レーザ式はんだ付け外観検査装置

村岡 建樹*

Applications of Laser Systems in Post-Solder Inspection Equipments

Tateki MURAOKA*

*名古屋電機工業株式会社オプトエレクトロニクス事業部(〒511-01 三重県桑名郡多度町香取字高割 550)

*Opto-Electronics Div., Nagoya Electric Works Co., Ltd. (550 Aza-Takawari, Katori, Tado-cho, Kuwana-gun, Mie 511-01)

1. はじめに

はんだ付けの自動外観検査装置が、国内で実用に供されだして6～7年になる。海外では、アメリカでさえまだICTが主流であり、やっと一部大手企業が本格採用を検討しようかとの段階のようだ。一足先に実用レベルに入った日本では、方式としては三次元方式が主流となり、環境の変化や作業者の意識変化と相まって、ますます普及しそうである。そろそろ検査機も第2世代へと変化し始めた様子を、現場サイドの視点から説明する。

2. 外観検査

2.1 検査理念(アーキテクチャ)

ハード的な分類でなく、検査に対する基本理念からみると、次の2通りに分類される。

2.1.1 モデルイメージ記憶方式

良品あるいは不良品の外形に関するイメージ(外観、光り方等々)を記憶しておき、ワークをそれらと比較しながら良否判定する方法で、ユーザの要求通りに判定しやすいが、あらゆるサンプルを記憶することは不可能なので、代表サンプルで代用し、パターン化し、どの族に属するかで判定せざるを得ない。サンプル選定が性能に大きく関わるので、各方式が特徴を出そうとする。

2.1.2 フィレット形状測定方式

はんだ付けのはんだ外形形状(フィレット)を計測し、その形状から理論値に基づいて接合強度を判断

しようとする。測定値に対する設定値で判定されるのでわかりやすい。実際のはんだを理想形状と比較して判定するので、厳しい判定となりがちであるが、ユーザ側もはんだ付けのプロセス改善が同時に必要となり、結果的にははんだ品質は向上する。

2.2 外形と接合強度

外観検査とは、はんだ付け外観で接合強度を計ろうとするものなので、その両者に関連が必要となる。ここに Young と Duprê により導かれた式(図1)がある¹⁾。同式によれば接触角(ぬれ角)が小さいほど付着仕事が大きくなる。では現場では何度までが許容されているのだろうか。専門家の講演や、一部ユーザの話を総合すると、20～35度程度であった。この接触角による検査(=ぬれ性評価)は、業界では大変重要視され、各方式がフィレット形状の検出にしのぎを削ることになる。したがって自動外観検査機で検査する場合は、この接触角が見えるようにはんだ量を調整すべきで、分量の多すぎるはんだは、接合

図1. 接触角(ぬれ角)

強度が上がるわけでもなく、はんだの無駄となる。

3. 鏡面検査法

3.1 鏡面の画像

はんだ付け後のはんだ表面は鏡面であるので、像面の外観（姿）をカメラで得ることは無理である。なぜなら、カメラが像を結像するのは、乱反射光を物体より受光するからで、鏡面は正反射体だからである。もしはんだフィレット像が、カメラで求まるなら非常に有用であるので、光切断法（3角測量）がいろいろ試みられてきたが、芳しくない。今、図2に、光切断によるチップのフィレットの3次元線図を示す。左側処理後の図は、同一はんだ面に薬液を塗り、乱反射成分を増したもので、右図の中央部縦に正反射により欠落したデータが復元されているのがわかる。はんだ鏡面の三次元線図（右図）も、かなりの部分が求まっているので、採用したい誘惑にかられるが、傾斜が少し急になったフィレット等（図3）肝心なときにデータ欠落を起こすので、注意が必要である。

3.2 レーザの反射光を利用する方法

検査面が鏡面になると、鏡面計測という特殊な光学の世界の話となる²⁾。これら光学面の測定は、レー

図2. 光切断による3次元線図

図3. 光切断によるフィレット断面図

ザの登場で大きな発展を遂げたが³⁾、これから説明する装置も、鏡面検査法の1つで、レーザの直進性とその反射の法則を利用したものである。本装置のレーザの使用法は、レーザ光を検査面上で70μm程度に絞り、ガルバノメータで自在に飛び回れるようにし、その反射光を広角な受光系で検出するという構造である⁴⁾。こうすることで高速な検査が可能となり、チップ1個当たり12msの検査タクトが達成された。図4に装置光路図を示す。

4. 検査部位と項目

外側から見える部位しか検査できないので、ICリードのはんだ付けの場合は、リードの先端部で検査し、ヒール部は検査しない(できない)。ヒール部での検査に対し、X線方式を対象に現場でいろいろと意見のあるところであるが、今までの先端部検査での長い実績と、ヒール部にはんだが付いていても、先端部はんだが不良の場合は、不良と判断すべきとする現場の声より、両方見るなら先端部だけで代用できると考えられる。本装置の検査部位は図5に示

図4. 光路図

- 1. フィレット高さ h_1
- 2. フィレット長さ l_1
- 3. はんだ高さ h_2
- 4. はんだ長さ l_2
- 5. リード接触角 θ_L
- 6. パッド // θ_P

図5. 検査部位と項目

す部位で、検査する項目は図中の6項目である。

5. 検査原理

5.1 検査原理概要

装置は図4に示した構造で、レーザ光は常に鉛直に測定面に当てられるので、受光系がキャッチした部位を知ること、反射面の傾き（角度）がわかることになる。測定面の表面をなぞっていけば、表面形状がわかるわけである。

5.2 レーザ光の掃引

レーザ光は、XY軸用の1対のガルバノメータによって、基板上を16mm角内を1mm/msの速さで、X方向、Y方向、その合成方向と正確にスキャンされる。掃引ストロークは最大16mm、そのピッチは10μmから任意である。はんだ面上の掃引は、図6に示すごとく、フィレット方向へ沿う（シングルスキャン）方式と、交叉する（クロススキャン）の2通りに代表されるが、他に対向反射を避けるためのチップの側面掃引や斜め掃引など自在である。

5.3 受光箱

受光箱は、1辺が10cmほどの升を伏せた形状をしており、その内面は受光セルで覆われている。その断面図を図7に示す。内面受光セルは、図のように

図6. レーザのスキャン方向

図7. 受光箱

1ブロックが4段に分割されているが、さらにソフトウェアで各10分割されるので、計60分割で検出される。天井部分に入射光用の窓があいており、反射光がこの窓を抜けた場合はトップセンサ（図4）で受光される。

6. はんだ形状の数値化

6.1 数値化とその意義

受光箱の内面は6つの領域に分けられ、その各領域は0→6の数字が割り振られている。したがって反射光はそのつど、領域に従って数値化され、それはとりも直さずはんだ面の傾き（微係数）を示すことになる。フィレットに沿ってレーザスキャンし、その反射光をあるピッチでサンプリングし、数値化することで、フィレットの形状が数列記述されたこととなる。このことは大変な効果を示し、列記すると、

- はんだ形状が記述され、定量的議論ができる
 - 製造現場と設計者との間に共通のはんだ付けに対する言語ができる
 - 検査機が何を考えて判定するのかわかる
 - ユーザへのアドバイスがFAXで行える
 - はんだ付けの品質が実感として眼で見える
 - 検査のシミュレーションがパソコン上で行える
- 等々であり、活用法はますます拡がりつつある。

6.2 数列からの形状の復元

フィレット形状の数列は、微分係数数列であるので、積分することで形状は復元されることになる。装置にはその機能があり、復元することで前述の6項目（図5）を求め、判定する。復元図を図8に示す。図中の○印はデプスメータで目視しながら求めたも

ポイント検査 12 (12) OK
5666666654444444444333222200 46666666666

図8. 数列と復元図

図9. はんだ形状と数列

C₁-1 223334444455 NG
C₁-2 555444333222 OK
C₂-1 444333222222 OK
C₂-2 333332100012 OK
C₅-1 233334455555 NG
C₅-2 443322122222 OK

図10. チップの不良実例と数列

の(誤差多い?), 実線は数列より装置が復元したものである。

7. 代表的はんだ形状と数列

図9に代表的なはんだ形状とその数列を示す。良品はんだは凹面形状をなし、減少数列が発生し、リード浮きのはんだは、凸面形状をなすので逆の増加数列が発生するのがわかる。はんだがなければ、6の数列が発生し、ある傾斜の場合は、その傾斜の数列が続くこととなる。このように数列を眺めれば一目瞭然にはんだ形状がわかる。

8. 実例写真と数列

図10にチップの検査例を示す。写真中のC1, C5の手前側電極が浮いており、C2は良品である。このよ

1 00122223334444555531111 NG
2 2223333444444441011122 NG
3 0122223333444444410112 NG
4 01233344555555554333222 OK
5 0555555555433322110012 OK
6 2333334444444444301112 NG
7 01222233344444440001332 NG

図11. SOPの不良実例と数列

うに目視では似た形状に見えるが、数列では増加、減少が歴然である。図11は面白い実例で、SOPの4, 5番ピンが何かの理由で下に曲り、そのために1, 2, 3, 6, 7番ピンがすべて浮いてしまったのである。各ピンの増加、減少数列がみごとに認識される。また図12に、リードピッチ0.3mmのQFPのはんだ数列を示す。フィレットはよく形成されている。レーザのスポット径は約70 μ m ($1/e^2$)であるが、検出限界はリードピッチで0.2mm前後、チップでは0.6 $\times$ 0.3mm程度である。ビームスポット径をより小さくすることは、若干のコスト高を認めれば、30 $\sim$ 40 μ m程度までは困難はない。

9. 品質管理への応用

この装置は、ただはんだ付けの良否のみが出力されるのでなく、フィレットの形成具合を計っている。ユーザの中には品質工学解析法により、印刷条件の最適化まで図られ、有意な値が求まったとの例もある。ここではぬれ性評価を行った例を図13に示す。同一基板上のメーカ差によるQFPのぬれ性の差が歴然である。顕微鏡では見えてこない分布の様子がよくわかる。

パッド	フィレット	リード	判定
6666666666666666666666665443222		434445566555	OK
6666666666666666666666665444433322		334445556665	OK
6666666666666666666666666666433322		334455666666	OK
6666666666666666666666666666533322		334454444444	OK
6666666666666666666666666666433320		234444475666	OK
66666666666666666666666666664432222		234445547456	OK
66666666666666666666666666664432222		334455566666	OK
6666666666666666666666666666433222		334445566666	OK
66666666666666666666666666664432220		334455556666	OK
666666666666666666666666666654433320		334455555566	OK
66666666666666666666666666665433320		334455666666	OK
66666666666666666666666666665433320		334445566665	OK

図12. QFP0.3mmリードピッチの数列

図13. QFPのぬれ性評価

10. 主な仕事

検査機はシステム構成されて使用されるが、検査方式による差はないので、紙面の都合上、省略する。一般的な構成は、本体の他に、認識番号を付けるラベラー、不良個所の指示装置、プログラム用のCAD用I/F装置、アナライザ等である。本装置の主な仕様を表1に、外形写真を図14に示す。

表1. 主な仕様

検査部品個数：最大6144個/枚
検査タクト：概 12ms/チップ
He-Neレーザ：632.8nm
同出力：5 mW
ビーム径：70～80μm (1/e ²)
検査項目：浮き、未はんだ、ブリッジ、ずれ、不ぬれ
検査ヘッド：2ヘッド方式
基板寸法：400×500mm
重量：約800kg

図14. 外形写真

11. 今後の展望

高密度実装に伴い、はんだ付け後の検査が不可能な場合があります、はんだ付け前の検査要求が出始めている。クリームはんだ印刷の検査や、BGA用のバンブ検査、プリコートはんだ、TAB等である。はんだ付け後の検査は、はんだ独特の泥臭さから逃れられないが、はんだ付け前の検査は、意外とすっきりした検査法が確立される可能性を有している。

(1994.2.22－受理)

文 献

- 1) 川勝一郎：“ろう接工学”，朝倉書店，1972年
- 2) 辻内順平他：“高精度鏡面形状測定法”，オプトロニクス社，1988年
- 3) 杵名春宗：“レーザーの科学”，日本放送出版協会，1993年
- 4) 村岡建樹：“Applications of Laser Systems in Post-Solder Inspection Equipments”，IECON'90

用語解説

ICT: In Circuit Tester

インサーキットテストのことで、実装済み基板上の各素子の働きを、プローブと呼ばれるピンで直接コンタクトし、微弱電流を用いて結合している他の素子の影響を受けずに検査する装置。

品質工学解析法: 製品や製造工程、技術等をシステムと見なしてブラックボックス化し、入力に対する出力の最適化を図るときに、ノイズ（外乱）による影響を最小にするようシステムをパラメータ設計する手法。

村岡 建樹（むらおか たてき）
昭和18年生まれ。昭和43年、名古屋大学工学部航空学科卒業。現在、名古屋電機工業株式会社オプトエレクトロニクス事業部において、目視検査を自動化するFA対応部署の取締役事業部長。

第8回学術講演大会講演論文集頒布案内

先般開催されました第8回学術講演大会の講演論文を全て掲載した『第8回学術講演大会講演論文集』を下記要領にて頒布しておりますので、ご希望の方はお申し込み下さい。

『プリント回路学会第8回学術講演大会講演論文集』B5判・本文 176ページ

一部頒価 会員＝4000円、非会員＝6000円（消費税・送料別）

お申し込みは、FAXにて学会事務局まで、送付先住所・氏名・電話番号と希望部数をご記入の上、送信して下さい。FAX番号 03-5562-0943