浸漬はんだ付におけるぬれ不良部の発生について*

—電子部品はんだ付部の信頼性に関する研究(第1報)—

岡本郁男**, 大森 明**, 深田康人***

Occurrence of Non-wetted Area in Dip Soldering*

—Reliability of Soldered Joints in Printed Wiring Board (Report-1)—

by Ikuo Okamoto**, Akira Ohmori** and Yasuto Fukada***

The local non-wetted Area occurred on the surface of copper specimen dipped in molten eutectic solder bath was measured as functions of the surface contamination of specimen, the immersion time, depth, rate etc. of specimen and the activity of used flux, by using a commercial type meniscograph tester and a profile projector.

The results obtained were as follows;

1) The oxide film on specimen greatly influenced the occurrence of non-wetted parts. Before dipping, when the specimen was heated at 150°C within 10 min in air, the ratio of non-wetted area to the soldered area of specimen was below a few percent.

2) The ratio of non-wetted area was depended on the immersion depth of specimen. When the depth equals a equilibrium height of negative meniscus by non-wetting liquid, or is below, the ratio was fairly small. This case was named as I type wetting process. However, when the depth is over the equilibrium height, the ratio increased with increasing of the depth, because the flux painted on specimen was removed by the hydrostatic pressure of molten solder. This case was named as II type wetting process.

3) The equilibrium height of negative meniscus was 3.6 mm for copper plate of infinite width and eutectic solder at 230°C. From this value, the radius of curvature at the height was calculated as 1.8 mm. Moreover, the equilibrium height of negative meniscus for a lead wire of 0.8 mm dia. was measured as 1.6 mm. In this case, the radii of curvature on two liquid surfaces which intersect perpendicularly at the height of negative meniscus were calculated as 1.8 mm and 3.2 mm respectively.

4) For a lead wire of 0.8 mm dia., the immersion depth of 2–2.5 mm standardized by JIS C 5033 belongs to II type wetting process in our experiment.

1. 緒 言

印刷配線板のリード線端子付には、はんだ付部の品質の均一化、作業能率の向上および低コスト化の面から自動浸漬はんだ付法が用いられているが、この方法は部品を搭載した配線板をフラックス浴、つづいてはんだ浴を一度だけ通過させて接合を行なう場合もあるので、多数のはんだ付部の中にははんだ付不良部が発生し、その防止対策の適否は電子部品の信頼性を左右するといわれている。はんだ付不良部としては (i) ぬれ (接合) 不良, (ii) ピンホール, (iii) ブリッジ, (iv) つららなどがあり、殊に (i) が大半を占めるといわれ、その対策として部品リード線表面の汚染状態を受入れ時に検査すれば歩留り

向上がえられるといわれている¹⁾。

そこで本研究では、市販品のメニスコグラフ計を用い、浸漬試片表面の酸化状態を変化させぬれ不良発生原因を追究した。その結果浸漬はんだ付ではんだの静水圧が試片に作用するので、試片浸漬深さもぬれ不良発生原因の一つになることが分かったので報告する。

2. 供試材および実験方法

2.1 供試材

浸漬試片としてリード線を使用すべきであるが、ぬれ不良部発生量の測定を容易にするためタフピッチ銅 (99.9%) 板を用い、形状は長さ50, 幅5, 厚さ 0.5 mm とした。試片表面状態を一定にするため以下の順に受入れ試片の表面処理を施した。(i) アセトンによる脱脂, (ii) 0.5%硝酸水溶液中へ3秒間浸漬後、水洗しさらにアセトンで洗浄, (iii) 乾燥後150℃*の空气中で所定時間酸

*原稿受付 昭和55年2月6日(昭和54年度春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, Osaka Univ.

***学 生 員 大阪大学工学部 Graduate Member, Osaka Univ.

*この値については文献 1) p. 419 の表 3.3 を参照のこと。

Table 1 Compositions of fluxes used

Flux type	Constituent (wt%)				
	GLY ¹⁾	TEG ²⁾	Rosin ³⁾	IPA ⁴⁾	AHC ⁵⁾
A flux	65.0	35.0	-	-	-
D flux	-	-	34.9	64.8	0.3

- 1) Glycerin ($\text{CH}_2(\text{OH})\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2(\text{OH})$)
 2) Triethylene Glycol ($\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$)
 3) Grade WW
 4) Isopropyle Alcohol ($(\text{CH}_3)_2\text{CHOH}$)
 5) Aniline Hydrochloride ($\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2 \cdot \text{HCl}$)

化した。供試はんだは61.9% Sn-Pb 共晶合金を用い、直径、深さともに 8 cm のステンレス鋼製槽内に 3 kg 充填し所定温度に加熱した。フラックスは Table 1 に示す試作A型 (非活性)、D型 (活性) の二種類であり、上記試片の下端より後述の浸漬深さ + 3 mm までフラックス液中 (室温) に 4 秒間浸漬し塗布した。

2.2 実験方法

フラックス塗布した試片の長手方向をはんだ浴面に垂直に吊し、所定速度で静止鏡面状はんだ浴中へ所定深さまで浸漬し、所定時間保持後所定速度で引き上げた。浸漬各条件は次節で記す。なお、浸漬部分に生じたぬれ不良部は、倍率10倍の拡大鏡を用い面積を測定した。

3. 実験結果および考察

3.1 ぬれ不良率について

本研究では、Fig. 1 に示すごとく浸漬部、特に下方においてははんだが付着せず銅の地肌が見える部分を、ぬれ

Fig. 1 Typical non-wetted Area appeared on surface of specimen

不良部とした。また、不良率は (ぬれ不良面積/はんだ付着面積 + ぬれ不良面積) $\times 100$ (%) として求めた。

3.2 浸漬時間について

150℃, 5分間加熱処理した試片を用い浸漬深さ 4 mm, 速度 8 mm/sec, 浴温230℃中へ浸漬した場合、ぬれ不良率と浸漬時間の関係をフラックス別に Fig. 2 に示す。はんだが見分けの平衡上昇高さに達する (以後平衡ぬれと記す) 時間は、A型では浸漬開始後約12秒、D型で約5秒後であった。これらの時間以上保持しても不良率はほとんど変化しないので、以後の実験はすべて30秒間保持とした。Fig. 1 はA型の30秒保持試片の外観を示す。ぬれ不良部は試片の下方に集中している。

Fig. 2 Effect of immersion time on non-wetted area ratio

3.3 浸漬深さについて

試片表面状態および浸漬条件 (時間は30秒) を前項と同様にして、ぬれ不良率とはんだ浴面下の浸漬深さの関係を求めフラックス別に Fig. 3 に示す。A型では 2~4 mm 範囲の深さで急激に不良率が増加し、4 mm 以上でははんだ浴面下約 2.5 mm 以上の深い部分でぬれ不良が集中して多く認められた。いっぽうD型の場合およびA型でも酸化処理しない試片 (2.1 項で述べた (ii) 処理まで) では不良率が小さく、また、浸漬深さに依存しないという結果が得られた。

3.4 浸漬および引上速度について

試片表面状態および浸漬条件を前項と同様にして (深さは 4 mm), 浸漬速度の場合は引上速度を 8 mm/sec, 引上速度の場合は浸漬速度を 8 mm/sec 一定として、両速度のぬれ不良率への影響を調べた。A型フラックスを用い浸漬速度の場合の結果を一例として Fig. 4 に示す

Fig. 3 Effect of immersion depth on non-wetted area ratio

Fig. 4 Effect of immersion rate on non-wetted area ratio

が、本実験範囲内では浸漬および引上速度の影響は認められなかった。これは静止はんだ浴を用いており、か

つ、Fig. 2 から明らかなように浸漬初期に生じたぬれ不良部は30秒間の浸漬中に補修されるから当然の結果といえる。なお、引上速度依存性については他の報告がみられる²⁾。

3.5 浸漬はんだ付におけるぬれ過程について

Fig. 1 に示したごとくぬれ不良部は試片の下方に集中し、また Fig. 3 のごとく浸漬深さ 2~4 mm 範囲で不良率が急増したので、その原因を以下で追究する。

3.5.1 はんだの静水圧の影響

Fig. 5 に示すごとく 150°C、5 分間酸化処理した試片にフラックスを塗布せず、直接はんだ浴中へ所定深さまで浸漬し(同図 (a) および (b)) 3 秒間保持後、0.3 ml の A 型フラックスを (c) 図のごとく注ぎ、平衡ぬれに達した後 (d) 図引上げはんだの付着状態を観察した。その結果を浸漬深さ別に板幅方向からみて Fig. 6 に示す。浸漬深さが 4 mm および 12 mm では、はんだ浴面下 2.5 mm のところに境界が認められ、それ以下の部分にははんだが付着せず銅の地肌が観察される。この部分は静水圧が直接板面へ作用するので、フラックスは浸入できなかったと考えられる。しかしフラックスが溜る部分 (Fig. 5(c) 参照)、つまり静水圧と負メニスカス液面の表

Fig. 5 Non-wetted state of no-fluxed specimen (b) and good wetted state (d) due to adding A type flux (c)

Fig. 6 Wetted part depending on immersion depth after experimental procedure shown in Fig. 5

面張力による下向き力が釣合う部分では、例えば Fig. 6 の 0 mm* および 2 mm 深さ、また、上述の 2.5 mm 深さ以内でははんだが全面に付着し、その部分の不良率は 0.2% 前後であった。

3.5.2 ぬれ過程の分類

上述のごとく浸漬深さ 2.5 mm を境にして板面に対する静水圧作用が異なるので、Fig. 7 のごとく 2.5 mm 以内を I 型ぬれ過程、以上を II 型ぬれ過程と分類する。II 型ぬれ過程では、図中 AB 部分のフラックスは試片浸入過程ではんだの静水圧によって、かなりの量が上方へ押し上げられると考えられる。これが原因で既述のごとく試片下方にぬれ不良が集中し、また、浸漬深さ 2~4 mm 範囲で不良率が急激に増加したと説明できる。なお、上方へ押し上げられても残存フラックスの活性が強い D 型では、はんだの静水圧作用下でも十分酸化膜除去作用のあることが、Fig. 2 の結果からみて明らかである*。

Fig. 7 Classification of wetting process

3.5.3 非ぬれ現象によるはんだ面の下降深さ

Fig. 6 では試片寸法効果の最も少ない下降深さは 2.5 mm であったが、更に板幅方向の曲率半径効果を少なくするため幅 30、厚さ 0.5、長さ 50 mm の試片を用い同様な実験を行なったところ、はんだ浴面下 3.6 mm ではんだ付着部分と付着しない部分の境界が生じた。

いま、下降深さ h (Fig. 7) は上昇高さを示す式³⁾を変形して

$$h = 2\sqrt{\frac{\sigma_i}{\rho g}} \sin\left(\frac{\alpha}{2} - 45^\circ\right) \quad \dots\dots\dots (1)$$

*厳密には負メネスカスは生じない。従ってフラックスの溜りにはんだの静水圧は無関係であるが、試片先端とはんだ浴面の接触操作誤差を含んだ記述である。

*Fig. 2 の D 型フラックスの最小浸漬時間は 2 sec である。試片が 4 mm 深さに浸入する時間は 0.5 sec である。従って浸漬過程でかなり酸化膜が除去されるともみられる。

ここで σ_i はフラックスとはんだ間の界面張力、 ρ ははんだおよびフラックスの密度差、 g は重力定数、 α ははんだを含む面内での板面となす接触角である。Fig. 6 の実験条件から $\alpha = 180^\circ$ 、 $h = 0.36$ cm、 $\rho = 7.2$ g/cm³* とおくと $\sigma_i = 457$ dyne/cm となり、 h 深さでの曲率半径は 1.8 mm となる。そこで Fig. 5 に示した実験手順で直径 0.8 mm の CP 線および直径 2.6 mm の銅線を用い、 h を測定したところ前者は 1.6 mm、後者は 3.0 mm であった。これらの実測値および前述の曲率半径 1.8 mm を用い、 h 深さでの共軛面の曲率半径を算出するとそれぞれ 3.2 mm、および 10.8 mm となる。なお、現行の印刷配線板のリード線浸漬深さは 2~2.5 mm⁴⁾ と規定されている。従ってこの規定深さは 0.8 mm 径リード線については II 型ぬれ過程に属し、大気中 150℃、10 分以上加熱試片（後述）および活性の弱いフラックス下ではリード線下部にぬれ不良発生の恐れがある。

3.6 II 型ぬれ過程におけるぬれ不良率の低減化

(1) 式から明らかなように温度を下げれば h が増加し I 型ぬれ過程へ移ると予測できるので、A 型フラックス、150℃、5 分間加熱処理試片、浸漬深さ 4 mm、30 秒間浸漬でぬれ不良率とはんだ浴温度の関係を求めた。Fig. 8 のごとく 260℃ 付近で最小となり、その温度以上では増加が認められた。しかし低温度側では逆の傾向がえられたので、この領域では h は増加するが、試片表面酸化膜除去反応速度が低下し、それが支配的であると

Fig. 8 Effect of solder bath temperature on non-wetted area ratio

*共晶はんだの $\rho = 8.4$ 、A 型フラックスの $\rho = 1.2$ とした。

Fig. 9 Effect of activator added in A type flux on non-wetted area ratio

Fig. 10 Poor wetted state, showing equilibrium wetting height withdrawn from solder bath level

解釈した。

そこで除去反応速度を高めるためA型フラックスへ塩酸アニリンを添加し、温度一定で、つまり h がほぼ一定の条件でぬれ不良率との関係求めた。Fig. 9 のごとく非酸化処理試片では濃度依存性がなく、酸化処理試片では濃度増加とともに直線的(図は両対数)に減少し、約5 wt%で三種類の試片とも同程度のぬれ不良率となる。図中の*印は、Fig. 10 のごとく平衡ぬれ高さがはんだ浴面に達しなかった場合を示す。この原因として Fig. 9 に示した 0~0.05 wt%での直線の傾きからみて、はんだの静水圧によって押し上げられたフラックス中には、酸化膜除去反応生成物をかなり含み、このためフラックス

Fig. 11 Relation between non-wetted area ratio and heating time of specimen in air at 150°C

組成が変わったことが考えられる。したがって酸化処理時間が長いほどその効果がたとえ予測される。

そこで加熱酸化処理時間とぬれ不良率の関係をA型フラックスを用いて求めた。Fig. 11 より処理時間が短いほど不良率が小さく、また、大気中 150°C 、10分間も加熱すればフラックス作用鈍化効果のではじめることがわかる。

4. 結 言

浸漬はんだ付法におけるぬれ不良発生の原因を明らかにするため銅試片に、活性および非活性フラックスを塗布し静止はんだ浴中へ浸漬し、各種浸漬条件および試片表面酸化状態などを因子としてぬれ不良率との関係求めた。また、この結果から浸漬はんだ付におけるぬれ過程を考察した。結果は次のごとくである。

(1) ぬれ不良発生的主因子は試片表面の酸化状態である。例えば大気中 150°C 、10分以内の加熱ならば不良率は数%以内である。

(2) 次に重要な因子は浸漬深さである。試片浸漬初期の非ぬれ現象によるはんだ液面の下降深さ (h) 以内の浸漬深さ (I型ぬれ過程) では、はんだの静水圧作用による塗布フラックス量の減少は生じないが、 h 以上の浸漬深さ (II型ぬれ過程) ではフラックス量の減少によってぬれ不良率が増加する。この現象はフラックスの活性が低いほど顕著であり、5 wt%の塩酸アニリンの添加は不良率の増加を防止する。

(3) 本実験範囲内での無限幅銅板に対する h は 3.6 mm で, この値から算出したその深さでの曲率半径は 1.8 mm である。

また, 直径 0.8 mm リード線の実測 h は 1.6 mm で, この値から算出したその深さでの直交二液面の曲率半径は, それぞれ 1.8 mm, 3.2 mm である。

(4) 直径 0.8 mm リード線の h は 1.6 mm であったので, JIS C 5033 に規定された 2~2.5 mm 深さはⅡ型ぬれ過程に属する。

本研究は昭和54年度文部省科学研究費の補助を得た。記して謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 山本, 近藤, 足立, 菅井, 大野: 三菱電機技報, 47 (1973) 4, 415~423
- 2) 安田: 溶接学会全国大会講演概要, 第14集, 278~279
- 3) 野邑雄吉: 応用数学, 内田老鶴圃 (1957) 25-28
- 4) JIS C 5033: はんだ付性試験方法 (1974)

溶接ボンド部の靱性評価に関するフラクトグラフィ的研究*

佐藤邦彦**, 豊田政男**, 武藤睦治***, 土居 茂****

Fractographic Study of Fracture Toughness Evaluation of Welded Joint*

by Kunihiro Satoh**, Masao Toyoda**, Yoshiharu Mutoh*** and Shigeru Doi****

Fracture toughness tests of cross-bond notch type specimens with controlled fractions of weld metal in crack front have been carried out. The processes of fracture are observed in detail by using fractographic technique.

The processes of fracture of cross-bond type specimens are as follows. Cleavage fracture firstly initiates in the weld metal region, even though its region is small and away from the center of thickness. Then it propagates in the heat affected zone and the base metal region. It seems that, in the case of cross-bond type specimens, stretched zone width can be a proper parameter of fracture toughness, which depends not on stress-strain conditions but on materials. It is necessary to take note of stretched zone width in the lower toughness region, in estimating the macroscopic and average value of fracture toughness of a cross-bond type specimen. It is satisfactory to consider that the critical COD values of cross-bond type specimens used here, even though the weld metal region is away from the center of thickness, are roughly equal to those of specimens of which crack front are completely in weld metal.

1. 緒 言

溶接ボンド部は材質が不均一であるため, その靱性評価に際しては, 均質材に広く適用されている K_{IC} , J_{IC} あるいは限界 COD 等の破壊靱性パラメータを, そのまま形式的に適用することには問題がある。これまでに溶接ボンド部の靱性評価に関する研究が広く行なわれており¹⁻⁴⁾, 例えば, 溶け込み形状が V 型の溶接部にクロ

スボンドの切欠きを導入した場合, すなわち, 切欠き前縁で板厚方向に材質が不均一な場合, 溶接入熱が大きいときには試験片全体としての靱性は, 最も靱性が低く, しかも三軸応力度の大きい板厚中央部に存在するボンドの靱性によって支配される³⁾ などがある。また, 低靱性部が切欠き前縁に 4 mm 程度より大きい幅にわたって存在すると, 靱性試験の破壊は低靱性部で支配されるとの報告もなされている²⁾。しかし, 低靱性部が切欠き前縁に占める割合および位置, ならびに靱性の不均一の程度, さらにそれに軟質継手のように強度的な不均一が加わったことによる影響など, 全体的には不明な点が多い。

本研究は, このような板厚方向に材質の異なる場合の靱性評価に関する知見を得る目的で, 80 キロ級高張力鋼

*原稿受付 昭和55年2月25日 (第57回 WD 分科会にて発表)

**正 員 大阪大学工学部 Member, Faculty of Engineering, Osaka University

***正 員 長岡技術科学大学 Member, Technological University of Nagasaki

****正 員 大阪大学大学院 Student Member, (現在近畿車両(株)) Graduate School of Osaka University (Present Address: The Kinki Sharyo Co., Ltd.)