

技術報告

はんだ付け性試験方法(平衡法)による
極小表面実装部品(0603・0402)の測定報告

営業部 国内営業課 桜沢浩一

はんだ付け性(solderability)は、はんだ付け工程における、電子部品の端子又は電極がはんだ付け時の最低温度ではんだにぬれる特性と定義され、『はんだ』・『フラックス』・『電極の表面状態』等の影響を受けます。これらのはんだ付け性における、はんだにぬれる特性として、ぬれ時間及びぬれ力を測定する試験法が平衡法となります。本報告では、本試験方法を用いて極小表面実装部品のぬれ性を測定した結果と試験に際し注意すべき点を報告いたします。

1.はじめに

現在、私たちの生活に欠かす事の出来ない存在となった電子機器には、数多くの電子部品が用いられており、これらの電子部品はプリント基板等にはんだを用いて接合されております。このはんだ接合は、熱により溶融したはんだが、電子部品の電極部とぬれることにより形成されます。この為、電子部品のぬれ性は、未接合や信頼性に影響を及ぼす要因となります。又、電子機器の軽薄短小化や多機能化により、狭い面積内に多くの電子部品を実装する事が求められる為、電子部品は年々小型化しており、現在では0603サイズ(600 μ m \times 300 μ m)や0402サイズ(400 μ m \times 200 μ m)が市場に出回ると同時に、0201サイズ(200 μ m \times 100 μ m)も試作されております。図1に極小表面実装部品の写真を示します。こういった極小表面実装部品のはんだ付け性(ぬれ性)を測定する事が求められる中、2009年4月にJEITA(社団法人電子情報技術産業協会)により、0603サイズ等の極小表面実装部品を対象としたJEITA ET-7411『極小表面実装部品のはんだ付け性試験方法(平衡法)』が制定されました。

本書では、JEITA ET-7411におけるはんだ付け性試験方法(平衡法)である、はんだ小球平衡法及びその測定手順を解説し、実際に0603・0402サイズの電子部品の測定を行った結果を報告すると同時に、極小表面実装部品のぬれ性測定における注意すべき点を報告いたします。



図1.極小表面実装部品(0603・0402)

2.表面実装部品のはんだ付け性試験方法(平衡法)

表面実装部品を対象とした、はんだ付け性試験方法(平衡法)には、溶融はんだと表面実装部品のぬれ性を測定する、『JIS C 60068-2-69』や『JEITA ET-7401』及び、ソルダペーストと表面実装部品のぬれ性を測定する、『JIS C 0099』や『JEITA ET-

7404』といった、表面実装部品のはんだ付け性試験方法(平衡法)を規定した規格が存在しております。但し、これらの試験規格においては、1005サイズ(1mm \times 500 μ m)未満の電子部品については触れられていませんでした。しかし電子機器の小型化や多機能化に伴う高密度実装において、1005サイズ未満の極小表面実装部品の用途が拡大し、これら極小表面実装部品を対象としたはんだ付け性試験方法(平衡法)の規格が、JEITA(電子情報技術産業協会)より『JEITA ET-7411』として、0603サイズ等の極小表面実装部品を対象としたはんだ付け性試験方法が制定されました。これらの試験規格における試験方法は『JIS C 60068-2-69(IEC 60068-2-69)』及び『JEITA ET-7401』では、はんだ槽平衡法とはんだ小球平衡法が用いられており、ソルダペーストと表面実装部品のぬれ性を測定する、『JIS C 0099』及び『JEITA ET-7404』では、急加熱昇温法と温度プロファイル昇温法が用いられておりますが、0603サイズ等の極小表面実装部品を対象とする『JEITA ET-7411』では、はんだ小球平衡法のみが採用されており、現時点で1005サイズ未満の極小表面実装部品の試験方法としては、はんだ小球平衡法が唯一の試験方法となります。次項より、はんだ小球平衡法及びJEITA ET-7411における試験手順を報告いたします。

2-1.はんだ小球平衡法

はんだ小球平衡法は、図2に示す試験装置の構成例のように、昇降装置を有し電子部品とはんだ小球を接触させ、電子部品に働く上下方向の力を検出し、時間軸変化として記録することのできる試験装置を用いて測定を行う事となります。又、電子部品を接触させる溶融させたはんだ小球は、小球ブロック全体を加熱した

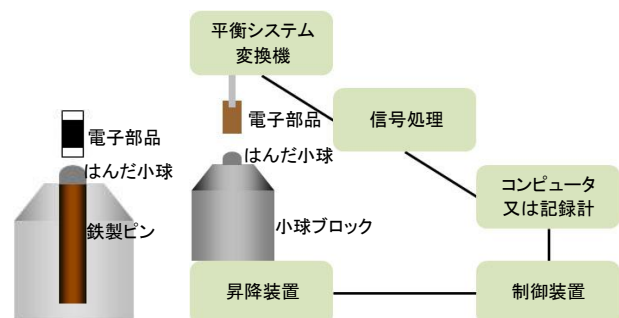


図2.試験装置と小球ブロックの構成

状態で、鉄製ピン上に重量の決められたはんだペレットを供給し、はんだが溶融後に小球形状となったものを使用します。こうした試験装置を用い、はんだ小球内に極小表面実装部品を浸せさせた時、部品に生じる上下方向の力(F)を時間軸変化としてぬれ曲線を取得します。図3に、はんだ小球平衡法による代表的なぬれ曲線と、極小表面実装部品に対しはんだ小球が形成する接触角の形状を示します。はんだと固体試料が接触した測定初期段階では、接触角が鈍角(はじく)の為、Cosθがマイナスとなり、Fもマイナスの値を示しますが、時間経過と共に、はんだがぬれる(接触角が鋭角)ことでCosθがプラスに転じ、Fもプラスの値を示す事となります。

※極小表面実装部品のはんだ小球平衡法では、浸せき量が微小であることから、測定初期段階においてもFがマイナスの値を示さない事があります。

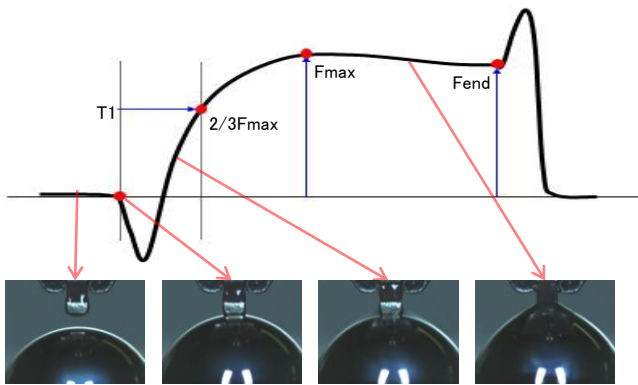


図3.代表的なぬれ曲線

2-2.JEITA ET-7411の試験手順

JEITA ET-7411では、はんだ小球平衡法を図4に示す試験手順で行う事を推奨しております。又、電子部品へのフラックス塗布からの各手順における推奨累積作業時間も明記しており、これは電子部品及びはんだに対しフラックスを供給してからの時間経過が測定結果に影響してしまう為、再現性を確保するために最短時間で各手順を行う事が望ましいとされております。以下にレスカ社製はんだぬれ性試験機(SAT-5200)を用いて試験を行う場合の、各手順における具体的な作業内容とJEITA ET-7411において推奨される作業時間を記載いたします。

- ①電子部品を保持具にチャッキングし非活性フラックスを塗布
専用保持具を使用し、電子部品を保持(図5参照)
- ②電子部品の過剰なフラックスを除去

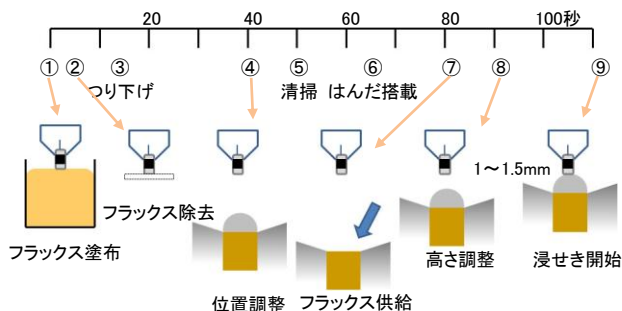


図4.試験フロー

- ③保持具ごと電子部品を試験機に装着(②~③を15sec以内)
マグネットホルダにより装着時間短縮及び位置再現確保
- ④電子部品と測定済み小球との位置関係を調整(25sec以内)
電子部品と小球を近づけてカメラ観察で微調整
ボタン一つで小球と電子部品の間隔を設定間隔に装置が調整
- ⑤小球ブロック上の測定済みはんだ小球を除去
- ⑥新たなはんだペレットを小球ブロック上に供給
- ⑦はんだに活性フラックスを供給(⑤~⑦を40sec以内)
- ⑧電子部品と小球の高さを1~1.5mmに調整(10sec以内)
ボタン一つで小球と電子部品の間隔を設定間隔に装置が調整
- ⑨測定開始からはんだへ電子部品が浸せき



図5.電子部品保持状況

2-3.JEITA ET-7411の試験条件と要求事項

JEITA ET-7411で推奨される試験条件と試験要求事項を下記に示します。

試験条件

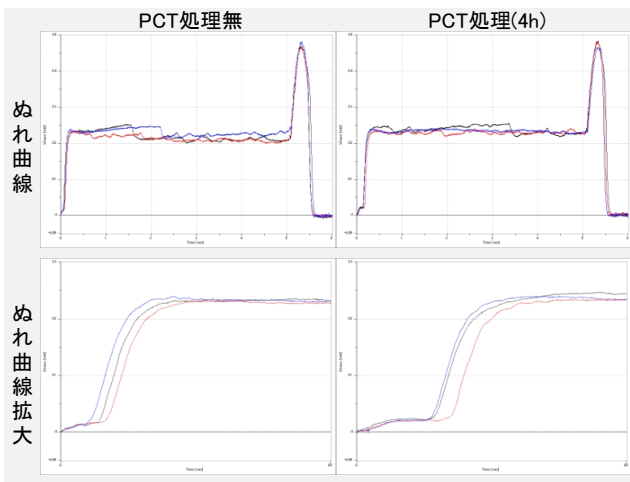
『はんだ』	: Sn96.5Ag3Cu0.5 : Sn99.3Cu0.7
『はんだ質量』	: 25±2.5mg
『はんだ温度』	: 245±3℃(Sn96.5Ag3Cu0.5) : 250±3℃(Sn99.3Cu0.7)
『フラックス』	: 非活性フラックス(ロジン25%)電子部品側 : 活性フラックス(遊離塩素0.2%)はんだ側
『フラックス量』	: 10±1μℓ
『鉄製ピン形状』	: φ2mm
『浸せき速度』	: 0.1±0.01mm/sec
『浸せき深さ』	: 0.02mm
『浸せき時間』	: 5sec

要求事項

『ぬれ上がり時間(T ₁)』	(はんだとの接触からぬれ力がF _{max} 値の2/3になるまでの時間)
『ぬれ安定性(S _b)』	F _{end} /F _{max} の比

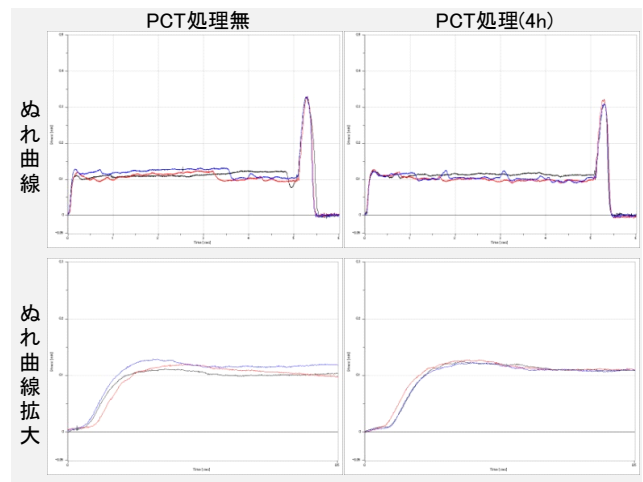
3.極小表面実装部品の測定結果

JIS C 60068-2-69では対象外であった0603・0402サイズの極小表面実装部品において、チップコンデンサとチップ抵抗を対象にJEITA ET-7411の試験手順・条件において測定を行った結果を図6から図9に示します。又、各極小表面実装部品においてJEITA ET-7411で推奨されるエージングB(120℃、相対湿度85%で4時間)を行った後のぬれ性測定結果も合わせて報告いたします。尚、図10は、各n=3回の測定を平均化したぬれ曲線の比較グラフを示します。



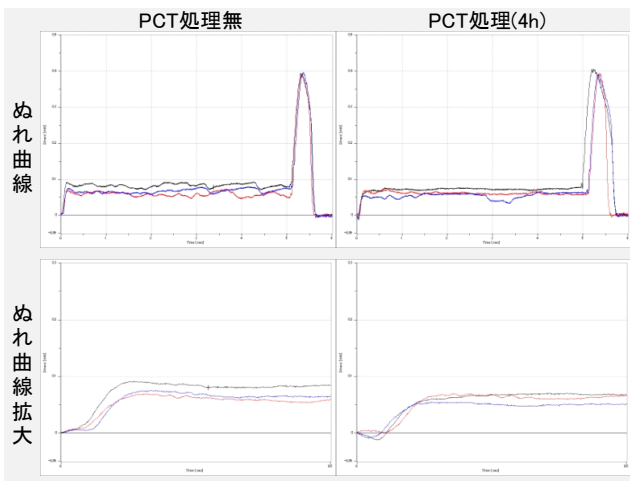
n数	PCT処理無				PCT処理(4h)			
	T1	Fmax	Fend	Sb	T1	Fmax	Fend	Sb
1	0.12	0.25	0.21	83%	0.20	0.26	0.23	89%
2	0.13	0.23	0.21	91%	0.22	0.24	0.23	94%
3	0.10	0.25	0.23	94%	0.18	0.24	0.23	96%
平均	0.12	0.24	0.22	89%	0.20	0.25	0.23	93%

図6.0603Cのぬれ曲線と数値評価結果



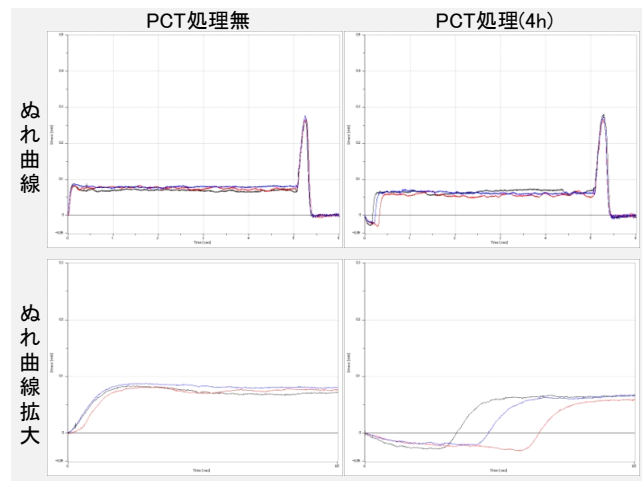
n数	PCT処理無				PCT処理(4h)			
	T1	Fmax	Fend	Sb	T1	Fmax	Fend	Sb
1	0.08	0.12	0.10	76%	0.09	0.12	0.11	90%
2	0.10	0.12	0.10	77%	0.08	0.13	0.10	77%
3	0.08	0.13	0.10	79%	0.09	0.13	0.10	83%
平均	0.09	0.12	0.10	77%	0.09	0.13	0.10	83%

図8.0402Cのぬれ曲線と数値評価結果



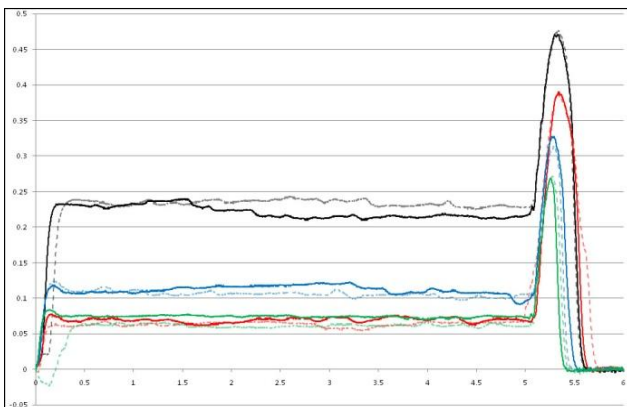
n数	PCT処理無				PCT処理(4h)			
	T1	Fmax	Fend	Sb	T1	Fmax	Fend	Sb
1	0.08	0.09	0.08	86%	0.11	0.08	0.08	99%
2	0.09	0.07	0.05	69%	0.10	0.07	0.06	79%
3	0.10	0.08	0.07	90%	0.09	0.07	0.06	94%
平均	0.09	0.08	0.07	81%	0.10	0.07	0.07	91%

図7.0603Rのぬれ曲線と数値評価結果

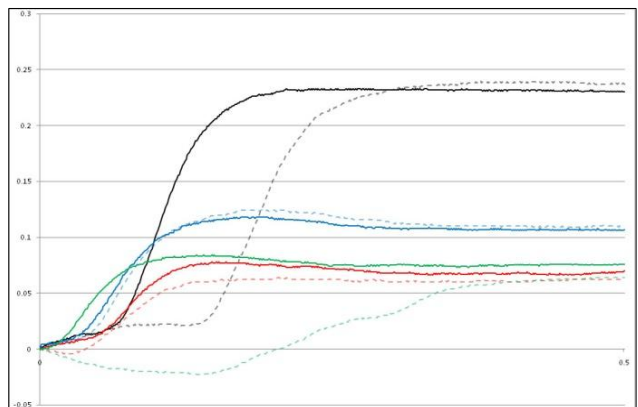


n数	PCT処理無				PCT処理(4h)			
	T1	Fmax	Fend	Sb	T1	Fmax	Fend	Sb
1	0.05	0.08	0.07	79%	0.21	0.07	0.07	93%
2	0.06	0.08	0.07	89%	0.38	0.07	0.05	75%
3	0.05	0.09	0.08	89%	0.28	0.07	0.06	85%
平均	0.05	0.08	0.07	85%	0.29	0.07	0.06	85%

図9.0402Rのぬれ曲線と数値評価結果



(a)ぬれ曲線



(b)ぬれ曲線初期部拡大

図10.0603・0402ぬれ曲線比較(破線はPCT処理4h)

黒系:0603C
赤系:0603R

青系:0402C
緑系:0402R

全ての測定において、PCT処理(4h)が、PCT処理無と比較しぬれ上がり時間(T_1)が遅い結果が得られました。これは、PCT処理により形成した酸化膜がぬれ性を劣化させた事を示しており、極小表面実装部品においても酸化物によるぬれ性への影響を本試験法で測定する事が可能であることが解ります。

最大ぬれ力(F_{max})においては、PCT処理の有無による差は見受けられませんでした。これは、チップ部品の測定においては、はんだがぬれ上がれる電極の高さに制限があり、PCT処理(4h)及びPCT処理無共に電極全面へはんだがぬれ上がっている為、最大ぬれ力には差が現れておりません。電極全面へのはんだぬれ上がりだけでは電極表面の酸化膜の影響を評価する事ができない事が解ります。

0402サイズが0603サイズと比較し、ぬれ上がり時間が早い結果が得られました。これは、電子部品の形状が0402サイズの方が小さく、溶融しているはんだ小球との接触から、部品が温められるまでの時間が0402サイズの方が早いことが要因と推測されます。

0402サイズチップコンデンサ(青色)が、0603サイズチップコンデンサ(黒色)と比較し最大ぬれ力が1/2の結果が得られました。これは、本測定法において得られるぬれ力が、部品の周囲長(接触角が形成される距離)に比例する為、周囲長の大きい0603サイズの方が大きな値を示しております。(部品形状は浮力としてもぬれ力に影響を及ぼしますが、本測定では浸せき深さが浅く計算上約0.0001mN程の浮力となります)下記に、接触角(本測定でははんだがぬれ上がれる電極高さに依存)が同じと想定した場合の0603サイズと0402サイズのぬれ力の比較を示します。

0603サイズの周囲長(0.3×2+0.23×2=)1.06mm

0402サイズの周囲長(0.2×2+0.13×2=)0.66mm

1.06mm:0.66mmより、0603サイズに対し0402サイズは約60%程のぬれ力しか得られない事となります。

尚、チップ抵抗のぬれ力においては、0603Rの電極高さが低かったため、先述の比を求める前提となる接触角(はんだがぬれ上がった高さ)が異なる為、チップコンデンサ同様の形状依存とはなりません。

4.極小表面実装部品測定時の注意点

JEITA ET-7411の解説や実際の極小表面実装部品のぬれ性測定の結果より、極小表面実装部品のはんだ付け性試験(平衡法)方法においては、通常電子部品のぬれ性測定に比べ、以下の点に注意することが重要であると言えます。

- ・ぬれ力が小さいため、ぬれ力検出分解能が重要となる
- ・ぬれ力が小さいため、外部振動や風の影響を受けやすい
- ・ぬれが速いため、時間軸応答性が重要となる
- ・はんだへのフラックス供給から浸せきまでの時間が重要となる

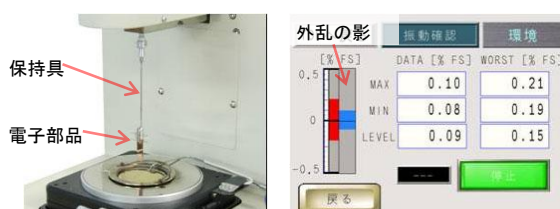


図11.外因による測定結果への影響検証機能

・電極高さに限界がある為、浸せき深さ精度が重要となる
これらの項目における、測定結果への影響とレスカ製はんだぬれ性試験機における実力値を次項より報告いたします。

4-1.ぬれ力検出分解能と外乱要因

先述の『3.極小表面実装部品の測定結果』において報告いたしましたように、ぬれ力のはんだが電子部品に対して接触角を形成する距離(部品の周囲長)に比例いたします。この為、電子部品の形状が小さくなる程ぬれ力は小さくなり、0603サイズのチップコンデンサで0.25mN・0402サイズのチップコンデンサで0.12mNのぬれ力しか得られない事となります。この為、JEITA ET-7411においては、0.02mN以下の分解能が求められております。又、ぬれ力が小さい為、外部振動等の外乱の影響をぬれ力検出部が受けしてしまうとぬれ力が隠れてしまう可能性がある為、外乱による試験機への影響を最小限にとどめることも重要となります。

この為、レスカ製はんだぬれ性試験機(SAT-5200型)においては、ぬれ力検出分解能は0.0004mNを実現しており、外乱要因に対しては、図11に示す設置環境下における外乱を、ぬれ力検出機構がどの程度受けているかを数値化する機能を有しております。但し、外乱を除去する機能ではないため、本機能により外乱による影響とぬれ力を比較し、ぬれ力が外乱の影響をうけるレベルである場合は、設置環境の見直しやアクティブ除振台の用意が必要となります。

4-2.時間軸応答性

極小表面実装部品のぬれ性評価では、一般的にぬれ上がり時間が短いため、ぬれ応力を検出するセンサには高速の応答性が求められます。このため、JEITA ET-7411においては、応力検出センサに対して、最大負荷からゼロへの戻りが0.3sec以内であることが求められております。

この為、レスカ製はんだぬれ性試験機(SAT-5200型)では、ステップ波形状の応力を意図的に検出センサに与え、センサの時間軸応答性を実測にて確認しています。図12に示すようにゼロから最大応力までの立ち上がり時間(立下り時間も同様)が0.14secであり、0.3sec以内というJEITA ET-7411の要求を満たしています。はんだぬれ性試験機の検出センサには、上記のようなダイナミック(動的)な特性が管理されていることが要求されます。SAT-5200型では出荷する全ての試験機において、検出センサの立ち上がり時間が140msec±10msec以内に管理されています。

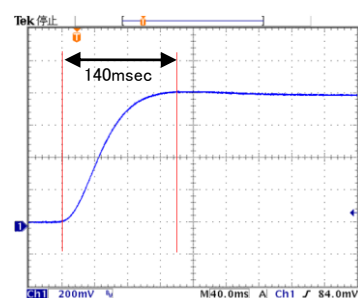


図12.センサ時間軸応答性測定結果

4-3.はんだへのフラックス供給からの測定時間

先述の『2-2.JEITA ET-7411の試験手順』において報告いたしましたように、JEITA ET-7411には試験手順と同時にその推奨作業時間も記載されております。これはフラックス塗布から測定におけるはんだ付けまでの時間を一定化させる狙いがあります。特にはんだ小球を作成する為に、小球ブロックにはんだ搭載後のフラックス供給から浸せきまでの時間によっては、小球表面に酸化膜等が発生する可能性があるため、できるだけ早く浸せきさせることが、測定結果の再現性を高めることとなります。図13にはんだへのフラックス供給後の時間経過に伴うはんだ小球表面状態の写真を示します。供給直後から10secまでは金属光沢面が露出している事が解ります。20sec経過時にははんだ小球表面に酸化膜やフラックス残渣による曇りが発生してきておりますが、この曇りは動きを見せており、はんだ小球表面がまだ動いている事を示しております。これに対し、フラックス供給から30sec後には、曇りがはんだ小球全面に発生しはんだ小球表面での動きは見受けられなくなってしまっております。本来のはんだと電子部品のぬれ性を測定するには、はんだ小球表面が金属光沢を示している状態が好ましく、曇りの発生はぬれを悪くする方向に働いてしまう為、再現性を確保するには、曇りが発生する前に浸せきが行われる必要があります。但し『2-2.JEITA ET-7411の試験手順』において、はんだへのフラックス供給後に、『1~1.5mmへの高さ設定』『0.1mm/secでの測定開始』となるため、最低0.1mm/secで1mm駆動による10秒間は、浸せきを開始しないこととなります。(この時間が電子部品の予備加熱時間となるため絶対に必要な時間)よって、本測定においてより再現性を高める為に、この間の時間を短くするには高さ設定を如何に早く行うか、更に浸せきまでの時間を一定化する為に高さを常に一定化することが重要となります。この為、レスカ製はんだぬれ性試験機(SAT-5200型)においては、基点設定機能を有しており、事前にはんだ小球と電子部品の高さ設定を行い、試験機に記憶させておくことで、その後のはんだや電子部品の交換作業後にボタン一つで高さ設定を完了させることができると同時に、全ての測定において、常に同じ高さ設定で測定を行う事ができる為、予備加熱時間も一定となります。

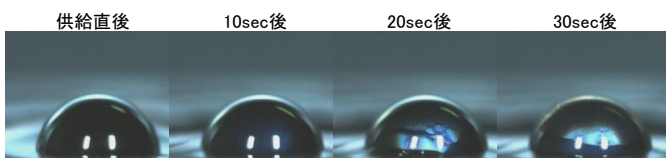


図13.フラックス供給からのはんだ表面状態の変化

4-4.浸せき深さ

先述の『3.極小表面実装部品の測定結果』において報告いたしましたように、極小表面実装部品においては電極高さがはんだがぬれ上がるに十分な距離を確保する事ができず、ぬれ曲線におけるMAX値は、ぬれ上がることでできる電極高さに依存してしまいます。この為、同一電極高さの電子部品であったとしても、浸せき深さが異なると、はんだ小球表面からの電極高さが異なってしまう為、ぬれ曲線における F_{max} 値が依存してしまいます。尚、JEITA ET-7411においても、この点を懸念し浸せき深さ0.02mmの実現を求めると同時に、 F_{max} 値を試験要求事項に含めておりません。但し、ぬれ性の指標となるぬれ上がり時間は F_{max} 値の2/3のぬれ応力が発生するまでの時間計測となりますので、例えば同じぬれ性を示す部品であっても浸せき深さが深くなり、ぬれ上がることでできる電極高さが低くなると、 F_{max} が低くなるため、ぬれ上がり時間が早い数値を示す事となってしまいます。

5.まとめ

電子機器の軽薄短小化及び多機能化に伴う電子部品の小型化に対応した極小表面実装部品のはんだ付け性試験方法(平衡法)を用いて、実際に0603及び0402サイズのぬれ性測定を行うと同時に、測定結果に影響を及ぼす事が想定される要因の検証を行った結果、0402サイズの極小表面実装部品においても従来通りぬれ性の測定が可能である事が解りました。

但し、部品形状が小さくなる中で、測定手順における注意点や試験機に求められる性能もこれまでのぬれ性試験とは異なっており、本書が極小表面実装部品のぬれ性測定の参考となれば幸いです。

参考文献

- 1) 藤間貞行 (2010) 「微小チップ部品(0603、0402サイズ)のはんだぬれ性評価」 『第50回 マイクロ接合研究委員会 ソルダリング分科会』 55-66頁。
- 2) JEITA 『ET-7411』

■