細線とはんだめっき印刷回路板との抵抗溶接*

佐々木秀昭**, 和井伸一**, 志田朝彦**, 柴田辰己**, 森成良佐***

Resistance Welding of Fine Wires to Solder Plated Printed Circuit Board*

by Hideaki Sasaki**, Shinichi Kazui**, Tomohiko Shida**, Tatsumi Shibata**
and Ryosuke Morinari***

Parallel gap resistance welding of Ag plated 0.18 mm diameter oxygen free copper wires to solder plated printed circuit boards (P/B) was investigated. Results obtained are summarized as follows.

- (1) Proper electrode force of weld condition is selected; the electrode force 2.5 kgf (24.5N, at the start of current on) and the maximum electrode force 2.8 kgf (27.4N).
- (2) Optimum Thickness of Solder plating is 15~35 μm .
- (3) Proper width of the Patterns is 0.8 mm (tolerance ± 0.1 mm).
- (4) Electrode material of Cu-W (Cu 30%, W 70%) has seven times longer life than Mo in the number of tolerable continuous welding points. (90° peel welding strength is over 0.3 kgf (2.94N))

Key Words: Parallel gap resistance welding, Electrode force, Solderplating, Electrode material, Cu-W

1. 緒 言

代表的電子機器である電子計算機は筐体、印刷回路板、LSI 等の電子部品、電源回路、ケーブルなど極めて多数の部品から成り立っている。その構成上の特徴の一つは微小な接続箇所（主にリードと端子）が極めて多いことである。LSI 化で接続点数が減少しているものの最近市販されている電子計算機で¹⁰ 桁の接続点数に達する。従って接続箇所の信頼性確保は製品の信頼性確保にとって基本的に重要な事項である。

以下本報告においては、細い (ϕ 0.18 mm) 銅線とプリント回路板上の端子との接続上の問題点について述べる。細い銅線と印刷回路板上の端子（以下パターンと呼ぶ）の接続工法として、①はんだ付時に使用するフラックスが残留することによる腐食がない。②被接続物どうしを確実に接触させて接続が出来る。③高密度実装に適している（パターン間隔を極度に狭めてもはんだブリッジの発生がない）④自動化に適している等の理由からパラレルギャップ抵抗溶接法を検討することにした。

前報¹⁾では、パラレルギャップ溶接部の機械的性質および金属組織の観察結果を中心に報告した。本報告ではパラレルギャップ抵抗溶接部の品質を決定する溶接因子の中から電極加圧力、はんだめっき厚、パターン巾、電極材質を採り上げ検討した結果について述べる。

パラレルギャップ抵抗溶接部の品質に及ぼす溶接因子の影響については、町田²⁾らの研究がある。その中でパラレルギャップ溶接の発熱現象は、発熱分担としてはワーク内部の発熱が主であるが、電極・ワーク間の接触抵抗のばらつきも接合結果に影響を及ぼす事項が解明されている。しかし安定な接触抵抗を再現性よく確保する

具体的方法については検討されていない。そこで本報告ではばらつきの少ない安定な溶接結果をうための溶接因子の選定という観点から、前記 4 項目について検討することにしたものである。

2. 供試材および実験方法

Table 1 に供試印刷回路板のパターン形状とめっき厚を示す。パターンはガラスエポキシ基材に接着された Cu 箔に Cu めっきを行い、その上に 5~35 μm はんだめっきを施したものである。Table 2 は供試 Ag めっき細線の性質を示す。Fig. 1 にパラレルギャップ溶接方法を示す。溶接機は定電圧電源[†]を使用した。本方法は 2 本の電極間へギャップを設け一方の電極から被溶接材（細線とパターン）を通して他方の電極へと電流を流

Table 1 Dimension and Plating thickness of the Patterns

Cu foil (μm)	Cu Plating (μm)	Solder Plating (μm)
35	35	5 ~ 35

*原稿受付 昭和 63 年 10 月 11 日 昭和 60 年度秋季全国大会で発表

**正 員 日立製作所 Member, Hitachi, Ltd.

***正 員 新神戸電機 Member, Shinkobe Electric, Ltd.

† 溶接中電極間電圧を一定に保持するフィードバック制御機構を設けたもの

Table 2 Wire used in the experiment

material	diameter (mm)	plating (μm)	Tensile Strength (kgf/mm^2)	hardness (Hv25gf)	Electrical Conductivity (IACSZ)
Oxygen Free Copper	0.18	Ag (2~3)	23.5 230.5 MPa	91	96

Fig. 1 Schematic illustration of Parallel gap welding

し、発生するジュール熱を熱源とする重ね抵抗溶接の一種である。発生するジュール熱 Q は(1)式となる。

$$Q = 0.24 \frac{V^2}{R} t \quad [\text{cal}] \quad \dots\dots(1)$$

但し $R = f(R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7)$

ここで R_1 : 電極の抵抗, R_2 : 電極と細線間の接触抵抗, R_3 : 細線の抵抗, R_4 : パターンの抵抗, R_5 : 細線とパターン間の接触抵抗, R_6 : 電極と電極ホルダー間の抵抗, R_7 : 電極ホルダー等溶接機出力側回路の抵抗, V : 電極間〔抵抗 R (Ω) の両端〕に印加される電圧 (V) t : 通常時間 (秒) である。

(1)式より定電圧電源を使用すれば R を一定にする (溶接打点ごとに抵抗値を変化させない) ことにより Q を安定化することが出来る。

溶接条件の確立においては、一定な R の再現 (溶接打点毎の初期抵抗を一定にすること) に努力することが、品質一定の接続を得るポイントであり本報告は、電極加圧力、はんだめっき厚、パターン巾、電極材質選定管理条件を以下次章の実験から判断した。ここで電極加圧力は R_2 および R_5 の安定した再現性確保、はんだめっき厚およびパターン巾は R_4 の再現性確保、電極材質選定は R_1, R_2, R_6 の再現性確保に関与する。またはんだめっき厚、パターン巾および電極材質選定に関して各 R_n が一定となる判定として溶接結果の 90° 引張強さ (後述) により判断する手法をとった。

3. 実験結果および考察

3.1 電極加圧力の選定

3.1.1 電極加圧力と合成抵抗の関係

Fig. 2 に電極加圧力と電極間合成抵抗 (Total Resistance) R の関係を示す。なお、以上の実験においては特にことわらぬ限り、一点溶接することに電極先端を #800 サンドペーパーで再研磨して接触抵抗値の再現性を高めるよう努めた。この合成抵抗 R には、(1) 式の $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7$ が含まれている。 R の測定は電極間に 1 A の電流を流し電圧降下法により測定した。電極加圧力により合成抵抗が変化するのは R_2, R_5 が接触抵抗で圧力の関数となっているからである。実験結果より 19.6 N (2 kgf) 以下の電極加圧力では、 R がバラツキ再現性の悪い溶接結果の原因となると判断し電極加圧力の最適値は 24.5 N (2.5 kgf) 以上で選定することにした。

3.1.2 電極加圧力と 90° 引張強さの関係

Fig. 3(A) は電極加圧力の時間と加圧力の関係を示した。電極の加圧力が溶接通電加圧力 P_1 になった時溶接を開始し (T 時間通電する) 最大加圧力 P_2 (溶接通電加圧力の 1.1 倍) まで加圧して実験を行った。Fig. 3(B) は溶接通電加圧力と溶接部の 90° 引張強さとの関係を示す。結果は溶接通電加圧力 19.6 N (2 kgf) 以上で溶接強さが安定している。最適溶接通電加圧力の決定には引張試験を行った線材がパターンより剥離することなく溶接部分が残って破断するかどうかをポイントに選定し 24.5 N (2.5 kgf) とした。次に良好な鍛圧効果を得る為、通電後加わる最大加圧力と 90° 引張強さおよび線上の電極圧痕巾との関係を示す。最大加圧力が 29.4 N (3 kgf) 以上となると強さが低下していることが判る。これは線材上の電極圧痕の電極エッジ部に対応する箇所から破断するためである。以上の理由から最大加圧力条件は、25.5~29.4 N (2.6~3.0 kgf) と判断した。

Fig. 2 Relation between Electrode force and Total Resistance

Fig. 3 (A) Outline of Electrode force

Fig. 3 (B) Relation between Electrode force and Weld Strength

Fig. 4 Relation between Maximum Electrode force and Weld Strength, Electrode Indentation Width

Fig. 5 Relation between Solder Plating thickness and Weld Strength

3.2 印刷回路板のはんだめっき厚と引張強さの関係

Fig. 5 は、はんだめっき厚と90°引張強さの関係を示す。この結果では、はんだめっき厚が5~35 μm の範囲では強さの差はほとんど認められない。溶接強さは通電加熱によるはんだのリフローによって得るのではなく主に線材とCuめっき層との接合でCu-Ag-Snの合金相によりものと判断している。しかし実際の作業条件としては、はんだめっき厚がうすいと溶接結果の外観判定が困難となり、厚すぎると電極間にはんだが付着してくるのでめっき厚は15~25 μm が適当と判断した。

3.3 印刷回路板パターン巾の選定

Fig. 6 にパターン巾と90°引張強さの関係を示す。溶接条件のうち溶接電圧は各々のパターン巾について最適な値を選んで実験を行った。実験結果によればパターン

巾0.7mm以上で強さが安定している。この原因はパターン巾0.7mmまではガラスエポキシ基材とCu箔の接着強度がパターン巾の長さに応じて出ており0.7mm以上のパターン巾では、接合部の強さのみの影響を受けていると判断している。すなわち、パターン巾0.7mmまでは基板とCu箔間で破断しており0.7mm以上では細線で破断していることと一致する。次にFig. 7はパターン巾0.7mmの最適溶接電圧でパターン巾のみを変化した時の90°引張強さの関係を示す。この結果よりパターン巾 $\pm 0.2\text{mm}$ の変動に対しマイナス側で溶接エネルギー過大となりプラス側では溶接エネルギー不足で溶接強さのばらつきが大きく平均値も下っており作業不可と判明した。従ってパターン巾の許容されるパ

Fig. 6 Relation between Pattern Width and Weld Strength

Fig. 7 Relation between Pattern Width tolerance and Weld Strength

ラツキは中央値 0.8 mm に対して ± 0.1 mm であると判断した。

3.4 電極材質の選定

以上の実験の過程で連続溶接をするとある点数目より溶接強さが低下したり溶接強さのパラツキが著しく大きくなったりする現象が見られた。この原因は連続溶接をすることにより電極が酸化したりパターンとプリント基材間の接着剤等による電極の汚れが発生するためと考えられる。この対策として、決った溶接点数毎に電極を研

Table 3 Electrode used in the experiment

material	MO	Cu-W (Cu 20%)	Cu-W (Cu 30%)	Cu-W (Cu 40%)
hardness Hv (200)	258	298	253	235
Electrical Conductivity (IACSZ)	30	38	48	58

Table 4 Relation between Electrode Material and Welding Number

NO.	Material (Component)	Tolerance Continu- ous Welding Number	Weld Strength (gf) [N]			
			MAX	MIN	$\bar{X}$ AVR	MAX - MIN
1	Mo (Mo 99.95%)	25 points	572 [5.61]	300 [2.94]	452 [4.43]	272 [2.67]
2	Cu-W (Cu 20%) (W 80%)	111	620 [6.08]	320 [3.14]	467 [4.58]	300 [2.94]
3	Cu-W (Cu 30%) (W 70%)	188	615 [6.03]	300 [2.94]	488 [4.78]	315 [3.09]
4	Cu-W (Cu 40%) (W 60%)	115	650 [6.37]	300 [2.94]	503 [4.93]	350 [3.43]
5	Cu-W (Au plating) (Cu 30%) (W 70%)	200 over	645 [6.32]	460 [4.51]	556 [5.45]	185 [1.81]

磨する必要がある。電極研磨は能率を低下させ電極の消耗を激しくする原因となる。この為連続溶接点数を多くすることは溶接において重要な要因となる。導電性のよい Cu に対する電極材質は一般に Mo, W 等が用いられるが W に Cu を加え W の酸化による抵抗値増加を防止し更に高温硬さと耐スティッキング性（被溶接物と電極が合金をつくらないこと）を W に持たせることをねらい Cu-W を含む次の材質で実験を行った。Cu-W (Cu 20%), Cu-W (Cu 30%), Cu-W (Cu 40%), Mo の 4 種を検討した。電極の特性値を Table 3 に示す。連続溶接条件判定基準としては 90° 引張強さが 2.94 N {300 kgf} 以上として実験を行った。Table 4 に結果を示す。Mo と他の電極との間には連続溶接点数が 25 点以下では強度、溶接部組織、外観などに差がなく結果として違いの 1 つは電極寿命にあった。Mo に比べ Cu-W 電極は 7 倍以上連続溶接点数が多いことが判明した。更に Cu-W (Cu 30%) 電極ホルダー部表面へ Au めっきを行った場合は、溶接強度の MIN 値を向上させパラツキ (MAX-MIN 値) を小さくさせる効果が判明した。電極表面への Au めっき効果は電極保管時の Cu 酸化防止や、電極給電部の接触抵抗値 (1 式 R_0) の一定化にあ

と考えている。したがって電極材質としては Cu-W (Cu 30%) 電極ホルダー部表面 Au めっき有を良と判断した。

4. 結 論

φ 0.18 mm 無酸素銅銀 めっき線とはんだめっき印刷回路板パターンとのパラレルギャップ抵抗溶接条件としては、①溶接通電加圧力 24.5 N {2.5 kgf}, ②最大加圧力 27.4 N {2.8 kgf}, ③はんだめっき厚 15~35 μm, ④パターン巾 0.8±0.1 mm, ⑤電極材質 Cu-W (Cu 30%)

電極ホルダー部 Au めっき有の各条件において良好な接続が得られると判断した。

参 考 文 献

- 1) 渡辺, 志田, 森成, 皆川, 佐々木, 和井: 細線と印刷回路板との抵抗溶接, 本誌 44 (1975) No. 3, P. 65~P. 73
- 2) 町田: 接合現象とその品質のリアルタイム制御について=電子部品実装のパラレルギャップ溶接, 溶接学会マイクロ接合研究委員会(1986-2)