プリント配線板の 振動ピン立て加工 (第1報)

—ピン立て特性と接合強度に及ぼす加工因子の影響—

横井 秀俊*, 藤城 隆一**, 高橋 徹也***, 横野 春樹****

Vibro-Punched Pin Inserting (1st Report).

— Characteristics of Pin Inserted Samples
and Effects of Factors on Joining Strength. —

Hidetoshi YOKOI*, Ryuichi FUJIKI**,

Tetsuya TAKAHASHI*** and Haruki YOKONO****

* 東京大学生産技術研究所 (〒106 東京都港区六本木7-22-1)

** (株)不二越技術開発本部 (〒930 富山県富山市石金20)

*** 日立化成工業(株)下館工場 (〒308 茨城県下館市大字小川1500)

**** 日立化成工業(株)南結城工場 (〒307 茨城県南結城市大字鹿窪1772-2)

* Institute of Industrial Science, University of Tokyo (7-22-1, Roppongi, Minato-ku, Tokyo 106)

** Nachi-Fujikoshi Corp., Development Engineering Division (20 Ishigane, Toyamashi, Toyama 930)

*** Hitachi Chemical Co., Ltd., Shimodate second works (1500 Ogawa, Shimodate, Ibaraki 308)

**** Hitachi Chemical Co., Ltd., Minamiyuuki Factory (2-1772 Shikakubo, Minamiyuuki, Ibaraki 307)

概要 プラスチック PGA のリードピンインサート加工は、ドリル穴あけ・スルーホールめっき・ピン圧入からなり、生産性に問題を残していた。振動仕上げ抜きを応用し、複数ピンを数秒の単一工程にて樹脂系基板上に立てうる振動ピン立て加工を提案し、接合状態の観察および各種接合強度試験を通してその実用性の検討を行った。

本加工法により、 t 1.0 mm の FR-3, FR-4, CEM-3 の各試料に ϕ 0.45 mm のピンを3秒の加工時間で打ち込んだ。各試料のピン引き抜き接合強度は70N以上、押し込み接合強度は50N以上を安定して実現した。ただし、一部の基板材種において接合部にはピン挿入方向に沿う繊維のだれ込みが観察され、FR-4においては最大0.33 mmのはく離域が生成した。

Abstract

The increasing integration density and the multiplying function of LSI chips today require its packages to have smaller dimensions and increasing number of pins. PGA (Pin Grid Array) products were conceived to meet these requirements, but their cost is still high. The reason is that they require three successive processing stages, namely drilling, plating of through-hole and inserting pin. In view of this we have developed a new processing technique for print circuit boards—called Vibro-Punched Pin Inserting—which is a derivation of Vibro-Punching. It consists of reciprocating half-blanking process by which concentrated thermal energy is used to soften the resin, cut its fiber, and finally to insert the pins. This process can be used to insert pins with a diameter of 0.45 mm into printed circuit boards 1.0 mm in thickness within 3 seconds. The pull-strength of the inserted pins is constant and greater than 70N, while the push-strength is greater than 50N. The fiber surrounding the inserted pins present directional properties.

1. 緒 言

エレクトロニクス産業にとって、製品の高機能化と小型軽量化そしてコスト低減は不可避の課題である。近年、その要求はいっそう高まり、半導体デバイスにおいてもLSI、VLSIに代表される微細加工技術と、SOP、QFP等の表面実装部品に代表されるパッケージング技術が急速に進展している。半導体の集積度向上は極端な多ピン化傾向を生み出し、従来パッケージでのリードピッチを詰めるだけではすでに限界に達している状態である。こうした背景の中で、リードピンを2次元的に配置したピン・グリッド・アレイ(PGA)が開発された¹⁾。現在では、ピン数が100本を越えるパッケージ分野では最も一般的になり、今後もその需要増大が大幅に見込まれている²⁾。

パッケージ材料としては、高い信頼性が得られるセラミックPGAが現在主流とされる。しかしきわめて高価であるため、樹脂改良や耐湿性向上から信頼性の向上が著しいプラスチックPGAに移行しつつある。このプラスチックPGAのピン立て加工は基本的にドリル穴あけ・スルーホールめっき・ピン圧入の3工程からなる。パッケージの性質上ピン数がきわめて多く、今後さらなる多ピン化傾向が進むことを考えると、こうした多工程ピン立て加工の量産性には依然として大きな技術的問題が残されていた。また今後さらにピッチ間隔をつめ、ピン径を小さくすると、従来の加工法ではピン圧入のための縮

め代コントロールがきわめて困難になることも予想された。

本報告では、従来のプラスチックPGAのピン立て加工ではなしえなかった、数秒の単一工程で確実・高強度な樹脂系プリント配線板の振動ピン立て加工を新たに提案し、ピンの打ち込み実験、ピン接合状況の観察および従来PGAサンプルとの比較、接合強度の評価、加工条件の系統的調査を行い、本法の実用性について検討を行った。以下にその概要を報告する。

2. 振動ピン立て加工

せん断加工ではせん断線に沿う領域に局所的な熱生成を伴う。これは工具寿命や寸法精度に悪影響を及ぼし、一般に有害視されるものであった。しかし同一領域の繰り返しせん断にてこうした発熱を増幅すると、とりわけ低熱伝導率材料においては局所的加熱状態が実現され、容易なせん断加工が可能となる。振動仕上げ抜きはこの原理に基づく精密せん断法として開発されたもので、ガラスエポキシ積層板をはじめとする本法の適用例は既報^{3), 4), 5)}にて紹介されている。この際打ち抜き用のポンチをインサートピンとみなせば、ピンの打ち込みが可能となる。これが振動ピン立て加工の着想であった。加工手順を図1に示す。

上下ダイスにより基板の加工部位の周囲を拘束する。次に上ポンチと下ポンチがインサートピンを介して加工部の上下面を拘束し、上下ポンチは同位相の振動により基板を繰り返しせん断する。これによりせん断エネルギーがせん断領域に集中して局所加熱状態が出現される。同時にせん断領域の繊維は完全に破碎される。この熱軟化度と繊維破碎状況は供給エネルギーの量と加工時間により規定されるため、ピンの打ち込み抵抗を下げるには一定レベル以上の振動振幅・時間と周波数を必要とする。続いて上下ポンチをやはり同位相の振動にて抜き上げることにより、熱軟化領域の打ち抜きおよびピン立てが同時に達成される。この際切口面熱軟化樹脂の高い接合力と、穴の弾性収縮により、強固なピン把握力が実現される。最後に抜きかすを除去し、工程を終了する。

図1. 振動ピン立て加工手順

3. 実験方法

3.1 振動波形と実験装置

基本的な工具振動波形を図2に示す。すなわち、 t_1 では振動を徐々に大きくし繊維の破断を進行させるとともに工具に対する急激な圧縮負荷を低減させる。次に t_2 では樹脂の熱軟化を進行させる。 t_3 では試料のせん断分離とピンインサートを同時に行い、さらに t_4 ではピンと接合面をなじませる。図3に実験装置の構造概略を示す。本装置はC形状を有する加振フレームとダイス側を固定するための固定フレームにより構成される。加振フレームおよび同フレーム上部の昇降ポンチは、独立2系統の電気油圧サーボ機構により駆動され、それぞれマイクロコンピュータおよびアナログ信号発生器にて制御できる。加振アクチュエータは静的負荷容量39 kN、ストローク10mm、またクランプアクチュエータは静的負荷容量12 kN、ストローク15 mmである。なお、ダ

図 2. 工具振動波形

図 3. 実験装置の概略

イス圧力設定は上ダイス上部に設置された油圧シリンダの圧力設定にて行い、またポンチ初期圧力の設定は油圧による微小圧力制御が困難なため、位置制御を使用した。

3.2 実験条件

実験条件を表1に示す。金型は1本ピン用と9本ピン用の2種類を用意したが、本研究の範囲である基本的要因の調査には1本ピン用金型を使用した。各種加工因子の影響は表1の条件を基本とし、試験因子のみ変動させて調査した。実験には表2に示す代表的な両面銅張り基板材料3種を使用し、これらを表中の記号にて略記した。ただしFR-3は、PGA用基板としての実績はないが参考試料として試験した。ピンの接合強度測定方法を図4に示す。同図の測定治具は、図3の上下ポンチ・ダイスを含む工具ユニットと置き換えられ、本実験装置の電気油圧サーボ弁式アクチュエータにてラム駆動を行った。ここでは押し込み、引き抜きの両強度を計測しているが、主として定速度20 mm/minでの引き抜き時

表 1. 基本実験条件

- 基本波形：50 Hz，正弦波
- 片振幅：0.2 mm
- 振動時間 (t_1, t_2, t_3, t_4)
= (0.5, 0.5, 1.0, 1.0) (s)
- ポンチ形状：φ 0.450 mm
- 工具クリアランス：片側 10 μm
- 工具材質：SKH 51
- ポンチ初期押し込み量：0.02 mm
- ダイス初期面圧：25 MPa
- ピン形状：φ 0.445 mm
長さ 4.9 mm
- ピン材質：SKH 51
- ピン面粗度：0.18 s

表 2. 供試材

ANSI 記号	FR-3	FR-4	CEM-3
樹 脂	フェノール	エポキシ	エポキシ
基 材	紙	ガラス布	表面：ガラス布 中心：ガラス不織布
製造会社	日立化成	日立化成	日立化成
品 番	MCL-E-47	MCL-E-67	MCL-E-689
板厚 (mm)	0.7, 0.8, 1.0	0.6, 0.8, 1.0	0.8, 1.0, 1.2

の最大負荷 (N) を中心にロードセルにて評価した。ロードセルは超小型荷重センサ (共和電業製, 容量 20 kgf, 非直線性 1 %) を使用した。また引き抜き時にはピンバイスを使用し, 押し込み時にはピンに直接ラムを押し当てて測定した。記録装置は電磁オシログラフ (日本電気三栄製, ビジグラフ 5L 48) を使用した。図 5 にその記録結果の例を示す。ここでは同図中の最大荷重をもって引き抜き接合強度, 押し込み接合強度を定義するものとした。PGA のリードピンには硬さ Hv 140 ~ 150, 引っ張り強度 0.5 ~ 0.6 GPa の 42 Alloy 等が, これまで一般に使用されていた⁶⁾。しかし, t 1.0 mm の試料に対する ϕ 0.45 mm のピン打ち込み加工は, 打ち抜き加工の限界アスペクト比に近いとみなされる SKH 51 に材質を変更して実験を行った。使用したピンの硬度は Hv 650, 引っ張り強度は 2.2 GPa である。

4. 振動ピン立てサンプルの外観および断面観察

4.1 サンプルの外観および断面観察

9 本ピンのサンプル外観写真を図 6 に示す。また図 7 に各種材料の断面写真を示す。FR-4 では, ピン側面に沿って粉碎されたガラス繊維と樹脂, 銅粉の接合層が薄く生成し, ピン挿入方向に屈曲・白化した繊維と共にピンを保持している様子が観察される。ピン周囲の繊維の層間はく離深さは最大約 0.33 mm に達している。それに伴って b 側表面に若干の盛り上がりが見られる。CEM-3 においても上下面のガラス布に同様の層間はく離が見られるが, 中間部のガラス不織布部にはダメージは見られない。紙基材の FR-3 ではピン側面に沿うダメージは特に観察されない。いずれの材料でもピン接合層に銅粉の混入が認められ, それらは基材材種によって粉碎程

図 4. 接合強度測定方法

図 5. 接合強度評価方法

度、分布形態が明らかに相違している。

FR-4 について試料を押さえ込むダイス面圧と層間はく離の深さの関係を図8に示す。ここで層間はく離深さは試料断面において観察される最大深さとする。ダイス面圧を変えることにより試料拘束力を上げてほとんどはく離深さは変わらない。むしろ過大な面圧は拘束部と非拘束部の境界に層間はく離域を生ずる。

以上の結果から、高アスペクト比の振動加工においてガラス長繊維を含む試料に対するダメージはある程度避けられないものと考えられる。

4.2 従来加工法との断面の比較

従来のPGA加工と振動ピン立て加工との層間はく離状態の比較を行った。試料はいずれもFR-4である。従来法のスルーホールめっき穴および同穴へのピン圧入後サンプルの断面拡大写真を図9に示す。ドリル加工においてもある程度のダメージが生じ、層間はく離深さは最大0.08mmに達している。従来

法の圧入ピンは、ピンの一部をつぶし、局部的にピン側面を膨張させている。したがってピン圧入ではピン幅増大部がしまりばめとなりピン保持力を生じ、他部分は空隙となっている。よって層間はく離はピンの膨らみと接触した穴内壁部分に集中して生成している。板面内方向の層間はく離分布を調べるために、従来のPGAおよび振動ピン立てサンプルの板面内はく離分布写真(図7-2のAA矢視)を図10に示す。従来のPGAは圧入ピンの膨らみ方向に集中してはく離が生成し、最大0.26mmに達している。これに対して振動ピン立てではほぼ様な分布ながら、わずかに繊維と45°方向に広がりが大きくな

図8. ダイス面圧とはく離深さ

図6. 振動ピン立てサンプル外観(9本ピン)

(1) スルーホールめっき後 (2) ピン圧入後

図9. 従来PGA加工断面拡大写真

(1) FR-3

(2) FR-4

(3) CEM-3

図7. 接合部断面写真

っている。はく離深さ、はく離面積ともに振動ピン立ての方が若干多いことが認められる。

5. 振動ピン立ての接合強度特性

5.1 各種材料の接合強度

表1における各種材料の引き抜き、押し込み強度例を図11に示す。板厚にはほぼ比例して強度が増大し、市販PGAの接合強度規格⁷⁾20Nを大幅にしのいでいる。また引き抜き強度は押し込みより10~50%高く示された。両者の差が比較的大きい材料は、断面写真(図7)において組織のだれ込みが最も著しいFR-4である。これはピン挿入方向に材料組織が流れるため、その反対方向の引き抜きに対して強い抵抗力を示し、押し込みに対しては抵抗力を生じにくいためと考えられる。

5.2 振動振幅および周波数の影響

t1.0mmの各試料を表1において、試験因子のみを変えて実験を行うものとする。本加工法は、振幅、振動周波数、振動時間が密接に絡み合いながら試料に対して加工エネルギーが付与され、それによって生じ接合状態が決定される。すなわち、付加エネルギー

図10. サンプル平面断面写真 (FR-4)

図11. 各種材料の接合強度

が小さいと十分な樹脂熱軟化が得られず、過大であれば樹脂の劣化が進行する。また、ガラス布を含む試料では、過度の振動エネルギーは接合部ガラス繊維の粉碎領域を拡大し、繊維による弾性回復力を減少させピン把握力を低下させる。

片振幅の影響を図12に示す。いずれも0.15~0.20mmで接合力が最大となり、振幅をさらに増すとFR-3、FR-4では引き抜き力が急激に低下する。過大な振幅は接合部組織粉碎、樹脂劣化を進行させ、振幅が小さいと十分な熱軟化が得られないため接合力の低下をもたらす。

振動数の影響を図13に示す。全体として40~60

図12. 片振幅と接合強度の関係

図13. 振動周波数と接合強度の関係

Hz 付近で良好な引き抜き力が得られていると判断される。本加工法では振動数と振動時間により加工エネルギーが決定されるため、単純に振動数で評価することはできないが、表 1 の実験条件に沿う範囲では上記周波数範囲が適切と考えられる。

5.3 振動時間の影響

(1) t_2 の影響：振動加熱時間 t_2 の影響を図14に示す。引き抜き力は 0.5s まで急激に上昇し、それ以降では変化がみられない。これより 0.5s で加振領域の組織が完全に破碎・加熱状態になると考えられる。また 0.5s 以降でわずかに減少傾向を示すのは、樹脂の劣化・破碎領域の拡大によるものと考えられる。 t_2 終了時の試料断面写真を図15に示す。ピン挿入により抜きかすとなる部分は、加振によりガラス繊維および銅はくが全体にわたり破碎・混合され、その周辺域に層間はく離が生じている様子が観察される。これより本加工工程は、振動せん断発熱と共に振動局所破碎加工を行っていることが確認できる。この抜きかす部は圧縮されて板厚減少を伴う。これはク

図14. t_2 と接合強度の関係

図15. t_2 後の試料断面写真 (FR-4 $t_{1.0}$)

ランプアクチュエータが位置制御によっているため、実質的なせん断発熱、繊維破碎効率が低下しているものと推察される。板厚減少分の体積の一部は周辺部に混入し、層間はく離を助長しているものと考えられる。またこのクランプアクチュエータが単純圧力制御による場合、さらに抜きかす部が圧縮される可能性がある。

(2) t_3 の影響：ピン挿入速度を決定する、抜き上げ時間 t_3 の影響を図16に示す。速い押し込みは、高い穴の弾性収縮力をもたらす。一方、 t_3 を長くすると低速シェービングによる繊維のせん断と樹脂の劣化が促進されるため、引き抜き力が低下するものと考えられる。

(3) t_4 の影響：振動仕上げ抜き^{2),3),4)}のバニシ工程に相当する t_4 の影響を図17に示す。ガラス布基材である FR-4 はバニシ効果の影響が出やすく t_4 の付加により接合力が低下するが、紙基材の FR-3 は接合面のなじみ性が良好なため t_4 の付加により接合力が増大するものと考えられる。各試料を通して

図16. t_3 と接合強度の関係

図17. t_4 と接合強度の関係

みると、 $t_4 = 0$ で接合強度にばらつきを生じるが、わずかの t_4 を付加することで、ピンと接合層とがなじみ、以後安定した高い接合強度を実現している。

5.4 ダイス面圧の影響

試料を押さえ込むダイス面圧の影響を図18に示す。面圧を上げ試料拘束力を増すと引き抜き力が低下する。これは試料組織を過大に加圧したままピンを打ち込むと、加工終了直後の圧力解放によりピン外接穴径が拡張するため、ピン把握が若干低下すると考えられる。本加工金型は機構上、型構造が複雑となり、その機械的強度の低下を招く恐れがあったが、ダイス面圧を下げることによりピン接合強度を下げることなく型の変形を回避できるものと期待される。

5.5 引き抜き時の試料温度の影響

試料に熱電対を挿入し周囲温度を変えることにより試料温度を制御し、ピン接合強度への影響を調べた結果を図19に示す。試料自身の機械的強度は温度上昇と共に低下し、150℃においてその強度はほとんどなくなるが、ピン接合強度も同様に低下している。規格の20Nを超える領域として、FR-4、CEM-3で140℃までの温度領域をカバーしており、これより本法の高い信頼性を確認することができる。

6. おわりに

プラスチック PGA 加工等に適用できる、数秒の単一工程であるプラスチック基板への振動ピン立て加工を提案し、接合状態の観察および接合強度試験により以下の結果を得た。

図18. ダイス面圧と接合強度の関係

(1) $t_1 1.0$ mmの試料に下穴加工なしに $\phi 0.45$ mmの複数ピンを3秒以内の加工時間で打ち込んだ。また各種材料における単一ピンインサート加工において、実用上十分な引き抜き接合強度70N以上、押し込み接合強度50N以上を安定して達成できることを示した。

(2) 接合強度は、板厚、振幅、試料温度に大きく依存し、ダイス面圧とは負の、振動周波数とは正の相関が認められた。また、高強度化には比較的速いピン打ち込み速度、その安定化には t_4 の付与が効果的となった。

(3) 接合部には繊維のだれ込みが観察され、FR-4において最大約0.33mm(従来法で0.26mm)のはく離域が生成し、はく離生成域の大きさはダイス面圧に関係しない。

以上により、本手法は実用上十分なピン接合強度を実現できることが実証されたが、一方従来法にない繊維のだれ込みと従来法より若干大きいのはく離域の生成が認められた。前者のだれ込みは本質的にPGAリードピンとしての特性に影響を与えないとみなされるが、後者ののはく離域は絶縁特性等の電気的な信頼性に直接関連しており、実用上注意が必要となる。したがって、加工条件による初期のはく離生成域ならびにヒートサイクル等によるその後のはく

図19. 試料温度と接合強度の関係

離域拡大をどこまで抑止できるかについて、系統的
研究が実用上重要な課題となつてこよう。これにつ
いては、現在材料面、ピン形状の二方向から検討を
加えており、次報にて報告を予定している。

最後に実験に終始ご協力頂きました元中央大学学
生（現日本電気プリンティング）芹沢孝之君に心か
ら感謝致します。

（1988. 4. 13 - 受理）

文 献

- 1) 清水他, S 58年電子通信学会総合大会, 1-156
- 2) 斉藤他: L S I パッケージの現状と将来について,
サーキットテクノロジー, 2, 4 (1987), 254
- 3) T. Nakagawa and H. Yokoi: Mirror Finish
Piercing of Glass Fiber-Epoxy Laminates
Using a Vibrated Punching Technique, Proc.
of the 9th North American Manufacturing
Research Conf., 207-214, 1981. 5
- 4) 横井, 中川: ガラスエポキシ積層板の振動仕上げ抜
き特性と加工プロセス, 塑性と加工, 25, 279 (1984
- 4), 335
- 5) H. Yokoi, T. Nishimoto and T. Nakagawa,
Vibro-Punching of Glass/Epoxy Printed
Wiring Boards: Printed Circuit World
Convention IV Technical paper No 12, 2-16,
1987. 6, D
- 6) 神戸製鋼エンジニアリングレポート Vol. 36, No 4
(1986)
- 7) 日立化成・松下電工カタログ