高密度実装基板の白化損傷を防止するプレスイン端子の
形状最適化メカデザイン*松本鉄男^{*1}, 中村雅史^{*2}, 鈴木秀人^{*2}
加藤寛道^{*3}, 大槻智也^{*1}Optimum Mech.-Design for Shape of Press-in Contact Prevented
the Crazing Damage on High Density Packaging Printed BoardTetsuo MATSUMOTO, Masashi NAKAMURA, Hideto SUZUKI,^{*4}
Hiromichi KATO and Tomonari OHTSUKI^{*4} Ibaraki University, Dept. of Engineering,
4-12-1, Nakanarusawa, Hitachi-City, Ibaraki, 316-8511 Japan

In this study, optimum Mech.-design for shape of press-in contact prevented the turning white damage (crazing damage) on high density packaging printed board was examined. In particular, 'Non-damage' method that was prevented craze around thorough-holes on printed board and has high holding force for the contact was proposed. The main results were as follows; (1) Conventional contacts caused printed board around through-hole the crazing damage. On the other hand, improved contact it no damage. (2) It was understood that crazing damage on printed board was caused by exfoliation between glass-fiber and epoxy resin. These damage on printed board were distributed into following three regions by loaded stress; ① Non-damage region, ② Pre-damage region and ③ Damage region. (3) Maximum normal stress on improved contact was small stress within the 'Non-damage' region which was caused printed board no damage. (4) Improved contact designed by 'Non-damage' method had high reliability for printed board. Because of increase of area of press-fitting portion, this contact didn't only cause printed board no damage around through-hole but also had high holding for the contact.

Key Words: Press-In Contact, High Density Packaging Printed Board, Holding Force, Optimum Mech.-Design, FEM Analysis Crazing Damage

1. 緒 言

近年, 電子機器製品, 特に情報通信機器を中心とする電子製品は, 小形化・軽量化・高機能化が求められている. そのため, これらをパッケージする電子回路の実装技術においても新しい展開が図られている. 例えばメッキ・プリント回路などの導体・絶縁層を交互に高密度に積層したビルドアップ基板の開発や, スルーホールの小径化・ファインピッチ化といった高密度実装技術の構築が進められている^{(1)~(6)}.

これらの実装技術の一つとしてプレスイン端子がある. これは図1に示すようにコネクタ端子とプリント基板のスルーホールとを接続する技術である. プレスイン端子は, はんだ付け工程を必要としないため, 基板に熱応力が加わらず, さらに環境にも優しい接続技術である. これらのことから, プレスイン端子は従来

の回路実装には積極的に使用されてきた. しかしながら, 近年の基板の高密度実装に伴ってプレスイン端子には新たな技術的な課題が生じている. すなわち, 端子間相互の距離の縮小が余儀なくされ, 図1に示すよ

Fig.1 Shape and dimension of press-in contact and damage parts around through-hole

* 原稿受付 1999年9月20日.

^{*1} 第一電子工業(株) (☎ 321-4393 真岡市松山町14).

^{*2} 正員, 茨城大学工学部 (☎ 316-8511 日立市中成沢町4-12-1).

^{*3} 学生員, 茨城大学大学院.

E-mail: belltree@ipc.ibaraki.ac.jp

うにスルーホール周辺の白化現象や樹脂と強化繊維のはく離などの損傷^{(7)~(12)}やこれらの端子間における相互作用を無視できなくなっている。これらの損傷は①基板の反力低下によって、保持力を低下させ、②損傷内に水分が入り込むことによって、絶縁抵抗を低下させたり、スルーホールの銅メッキがイオン化マイグレーション⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾を起こし、近隣のスルーホールが連結し絶縁性がなくなる。等の不具合を引き起こす。

そこで、本研究では、基板の①白化を防止し、②高保持力を確保した高信頼性設計すなわち「基板に優しい端子設計(ノンダメージ設計)」として、新たな設計手法を提案する。

2. プリント基板の白化損傷の要因解析

2・1 基板の引張試験 基板の機械的特性および応力負荷による基板の損傷状況を調べるため、プリン

ト基板材料であるガラス繊維強化エポキシの引張試験を JIS K 7113 に準じて行った。引張速度は 1.0 mm/min であり、試験片形状は図 2 に示す。なお、ガラス繊維強化エポキシは、直径 7 μm のガラス繊維を 400 本束ねたフィラメントを、縦方向に 44 本/inch、横方向に 34 本/inch の割合で編み込んだガラスクロス 45 wt.% で強化したものである。試験により得られた応力-ひずみ線図を図 3 および機械的特性を表 1 に示す。

2・2 マイクロ스코プを用いた表面観察による基板の白化損傷の追跡 基板に荷重を负荷させた状態における基板の白化損傷を観察するため、引張試験と

同時にマイクロ스코プを用いた試験片表面のリアルタイムでの観察を行った。その結果を図 4 に示す。図 4 (a), (b) および (c) は負荷応力がそれぞれ 100 MPa, 250 MPa および 270 MPa における表面観察写真である。図 4 より応力が高くなるにつれ、基板の損傷状態の遷移が明らかになった。すなわち、図 4 (a)

Table 1 Mechanical properties of epoxy resin

Elastic modulus $\times 10^4$ (MPa)	Tensile strength $\times 10^2$ (MPa)	Total elongation (%)
1.20	3.47	3.61

Fig. 2 Shape and dimension of specimen

Fig. 3 Stress-strain curve of epoxy resin

(a) Non-damage region ($S=100$ MPa)

(b) Pre-damage region ($S=250$ MPa)

(c) Damage region ($S=270$ MPa)

Fig. 4 Photograph using microscope of surface of epoxy resin

では損傷が認められない。図4(b)では引張りによるせん断力の影響により、縦方向の繊維と横方向のガラス繊維が交差する部分においてしわ状の白化部分が認められ、樹脂と強化繊維のはく離の前兆が認められる。図4(c)ではしわ状の白化部分はさらに大きく斑点状になり、樹脂と強化繊維が完全にはく離した部分が多数確認される。これらの表面観察結果より基板の損傷状態は負荷される応力の大きさに応じて、①無損傷領域(0~200 MPa)、②白化開始領域(200~260 MPa)および③完全白化領域(260 MPa 以上)の3領域に分類される。①の無損傷領域では、基板強度は荷重に対して十分に余裕があり、表面観察においても損傷は認められない。端子の保持の際にも、この領域の応力内における保持を行うことは、基板の損傷を発生することなく、最も信頼性の高い保持を行うことができると考えられる。②の白化開始領域においては、樹脂と強化繊維のはく離による白化損傷の前兆が認められる。すなわち、この領域の応力における端子保持は十分な信頼性を得ているとはいえない。さらに、③の完全白化領域においては、白化損傷が大きいいため、本領域の応力内における端子保持は避けるべきであると考えられる。

3. CAE を用いた基板の損傷解析

3・1 解析方法 基板スルーホールへの端子挿入時における応力状態の可視化を行うため、汎用弾塑性解析ソフト MARC を用いることにより、基板・端子双方の弾塑性解析を行った。プレスイン端子はその分類をソリッドタイプ(Sタイプ)とコンプライアントタイプ(Cタイプ)に大別される。すなわち、スルーホールに端子を食い込ませて接続するSタイプと、スルーホールと端子の接触時における端子の弾塑性変形を利

Fig. 5 Schematic illustrations of sectional shape of press-fitted portion of press-in contact

用しその弾性力を用いて端子を保持するCタイプである。本解析で図5に示すように、Sタイプとして四角形・六角形を、Cタイプとして、従来形および改良形の4タイプを用意した。なお、従来形端子形状とは実際に製品としてこれまで用いられているものであり、改良形端子形状とは従来形を基板と端子の接触面積増加を目的として改良したものである。

制約条件は、端子が基板に損傷を起こさず、かつ高い保持力を維持するといった相反する二つの条件を同時に最適に満たすことである。すなわち、①接触部の応力によって基板に白化損傷が起こらず、②摩擦係数は0.08として一定とし、形状を変化させ最適化することで高い保持力を確保し、加えて③ピンの抜けを防止するのに最低限必要とされる設計保持力が4 kgf 以上でなければならない。具体的には改良形は従来形の外側部分の角部を除去し、スルーホールの形状に沿う形でピンの形状を円状にしたものである。すなわち、改良形は基板と端子の接触面積を増加させることにより端子の弾性変形を増加させ、かつ基板スルーホール全体での端子保持を行うことを目的として設計したものである。

解析方法は図6に模式図を示すように二次元平面ひずみモデルを採用し、計算時間を短縮化するため基板・端子双方1/2モデルとして、端子、基板ともに要素分割を行った。本解析においては図6に示すように基板を端子に横方向から接触させるという方法を取った。1/2モデルにおいて、図6に示すように基板の左

Fig. 6 Analysis model

端と端子の左端が一直線になるまで接触させた。これにより端子が変形しその弾性変形による反力で接触応力が生じる。実際には端子を基板に対し上面より垂直に挿入するため、せん断方向の応力が生じるが、本解析ではこれを無視している。これは、基板・端子間の摩擦係数が0.08であり、せん断方向の応力は非常に小さいものと考えられるためである。解析に用いた基板樹脂(ガラス繊維強化エポキシ)・端子(リン青銅)両材料の機械的特性を表2に示す。

3・2 基板に損傷を与えるスルーホール周辺の応力

Table 2 Mechanical properties of analysis model

	Elastic modulus $\times 10^4$ (MPa)	Yield point (MPa)
Board	1.20	—
Contact	11.2	38.7

Fig. 7 Distribution of equivalent Von Mises stress on improved type

Fig. 8 Distribution of equivalent Von Mises stress on square type

分布 解析結果として、四角形・従来形および改良形における、基板のスルーホール周辺部分での相当応力の分布を図7、8および図9に示す。図7より、改良形の端子形状においては基板スルーホール周辺部分における応力分布は、他端子形状と比較して最も良好な応力分布となっていることがわかる。すなわち、基板スルーホール周辺における相当応力は、基板スルーホール周辺部分全体に広く分布しており、局所的に大きな応力がかかっていない。これは改良形の端子形状が、スルーホールとの接触面積が大きく、応力集中を防ぎ広い範囲に応力を分布させるためである。一方、図8よりSタイプの端子(四角形)においては、基板スルーホールと端子の接触は局所的であり、その接触部分における応力も800~1000 MPaと非常に大きな値となっていることがわかる。この応力は基板の引張強さを大きく超えていることから、基板の白化すなわち基板樹脂と強化繊維のはく離やき裂などの損傷が懸念される。また図9より、Cタイプの端子(従来形)においては、基板スルーホールと端子の接触面積はSタイプと比較して改善されているものの、基板スルーホール周辺部分における大部分では白化開始領域、局所的には完全白化域以上の応力が負荷されていることがわかる。

3・3 基板スルーホール周辺部分における垂直応力分布と基板の端子保持力

3・2節の解析結果より端子を基板に挿入した際の基板スルーホール周りにおける垂直応力分布を図10に示す。図10はSタイプとして四角形・六角形およびCタイプとして従来形・改良形の垂直応力分布である。図10より、改良形端子は他端子形状と比較して優れた応力分布を示していることがわかる。すなわち、改良形端子は基板スルー

Fig. 9 Distribution of equivalent Von Mises stress on conventional type

ホール周辺部分に広く応力が分布しており、またその応力も無損傷領域以下の応力値にとどまっている。

また基板の端子保持力 F は、基板スルーホールが端子の接触により受ける力の総和に比例して増加する。すなわち式(1)より、垂直応力の積分値(例えば改良形端子であれば、図10における斜線部分の面積)により決定される。

$$F = \mu P \dots\dots\dots (1)$$

μ : 基板と端子の摩擦係数, P : 基板の受ける荷重
図10より、改良形端子は端子保持力においてもSタイプを大きく上回り、従来形端子と同等の高い保持力を示している。

以上のことから、改良形Cタイプは、他端子と比較して最も信頼性の高い端子である。すなわち、端子が基板スルーホール周辺部分に及ぼす最大垂直応力が無損傷領域内であり、加えて高い端子保持力を有している。

3.4 基板の安全性を保証した端子設計 3.3節までの考察より基板の信頼性を確保した上で、高い保持力を得るためには、Sタイプの端子であれば端子と基板スルーホールとの接触点数を、Cタイプの端子であれば接触面積を増加させればよいことが示唆された。これをもとに基板の白化のない高信頼性を確保した端子の設計方法を図11に示す模式図を用いて説明する。図11はプレスイン端子とスルーホールの接触面積の割合とスルーホールが端子から受ける最大垂直応力および基板の端子保持力の関係を示している。これはCAEの解析結果より導き出したものである。図中 F_s は実際の製品設計において現在最低限必要とされる設計保持力である。

図11よりSタイプの四角形および六角形端子はスルーホールの接触部に局所的には大きな応力がかかっており、完全白化領域の応力をはかるに越えているが、保持力は小さいものとなっている。また、Sタイプの八角形およびCタイプの従来形端子では期待される

Fig. 10 Distribution of normal stress at through-hole

保持力を満足するものの、基板スルーホールが受ける最大垂直応力は基板の白化が生じる白化開始領域あるいは完全白化領域以上の応力である。すなわち従来のプレスイン端子では基板を破壊させて保持力を保つ設計をしていることがわかる。ここでSタイプおよび従来形端子の保持力が低い値となっているのは、CAE解析では実際に起こる基板の損傷を考慮できないためであると考えられる。

一方、Cタイプの改良形プレスイン端子は最大垂直応力が無損傷領域内の応力と極めて低い値であり、加えて基板損傷をさせて保持をしている従来形端子とほとんど同様な高い端子保持力を満足している。すなわち、改良形端子はノンダメージ法に設計された基板を損傷させない基板樹脂の高信頼性を確保した「基板に優しい端子」であることがわかる。

4. 結 言

高密度実装技術を実現するプレスイン端子の設計に関して、プリント基板樹脂の安全性保証した最適端子形状について検討を行った。すなわち本研究では、基板の①白化を防止し、②高保持力を確保した高信頼性設計すなわち「基板に優しい端子設計(ノンダメージ法)」として、新たな設計手法を提案する。

(1) 従来の設計法を用いたプレスイン端子は基板スルーホール周辺部の白化(損傷)を引き起こした。一

Fig. 11 Relationship between holding force and maximum normal stress

方, 改良形プレスイン端子は基板スルーホール周辺部の白化が起こらなかった。

(2) 端子の挿入による基板の白化の原因は基板樹脂とガラス繊維のはく離であった。これらの基板の損傷状態は, 負荷される応力の大きさにより以下の三段階に分類された。すなわち, ①無損傷領域, ②白化開始領域(白化現象, 樹脂と強化繊維のはく離前兆)および③完全白化領域(樹脂と強化繊維の完全はく離状態)である。

(3) 改良形Cタイプのプレスイン端子では, 基板に及ぼす最大垂直応力が基板の白化が起こらない無損傷領域内の値であった。

(4) ノンダメージ設計法を用いて開発した改良形Cタイプのプレスイン端子は, 基板樹脂の高信頼性を確保した基板に優しい端子である。すなわち, 基板に対しての接触面積を増加させることによって広範囲に応力を分布させ, 基板の白化が防止し, 高い端子保持力を有することが可能となった。

文 献

- (1) 鈴木秀人, 電子部品の疲労信頼性評価, (1995)。
- (2) 高浜隆・林修, 日本溶着学会誌, **27-4** (1991), 134-142。
- (3) 回路実装学会, 回路から実装まで, (1996), 15-23。
- (4) 星川悦男・間仁田祥・田中靖則, (社)エレクトロニクス実装学会'98 特別セミナーテキスト, (1998), 6-23。
- (5) 佐々木淳・畑田賢蔵, 回路実装学会先端高密度実装技術討論会, 1-6 (1997), 30-35。
- (6) 水本尚吾, (社)エレクトロニクス実装学会・第6回研究討論会予稿集, (1998-4), 25-29。
- (7) 鈴木寛・関根秀樹, 機論, **58-551**, A (1992), 179-183。
- (8) 荒木栄敏・岩本正治・斎藤憲司, 機論, **58-548**, A (1992), 106-112。
- (9) 荒木栄敏・岩本正治・斎藤憲司, 機論, **58-552**, A (1992), 209-215。
- (10) 富岡史城・和田弘, 機論, **58-550**, A (1992), 21-28。
- (11) 轟章・小林英雄, 機論, **57-539**, A (1991), 184-189。
- (12) 田中拓・田中啓介・井ノ口武・北條正樹, 機論, **57-536**, A (1991), 97-103, (社)エレクトロニクス実装学会, 25-29。
- (13) 津久井勤, エレクトロニクス実装学会誌, **2-4** (1994), 269-274。
- (14) 高野希, エレクトロニクス実装学会誌, **2-4** (1999), 275-279。