水溶性プレフラックスのプレスフィット接合への適用

中西 正人^a, 平尾 浩彦^a, 尾形 治紀^a

^a 四国化成工業(株) (〒769-0202 香川県綾歌郡宇多津町浜二番町14-1)

Application of Organic Solderability Preservative for Press-fit technology

Masato NAKANISHI^a, Hirohiko HIRAO^a and Haruki OGATA^a

^a Shikoku Chemicals Corporation (14-1, Hamanibanchō, Utazu-cho, Ayauta-gun, Kagawa 769-0202)

Keywords : Press-fit, OSP, Organic Solderability Preservative, F3, Automotive

1. はじめに

1990年代以降、プリント配線板を取り巻く環境は実装されるデバイスおよびプリント配線板の高機能化のみにとどまらず、世界的な環境規制の動きにより、大きな変動期を迎えた。とりわけ欧州で施行されたRoHS指令に端を発する鉛フリー化の世界的な取り組みは記憶に新しい。鉛フリー化に伴い、プリント配線板を構成する材料は、より優れた耐熱性を要求されることとなり、各材料メーカーは耐熱性向上を開発の焦点の一つとして取り組んできた。プリント配線板の最終表面処理も例外ではなく、当社でも鉛フリー実装に対応すべく、それまで主流であった製品から耐熱性を向上させた鉛フリー対応水溶性プレフラックスを市場投入し、特性面、環境面、価格面から市場で多くの賛同を得られ、現在では業界標準として広く使用されている¹⁾。

部品実装面からの鉛フリー化への取り組みの一環として、はんだレスの簡略化された実装で接続し、組み立てや解体の容易なプレスフィット接合が注目を集めている。従来のはんだ接合とプレスフィットによる接合方法の違いを図1に示す。従来法はコネクタピンをはんだで固定するのに対し(フローはんだ付け)、プレスフィット接合はスルーホール径より大きな幅のピンを直接圧入し、ピンの弾性変形による圧力で接触を維持する方法である。プレスフィット接合は、フローはんだ付け工程を省くことが可能となること、前工程で表面実装された部品へ余分な熱履歴がかからないこと、コネクタピンの取り外しが容易なことなどがメリットとして挙げられる。

図1 従来接合方法とプレスフィット接合方法

自動車業界においては、ELV (End of Life Vehicles) 指令に基づき、プリント配線板の最終表面処理を従来のHAL (Hot Air Leveler) やスズめっきなどから水溶性プレフラックスに切り替える動きが加速している。欧州では車載用途でプレスフィット接合が実用化されているが、表面処理はスズめっきが主流であり、水溶性プレフラックスの適用例は未だ少ない。本稿では水溶性プレフラックスのプレスフィット接合への適用について、既に実用化されているスズめっきと比較しながら解説する。

2. 水溶性プレフラックス

水溶性プレフラックス (Organic Solderability Preservative (OSP)) とは、イミダゾール化合物を主成分とした水溶液であり、約40年前にイミダゾール化合物の製造および販売メーカーである当社が世界に先駆けて実用化している(以降、OSPという)。OSPはイミダゾール化合物が銅と選択的に化学反応する特性を応用した技術である。イミダゾール化合物は銅と反応することで、銅-イミダゾール錯体を形成し、この錯体が銅表面に沈着する。この反応を繰り返すことで0.1~0.3 μm程度の皮膜を形成し、この有機皮膜が酸素の透過を防ぎ、銅表面を酸化から守る働きを担う。推定膜構造を図2、断面写真を図3に示す^{2),3)}。

イミダゾール化合物は窒素を含む五員環構造を基本骨格に持ち、その種類は側鎖に付与される置換基の違いにより、極めて多種にのぼる。この構造の違いがOSP膜の立体構造を

図2 水溶性プレフラックス膜の推定構造

決め、銅表面を酸化から保護する能力を決定する。当社ではこのイミダゾール化合物を化学構造の観点から設計し、耐熱性を始めとする種々の要求特性を更に向上させる次世代OSPの開発を行っている。

3. 評価方法

本稿で紹介するプレスフィットの特性は、表1に示す各種表面処理を施した試験基板に対し、コネクタピン圧入前のリフロー処理を実施し、ピンの挿入力及び保持力、接触抵抗を測定することにより評価した。評価には図4に示すS型のコネクタピンを使用し、試験基板は図5に示すスルーホール型基板を用い、リフローは窒素下、ピーク温度250℃のプロファイルを使用した。

挿入力及び保持力はIEC Standard 60352-5 (図6)、接触抵抗はIEC Standard 60512, test 2aに準拠した方法で測定を行った(図7)。

4. 結果と考察

4. 1 挿入力

挿入力はコネクタピンの圧入時に発生する最大荷重を示し

図3 水溶性プレフラックス膜の断面写真
(水溶性プレフラックス膜上に白金を蒸着し、その上に樹脂で固め、FIB (Focus Ion Beam)で加工して断面をSEM観察した。)

表1 評価サンプル

No	表面処理の種類	基板表面処理
1	—	なし
2	水溶性プレフラックス (OSP)	従来品
3		次世代品 (F3)
4	金属めっき	スズめっき
5		銀めっき

図4 コネクタピン外観(ファインネクス製, 表面処理: スズめっき)

たものであり、この値が高くなるとコネクタピンにかかる荷重が大きくなることによる折れ曲がり(座屈現象)が生じるため、挿入力の値は低い方が望ましい。図8に各表面処理と挿入力の関係を示す。OSP処理を施したサンプルは、スズや銀などの金属めっきよりも挿入力が低いことが判る。OSP皮膜は、コネクタピンとスルーホール内壁の摩擦抵抗を低減する、いわゆる潤滑剤としての効果を示すものと推測される。いずれの表面処理を施したサンプルも、リフロー加熱を行うことにより挿入力は高くなるが、この場合もOSP処理を施したサンプルの挿入力は低く、特に次世代OSPは良好な結果となっている。

従来品と次世代OSPについて、設定膜厚と挿入力の関係を図9に示す。いずれのOSPも設定膜厚が厚くなるほど挿入力が低下する傾向が見られることから、潤滑剤としての効果はOSP膜厚が厚い程、得られやすいことが判る。また、いずれの設定膜厚においても、次世代OSPは従来品と比較すると、より挿入力が低く良好な結果が得られている。通常、リフロー加熱による熱履歴がかかるとOSP膜厚は減少する

図5 プレスフィット評価試験基板

図6 挿入力及び保持力の測定チャート
(フォースゲージ: FGP-50, 測定用スタンド: FGS-50VB-L, 測定速度: 10 mm/分 (10 カウント/秒), それぞれ最大値を読み取る)

図7 接触抵抗測定法の概略図

ため、図 8 に示すようにリフロー加熱後は膜厚減少により潤滑剤としての効果が得られ難くなり、挿入力が高い値となる。図 10 に示すように、次世代 OSP は従来品と比較すると、リフロー加熱後に膜厚が減少しにくいいため、潤滑剤としての効果が失活しにくく、結果として挿入力がより低い値を維持できると考えらえる。

4. 2 次世代 OSP の皮膜特性

主成分となるイミダゾールの骨格は、従来品の特長を維持し、新たな置換基を導入することにより、銅とイミダゾール間の結合力(キレート力)及び、銅-イミダゾール錯体間の分子間力を向上させるよう設計している。OSP 皮膜中のイミダゾールと銅との相互作用に関する推定模式図を図 11 に示す。この模式図が示すキレート力及び分子間力が従来品よりも向上することにより、より緻密な OSP 皮膜を得ることができる⁴⁾。

図 10 に示した次世代 OSP がリフロー後に膜厚減少しにくい理由は、上述した銅とイミダゾール間の結合力(キレート力)及び、銅-イミダゾール錯体間の分子間力が強いことによるものと考えられる。

4. 3 長期信頼性(保持力と接触抵抗)

コネクタピンを圧入時に発生する荷重を挿入力と呼ぶのに対し、挿入したコネクタピンを基板から引き抜くのに必要な

荷重を保持力と呼ぶ。一般的に挿入力が高い(コネクタピンとスルーホール内壁の銅との摩擦抵抗が高い)と、保持力も高くなる。コネクタピンが抜けにくいことが望ましいため、信頼性の観点より保持力は高い方が望ましい。図 12 に高温長期放置後における保持力の測定結果を示す。金属めっきと比較すると挿入力が低い OSP は、保持力も低くなる傾向にあるが、一般的に下限値に設定されている 30N よりも高い値であることから、問題なく使用可能なレベルであると判断できる。また、コネクタピン圧入後に 120℃で 1,000 時間放

図 10 各 OSP のリフロー 2 回後の膜厚

図 8 挿入力の測定結果

図 9 膜厚と挿入力の関係
条件: リフロー 2 回後

図 11 銅及びイミダゾール間の相互作用

図 12 高温長期放置後における保持力の測定結果
条件: リフロー 2 回 + 120℃ / 0 ~ 1,000 時間

図 13 高温長期放置後における接触抵抗の測定結果
条件：リフロー 2 回 + 120℃ / 0 ~ 1,000 時間

置しても、初期の値からほとんど変動することのない結果が得られている。

プレスフィット接合において、コネクタピンとスルーホール内壁の銅との十分な接触を確保することが重要であり、長期保管試験などにおいて、接触抵抗が増加しないことが重要となる。図 13 に高温長期放置後における接触抵抗の測定結果を示す。挿入力や保持力は基板表面処理の依存性が認められたが、接触抵抗に関しては有意差がなく、120℃で1,000時間放置しても変動はほとんど認められない。OSPは有機皮膜であり、金属めっきと比較すると耐酸化性や耐熱性で劣る面があるため、高温長期保管後の接触抵抗に対して悪影響のあることが懸念されたが、金属めっきと有意差のない値であることから、信頼性が確保できていると言える。

4.4 ソフトエッチングタイプの影響

通常、OSP処理前には銅表面の酸化物を除去するために、ソフトエッチング工程がある。ソフトエッチング剤の種類は多種に渡るが、その特長に応じて基板メーカーが使用するソフトエッチングの種類を選択している。ここでは代表的な3種類のソフトエッチング剤を用いて評価した。測定結果を図 14 に示す。尚、ここまで述べてきた評価に使用したソフトエッチング剤は、いずれも最も一般的に使用されている硫酸/過酸化水素系のものを使用した。

いずれのソフトエッチング剤を使用しても挿入力に有意差はなく、次世代OSPが従来品よりも良好な傾向も同様である。使用するソフトエッチングの種類により銅表面の形状が異なるが、ミクロな視点における相違であるため、コネクタピンとスルーホール内壁の銅との摩擦抵抗には影響しないと推測される。

5. おわりに

プレスフィットの特性評価を通じて、OSPはスズめっきと比較し、挿入力を低下できる優位性のあること、保持力は少し低くなるが閾値の2~2.5倍の値を安定して得ることが可能であること、接触抵抗は有意差がないことを確認し、プ

図 14 ソフトエッチングタイプの影響
条件：リフロー 2 回後

レスフィット接合に求められる要求特性を満たすことができると考えられる。特に、次世代OSPのタフエース F3 は、リフローによる熱履歴を受けても膜厚減少率が低く、挿入力が上がりにくい点で優位性のあることが確認された。次世代OSPのタフエース F3 は、車載用基板に求められる長期保管信頼性、リードタイム延長(実装間隔の延長)、耐ベーキング特性などの要求特性を向上させるために開発したもののだが、プレスフィット接合に対する要求特性に対しても優位な表面処理剤と言える。

前述の通り、世界的な環境保護意識の高まりにより、プレスフィット接合は民生機器に留まらず車載機器に対しても、今後ますます増えてくることが予想される。欧州車載基板の実装は、既にプレスフィット接合を適用しており実績が多い。基板の表面処理はスズめっきが主流であるが、メインサプライヤーのアジアでは環境保全やコスト削減を目的に、表面処理はOSPが主流となってきていることから、プレスフィット接合に対するOSPの適用は重要となる。表面処理に関してはOSPの優位性が確認されたが、実基板への適用に関してはコネクタピンメーカー、基板メーカーや実装メーカーとの相互協力が必要となる事実は念頭に置くべきである。今後、当社でもかねてよりOSPに求められている耐熱性などの要求特性を向上させつつ、プレスフィット接合の要求特性をさらに向上させることのできるOSPの開発に注力し、表面処理技術及びプリント配線板業界全体の発展に貢献していきたい。

(Received May 31, 2017)

文 献

- 1) H. Fukuda ; *J. Surf. Finish. Soc. Jpn.*, **59**, 597 (2008).
- 2) M. Goodgame, F. A. Cotton ; *J. Am. Chem. Soc.*, **84**, 1543 (1962).
- 3) W. J. Eilbeck, F. Holmes, C. E. Taylor, A. E. Underbill ; *J. Chem. Soc. A*, 128 (1968).
- 4) Y. Kurita, K. Yokoe, H. Hirao ; *J. Surf. Finish. Soc. Jpn.*, **62**, 429 (2011).