを測定し、両者の関係を図示したものが Fig. 8 である。図中、 D は電極間距離を表わす。また、CP 線表面のはんだの酸化物を除去するため、ロジンおよびロジン-20wt. % ステアリン酸をアルコールに溶解して接合部に塗付した場合の結果も併記してあるが、使用した溶剤の酸化物除去能力が劣るため、Zn 皮膜の酸化物を除去することができず、溶剤塗付の効果はほとんど観察できなかった^{**}。なお、各測定点は溶接電流および通電時間を変化させており、溶剤を使用した場合の電極間距離は 2.4 mm であった。

図中の I, II および III は Fig. 5 で述べた接合部の破壊様式に該当するもので、領域 II では接合強度と浸入深さの間にほぼ比例関係が成立する。また、前述のように、浸入深さが大きいほど接合強度のばらつきも大になるが、この原因の一つは、接合部に存在する気孔および余盛が接合強度に影響するためと考えられる。剝離試験を中断した場合の剝離部先端の断面写真を Fig. 9 に示すが、破壊部における余盛や気孔の影響が観察できる。し

^{**}後報で詳述する予定である。

Fig. 7 Relation between penetration depth and welding time

Fig. 8 Relation between max. fracture load and penetration depth

Fig. 9 Typical example of cross sectional fracture face on peel test

接合強度のばらつきも大になろう。また、溶射皮膜の品質的なばらつきも、当然、接合結果に影響すると考えられるが、この場合でも浸入深さが大きいほど、接合結果におよぼす影響は拡大されると思われる。

剝離試験における破壊形式が貫通型を示す領域Ⅲでは、Mo 電極の Zn 皮膜に対する鍛圧作用なども加わって、接合強度は浸入深さに無関係になる。

剝離発生点は、Fig. 9 からみて、Zn 皮膜と CP 線の接合界面の底部近傍のようであり、それが側面部に伝播している。また、底面部に生じた割れは Zn 皮膜の膜厚と直角方向に伸びている。そこで Zn 皮膜の膜厚方向および膜厚と直角方向の強度を JIS H8664 に規定する付着力試験および引張試験法を適用して測定したところ、前者については 0.31 kg/mm^2 、後者は 3.5 kg/mm^2 の値を得た。

一般に、剝離強さ（本論文では接合強度）は剝離幅（剝離界面長さ）に比例する^{3,4)}といわれているが、Zn 皮膜の場合には皮膜強度に著しい異方性が存在するから、Fig. 9 に示したように、CP 線が Zn 皮膜から浮き上がった状態で破壊が進行する。そのため、CP 線底面の接合部は接合強度にほとんど寄与せず、荷重はもっぱら CP 線側面の接合部で保持されるものと思われるが、Zn 皮膜は膜厚方向の強度にくらべて膜厚と直角方向のそれが著しく大きいので、CP 線側面の接合部において、膜厚方向の強度成分の接合強度に対する寄与率は膜厚と直角方向のそれにくらべてきわめて小さくなり、均質材を使用した場合の通説^{3,4)}とは様相を異にして、接合強度は剝離界面長さに比例せず、浸入深さに比例するものと考えられる。

3.4 接合強度とはく離深さの関係

一つの試片を使用して接合強度と浸入深さを同時に測定することはできないから、Fig. 8 は同一条件で接合した試片の半数を使用して接合強度を求め、残り半分で浸入深さを測定し、それぞれの平均値を図にプロットしている。換言すれば、溶接条件を媒体にして接合強度と浸入深さを結びつけている。したがって、個々の試片の真の接合強度と浸入深さの関係を表示することができず、接合強度に関するばらつきが浸入深さのばらつきに起因するものか、あるいは浸入深さを一定に保持しても生じるものか否かを判定することはできない。

他方、剝離試験後の試片の剝離深さと接合強度の関係は直接測定できるから好都合である。しかし、浸入深さと剝離深さの間に近似関係が成立するか否かを確認する必要がある。

溶接電流 ($H=7\sim 10$)、通電時間 ($t=50\sim 100 \text{ ms}$) および電極間距離 ($D=0.8, 1.6$ および 2.4 mm) を変え

かし、気孔や余盛の生成に再現性はないから、これらが多くなる条件、換言すれば、浸入深さが大になるほど、

た場合のⅡ領域に属する試片の接合強度と剝離深さの関係を Fig. 10 に示すが、両者の間にはほぼ比例関係が成立し、その関係は Fig. 8 の接合強度と浸入深さのそれに大略一致する。このことは、浸入深さと剝離深さの間に近似関係が成立することを意味するが、これは剝離試験において Zn 皮膜からの CP 線の剝離が、Fig. 9 に示したように、接合界面の底部の CP 線近傍において生じていることから理解できる。また、Fig. 10 から剝離深さ

Fig. 10 Relation between max. fracture load and pulled out depth after peel test

が同一であっても接合強度の値はかなりばらつく傾向にあることがわかる。

4. 結 言

CP 線と Zn 皮膜をパラレルギャップ抵抗溶接法によって接合した場合、CP 線が Zn 皮膜中へ浸入した状態で接合される。したがって、接合強度と CP 線の Zn 皮膜中への浸入深さ（もしくは剝離試験後の剝離深さ）の間にはほぼ比例関係が成立する。この場合、溶接入熱を大きくする（本実験では通電時間を長くする）と浸入深さが大になり、接合強度も増大するが、コンデンサー素子の焼損の恐れがあるので、接合部の品質的なばらつきをおさえ信頼性を高めるためには、まず、なんらかの方法で CP 線の Zn 皮膜中への浸入深さを制御する必要がある。

謝 辞

本研究に際し、種々有益な御助言を頂いた日本アビオトロニクス㈱青野進氏および試料を御提供頂いた㈱指月電機製作所に感謝致します。

参 考 文 献

- 1) B. T. Lampe; Reflow Soldering of Integrated Circuit Flatpacks W. J., Vol. 52 (1973), No. 1, 22
- 2) 青野：超小形回路における点溶接技術，電子材料 1965—11, 27
- 3) 渡辺ほか：細線と印刷回路との抵抗溶接，溶接学会誌，Vol. 44 (1975), 241
- 4) 野中保雄，接着と力学(Ⅱ)，日本接着協会誌 Vol. 10 (1974), 238

光干渉法による鋼材切欠先端の弾—塑性ひずみ分布におよぼす試験片形状の影響*

田村 博** 金 永植** 加藤 昇**

The Influence of Specimen Geometry on Elastic-Plastic Strain Distribution at Crack Tip on Steel by Optical Interference Method*

by Hiroshi Tamura**, Young Sik Kim** and Noboru Kato**

The through-the-thickness and in-plane strain behaviours at the crack tip for HT80 and SM41 steels were observed continuously on various specimen geometries, using optical interference method. The relationship between the elastic-plastic strain distribution, or the elastic to plastic zone size ratio and speci-

*原稿受付 昭和53年9月8日（昭和53年度春季全国大会にて発表）

**正 員 東京工業大学 Member, Tokyo Institute of Technology