無洗浄ソルダリング対応はんだ付け装置

No-Clean Soldering

大木 一徳*

1. はじめに

ここ数年、はんだ付け後の無洗浄化が進んでいるが、これは、はんだ付け後、洗浄を行うために洗浄液として使用されていた特定フロン（CFC）が世界的な環境汚染、オゾンの破壊につながるため、特定フロン（CFC）の全廃が騒がれたためである。特定フロン（CFC）やトリクロロエタン等のオゾン破壊物質は1992年11月のモントリオール議定書の締約国会議で95年全廃が決められている。このため産業界では代替フロンのHCFCやHFCへの移行に努めている。

はんだ付け後の洗浄の意義は、はんだ付け作業に不可欠なフラックスのはんだ付け後のフラックス残渣を洗浄し、除去することにある。フラックス残渣を洗浄する目的は、フラックス残渣により搭載部品への腐食の問題、電気絶縁不良、搭載部品によるコネクタ等の接点があるものに混入することにより電気接触不良の問題、インサーキットテスト機においてフラックス残渣の影響によるテストピンの誤動作等があげられる。このようにはんだ付け後の洗浄は重要な要因になるが、前記のごとく洗浄に必要な洗浄液の規制がなされてきた現在、いかにはんだ付け後の洗浄工程を削除するかにある。

プリント基板洗浄工程でのフロン（CFC）全廃を実現するためには、フロンを使用しないで洗浄するようなことを検討すると、フラックスは水溶性フラックスを採用すれば水洗浄で行える。従来のロジン系フラックスを使用するのであれば、けん化剤混入水、またはアルコー

ル等の有機溶剤を使用し洗浄する。環境破壊を生じないような真の代替フロンを使用して洗浄する。

しかしながら、代替フロン（HCFC）も2020年には廃止が決められていることから、フロン全面使用中止を打ち出した企業もある。汚水処理問題や安全性確保、設備導入コスト、ランニングコストや設置スペース等を考えていけば、プリント基板洗浄工程を排除する無洗浄化への動向が強大となる。

はんだ付け後のプリント基板をいかに洗浄しないで処理させることができるかが課題になってくる。はんだ付け後の無洗浄化時代に、はんだ付け装置もそれに対応すべき装置でなければならなくなった。

2. 無洗浄化対応への条件

プリント基板の自動はんだ付け技術には大別して2種類の工法がある。フロー式とリフロー式に分けられる。

フロー式はんだ付け工法は、プリント基板に電子部品等を搭載し、実装基板にフラックス塗布を行い、次に溶融したはんだを噴流してはんだ結合を行う方式である。

リフロー式はんだ付け工法は、プリント基板にあらかじめフラックスの混入したクリーム状のはんだを付着させておき、その上に主に表面実装部品（SMD）を装着させた後に、昇温雰囲気炉中を通過させながら加熱溶融してはんだ結合を行う方法である。

無洗浄化対応への条件としてフロー式、リフロー式は、はんだ付け工法に関して異なる点があるが、ほとんど同じ方法で無洗浄化対応を図っている。無洗浄化を実現するためには、はんだ付け後にフラックス残渣が無く、経時的な化学変化を引き起こさないようなフラックスを使用し、なお、かつ従来の品質と比べて同等以上のはんだ

* Kazunori Ooki

日本電熱計器㈱/Nihon Den-Netsu Keiki Co., Ltd.

付け仕上がり期待できるよう考慮しなければならない。

このような条件下の中で無洗浄化への対応のポイントは、フラックス残渣がはんだ付け後、いかに残らないかにある。そのためには、フラックスはフラックス残渣がほとんど無い低固形分特性を持ち、ノーハロゲン系有機酸（活性剤）と非吸湿性固形分（熱分解時揮発性ガス可変タイプ）とを希釈合成した低残渣無洗浄フラックスを使用しなければならない。また、低残渣無洗浄フラックスを使用すれば、従来のフラックスとはフラックス効果の差が大きく変わるため、はんだ付けにおいて濡れ性、表面張力の問題が生じてくるので、大気中での従来のフラックスと同等のはんだ付けを期待することはできない。

フラックス効果の活性化の助成とはんだ付け性をますます良質にするため、大気中ではんだ付けでは無く、不活性ガス雰囲気中ではんだ付けを行わなければならない。不活性ガス封入室内に満たされた保護雰囲気は基板の母材表面上に形成している酸化被膜を還元し、はんだ付け途上における表面の酸化の進行を防止する。低酸素状態の金属表面は急速な濡れが促進される。低酸素状態になるため、はんだ波、搭載部品、基板銅箔部の酸化が抑制され、フラックスによる基板の表面清浄作用の必要性を減少できる。よってフラックスは不必要になるか、または、少量、低成分の使用になるため、フラックス残渣の非常に少ないはんだ付け処理が可能となり、同時に基板の洗浄の必要性を低下させるため、無洗浄化へと進むことができる。

不活性ガスは主に窒素ガスを使用する。窒素ガスの供給方法によって窒素ガスボンベ、液体窒素、PSA 式窒素ガス発生装置等がある。PSA (Pressure Swing Adsorption) 式窒素ガス発生装置は、吸着分離材を充填した塔に加圧した空気を供給し、空気に含まれる酸素、二酸化炭素等を吸着せしめて窒素を製品ガスとして取り出

す装置である。供給方法の推薦に関しては、それぞれ使用方法によって一長一短があるが、主として液体窒素供給がほとんどである。

窒素雰囲気中ではんだ付け性は、はんだの酸化を防止でき、酸化物の発生を低下させるため、はんだ使用量を大幅に削減できるほか、メンテナンス性も相応して向上できる。はんだは錫と鉛の合金であるが、錫だけが酸素と結合して酸化第一錫 (SnO) を生成し酸化物となり、鉛はほとんど酸素と結合せずにはんだ槽の中に残るので、はんだの組成は錫の配合比率が徐々に減っていくことから考えても窒素雰囲気中ではんだ付けは良いことがわかる。低酸素雰囲気中によりはんだの濡れ広がり、Fig.1 のようなはんだの引っ張り強度の向上、ツララ、ブリッジ、はんだボールの減少等がある。

3. 無洗浄化対応フローはんだ付け装置

無洗浄化対応としてのフローはんだ付け装置は、以下の方法を取り入れて行う。

- ①はんだ付け後、プリント基板にフラックス残渣がほとんど残らないような低残渣無洗浄フラックスを使用する。
- ②フラックスの塗布量を均一、かつ最少限度に抑え、基板上にフラックスの滲み上がりが出ないフラックス装置として、スイング式スプレーフラックス装置を採用する。
- ③大気中ではんだ付けを避け、不活性ガス雰囲気中ではんだ付けを行う。

3.1 スイング式スプレーフラックス装置

従来のフラックス装置は、ほとんどが発泡式を採用してきた。発泡式は、フラックス槽の内部に発泡管を取り付け、圧縮空気を送ってフラックス液を泡状にしたものに基板の裏面を浸漬して塗布する方法である。この発泡式の方法では、基板を浸漬するので基板に塗布する塗布量を調整するのが難しい。しかも浸漬のため、基板上面にフラックスの滲み上がりが出てしまう。常時、大気にさらされるのでフラックスの酸化も著しい。最適な発泡状態を維持するためにも空気圧の安定、発泡管の精度も重要になり、気温に応じて溶剤の配合量を調整してフラックスの比重管理も必要になる等の問題がある。無洗浄化を図らなければシンプルでコスト的にも良かったが、無洗浄化を図るについては、低残渣無洗浄フラックスを使用する。このため、一般的に固形分の少ない低残渣無洗浄フラックスは、低粘性であるために発泡粒径がバラツキ安定せず、発泡高さも維持できない。

SMD : SOP
Oxygen Concentration : 80ppm

Fig.1 Atmosphere effect on solderability.

全てを踏まえて考察すると、塗布膜厚等の管理は無洗浄化の重要なポイントとなり、発泡式は採用できなくなった。

これに対してスプレー式フラックス装置は、フラックス液を自動スプレーノズルでスプレー噴射して塗布する方法である。自動スプレーノズルから噴射されたフラックスは霧状となって基板に薄く均一なフラックス塗布が可能で、フラックスの濃度管理、ならびに水分管理も不要なフラックス塗布装置がスプレーフラックス装置である。実装基板が搬送されてくると基板はセンサにより検知され、ソレノイドバルブが開放してエア配管から作動用の圧縮空気が低圧霧化式ノズルに送られ、ノズルが開放し、加圧タンクに収納されているフラックス液が流量計でチェックされながら基板の裏面に噴射される。

スプレー圧調整器、霧化圧調整器、フラックス液流量調整器等の調整によりスプレーノズルから噴射されたフラックスは、霧状となって基板に薄く均一なフラックス膜を形成する。そしてレシプロケータによりスプレーノズルを左右に往復運動させながら連続塗布をする。入口基板検出センサで基板開始および基板長さを読み、搬送コンベヤ同期のロータリエンコーダのパルス入力を使用してシーケンサ内部のシフトレジスタをシフトさせ、レシプロノズル上までの距離を読み動作させる。噴霧タイミングは基板幅をレシプロケータにより距離を合わせて基板幅のみ正確に噴霧するため、よけいな塗布をせず周りを汚さない。

Fig.2 はスイング式スプレーフラックス装置である。

3.2 窒素封入フローはんだ付け装置

窒素封入フローはんだ付け装置の構成としては、フラックス液は低残渣無洗浄フラックスを使用してスイング

Fig.2 Swing spray fluxer.

Fig.3 Nitrogen atmosphere flow soldering machine.

式スプレーフラックス装置、予備加熱器、はんだ槽、冷却装置の順で行われる。予備加熱器、はんだ槽の部分に窒素ガス封入炉体を設け、窒素ガスを供給する。常に大気圧以上の圧力の窒素ガスを注入し、炉内雰囲気窒素ガスに置換する。炉内全体に窒素ガスが充满し、酸素濃度が設定点に到達し安定した後、はんだ付け生産が開始できる。フローはんだ付け部は、常時、酸素分析計で正確に酸素濃度を監視されなければならない。装置実力値として、搬送幅250mm時、窒素流量8.4m³/hで50ppm以内で酸素濃度安定まで約15分程度である。基板流動時でもその酸素濃度安定に支障をきたさない。

本装置は、基板を入口部ラビリンススロートベルコンで受け入れ、その搬送プロセスで各工程処理条件を独自に制御し、デジタル管理、メモリ管理、データ管理を可能とし、ビジュアルに基板プロセスを確認できる。さらにはネットワーク化対応上位通信ボードが設けられ、容易にデジタル通信にて装置ステータス情報収集やリモートレシピコントロールを実現 (Fig.3) する。

Fig.4 Atmosphere effects on solder defect rate.

窒素封入式はんだ付け装置、スイング式スプレーフラックス装置の使用により無洗浄化が実現できるにしても、不良率が多いようでは高価な産業用基板の処理には大きなリスクを抱える。

窒素ガス雰囲気中ではんだ付けでは、大気中ではんだ付けとは異なり、次のような効果が認められている。

- ①はんだの濡れ性の向上
- ②はんだ付け強度の向上
- ③はんだの表面張力の減少
- ④昇温時での酸化の促進を抑えることができる。
- ⑤はんだの粘性の減少
- ⑥はんだの酸化物の減少

以上の効果により、ブリッジ、ツララの減少、スルホールの上がりやが良く、フィレット高の増長等があげられる。窒素雰囲気中ではんだ付け品質を保証し助成することは Fig.4 から理解できるように、低酸素状態(100ppm 以下)の稼働により大気中ではんだ不良率 0.63% に対して窒素雰囲気状態では 0.02% と、大幅な不良率の低減化が実現された。

3.3 従来型と窒素封入フロー装置の差異

窒素雰囲気中と従来型での差異は、窒素ガスを装置に封入を行うか行わないかであるが、低酸素中ではんだ付けにおいて、はんだ付け装置の取扱いに留意する点を列記する。

①予備加熱温度設置

従来型で条件出しされた温度設定値をそのまま窒素雰囲気内では適用されない。炉内のため温度が高めになる。また、低残渣無洗浄フラックスを使用するため、活性剤対固形分比率が低いために活性スピードが速くなる。予備加熱温度を低くして再度条件出しを行う。

②はんだ噴流波高設定

従来型で設定された波高が高めであると、基板上面にはんだかぶりしたり、コネクタ等の浮きが発生する可能性がある。はんだの表面張力の減少を考慮しながら噴流波の吐出圧にポテンシャルティを有すること。

③はんだ飛散(跳返り)現象

噴流波落下時、基板が噴流波を通過する時等に、はんだ飛散(跳返り)が起き、はんだボールが生じる時がある。はんだの表面張力の減少、フラックスの揮発ガスと窒素の相性による。大気中では問題ないが、窒素雰囲気内では、噴流波ノズルにはんだ飛散防止デバイスを加工しなければならない。

④酸素濃度管理

検出セルの種類、校正法、寿命、保守項目を認識した上で現在表示値の信頼性をチェックする。

⑤排煙処理

窒素封入している炉内のためフラックスガスやはんだヒュームが充填され大きな問題となる。これらが特に炉内上面に付着し、基板上面に滴下する可能性が非常に高い。したがって、排煙処理のないケースではメンテナンス頻度が高くなる。排煙処理機構(ブロー循環フィルタリングシステム)を必ず設置しなければならない。

⑥窒素ガス封入管理

ガス注入形態、窒素消費量、供給圧力、分流比、平衡点等を把握し管理しなければならない。品質に対する画一性を図るうえでも、重要な管理項目の一端である。

4. 無洗浄化対応リフローはんだ付け装置

表面実装技術(SMT)は、ますます小型化、軽量化、高密度化に進み、部品、基板印刷、挿入技術とともに微小細分化の騰勢が高まり、表面実装基板のはんだ付け技術の信頼性への要求に対応するべきリフローはんだ付け装置が迫られている。

最近の現状では特に無洗浄化が進む中で無洗浄化対応クリームはんだの実用化がなされ、また、ファインピッチパターン超微小化部品のリフロー処理において、クリームはんだのはんだ粒子の微小化につながり、クリームはんだの酸化問題、はんだボール等の問題点が提起されてきている。このような中で無洗浄化を含めて窒素雰囲気中でのリフローはんだ付けが認められてきた。

窒素封入リフローはんだ付け装置

本装置は窒素封入において搬送する基板の入口・出口側にシャッターレス式を採用しているため、従来のシャッター式に比べて装置が簡略軽量化され、操作性、生産性の向上が図れる。シャッター式には、シャッターの開閉型とノレン型、エアカーテン型等がある。開閉型は生産能力を減少させる。ノレン型はノレンが搭載部品に触れ、部品を動かしてしまう。エアカーテン型は酸素濃度の不安定性を作る。

本装置は TASC (タービュラント・エアシールド・コントロール) 方式採用の封入構造のため、装置と基板は非接触であり、搭載部品のずれや落下の心配がない。加熱方法はエアリフロー方式を採用しているため、より高度なはんだ付けに対応できる万能機である。加熱源に熱風を利用して熱の廻り込みの良い安定した温度分布ができ、熱風雰囲気炉内において効率の高いはんだ付け処理ができる。温度制御・排気管理も簡単になるなど操作性も向上している。さらに、基板、部品に対して不均一な熱伝導を生じさせず、ほぼ同一の設定条件で幅広い処

Fig.5 Nitrogen atmosphere reflow soldering machine.

理機能を発揮する。高精度なりフローはんだ付け装置は、ファインピッチの狭小化部品への対応も含めてより良い条件を出している。炉内を低酸素状態にし、温度上昇時の基板、部品、クリームはんだの酸化を防止し、これによりはんだの濡れ性を向上させ、はんだボールの発生を

抑えることができる。

Fig.5は窒素封入りフローはんだ付け装置である。本装置の構造と性能を列記する。

①排煙機構

リフロー部よりブローにて吸引したフラックスを含んだガスをフィルタとファン冷却器などを通すことにより、清浄化して再び搬送部へ戻す。

②制御機構

- ・温度プロファイル・グラフィック機能を有し、基板を搬送すると温度プロファイルがグラフ化されパネルに表示される。各チャンネルグラフ：50ドット構成。

- ・基板パターン記憶機能を有し、20種類の基板パターン（各ゾーンの調節温度、コンベヤスピード）と温度プロファイルを記憶させ、再び呼び出すことができる。

- ・外部コンピュータ用インタフェース機能を有し、表示画面上の設定および測定値を通信で制御できる。

Fig.6 Nitrogen atmosphere reflow soldering machine temperature profile.

Fig.7 Nitrogen atmosphere reflow soldering machine experiment data.

RS232C 通信ポート付属。

③本装置の性能

装置立上がり性能

温度上昇所要時間：リフロー部240℃で25分

酸素濃度：100ppm 以下

所要時間：15Nm³/h 40分

Fig.6 は、本装置の温度プロファイルである。

④連続運転時の窒素封入サイクル試験

装置の条件

基板寸法：幅250×長200mm

搬送スピード：0.8m/min

生産量：30秒/1枚

窒素流量：15Nm³/h

酸素測定点：リフロー部中央，搬送部上40mm

2次予備加熱炉，搬送部上40mm

Fig.7 はサイクル試験データグラフである。

して、これからも環境汚染の問題が並行して色々な面から解決できるような装置へと進んで行く。米国環境保護庁（EPA）により，使用中に大気に放出される揮発性の高い塩素系有機溶剤類の規制により VOC free flux（無揮発性有機化合物）の使用，人体への鉛公害による問題において Lead free solder（無鉛はんだ）の使用が米国では一般化されている中で，当社はこれらに対応できる装置を米国へ既に納入しているが，さらに進んで Flux free soldering（フラックス無しではんだ付け）が今後の研究課題になってきた。

【執筆者紹介】

大木一徳（おおき かずのり）

昭和47年，日本大学理工学部電気工学科卒。同年，日本電熱計器㈱入社，技術部設計課に所属。昭和49年5月，サンフランシスコ営業所へ駐在，主にはんだ付け装置の販売と技術に従事。昭和53年10月に帰国。現在，技術担当常務取締役。

5. 今後の展望

今後の電子機器のプリント配線基板のはんだ付けに関