多層プリント配線板用高精度小径穴あけ機の開発*

Development of Small Hole Drilling Machine for Multilayer Printed Circuit Board

金谷保彦** 荒井邦夫*** 中島清治†

Yasuhiko KANAYA, Kunio ARAI and Kiyoharu NAKAJIMA

Key words : SMT, multilayer printed circuit board, small hole drilling, step feed drilling, broken drill bit detector, high aspect ratio drilling, AC software, servo

1. はじめに

めざましい伸びを示しているエレクトロニクス産業の発展を支えてきたものとして、半導体をはじめとする電子部品の多機能化、高性能化、高集積化、小型化、低価格化などの急速な技術的進歩があげられる。同時にこれらの電子部品を搭載し、電子回路を形成するプリント配線板に対し、高密度化、高多層化、多機能化、高信頼性、低価格化などが要求され、最近では、表面実装技術(SMT)の登場によりいっそうこの傾向が加速されている。SMT基板では、スルーホールはめっき導通穴としてのみ使用するため、小径穴化と細線ライン化によって実装密度が従来のピンインサート方式の基板に比べて数倍向上する。また配線長が大幅に短くなるために処理スピードが向上しノイズに強くなるなどのメリットがある。

このような傾向の中で、多層プリント配線板(以下多層板という)の製造工程における穴あけ技術に対し、小径、深穴加工の技術革新が必須のテーマとなっている。

多層板は図1に示すように、銅箔部(厚さ35~70 μm)、絶縁層(ガラス布およびエポキシ、ポリイミドなどの樹脂)からなる複合材であり、最新

大型コンピュータ用中央処理装置の例では、回路配線密度0.51mm/ピッチに縮小し、層数も20~42層に多層化し、基板厚さも7mm以上となっている。

穴径は図1に示すIVHは0.1~0.15mm, BHおよびTHでは0.3~0.4mmと小径化しアスペクト比(板厚/穴径)も10~20に増加している。穴数は、数千から数万個もあり、層間穴位置確保の穴位置精度 $\pm 50\mu\text{m}$ 以下、めっき信頼性上穴壁粗さ25 μm 以下が要求される。

これらの条件をすべて満足するため、機械構造、制御技術、ドリルおよび加工全体に新技術を導入した高精度小径穴あけ機(図2, 表1)の開発に成功した。

2. 技術の内容

2.1 機械本体の特徴

0.1~0.4mmの穴を1枚あたり、数千から数

図1 多層プリント配線板の内部構造

* 原稿受付 昭和63年10月17日

** 正会員 日立精工(株)(海老名市上今泉2100)

*** 日立精工(株)

† 日立精工エンジニアリング(株)(海老名市上今泉2100)

図2 高精度小径穴あけ機「ND-K シリーズ」

万個を高精度、高速に穴あけするためには、機械本体の位置決め精度の向上、少ない熱変位、振動の低減などが重要となる。このため機構主要部の振動モーダル解析による最適構造化、移動軸相互の精度が干渉を及ぼさないXY軸独立駆動方式、駆動モータの発生熱除却装置や主軸の全冷却により熱的ねじれの改善などを行い長時間安定した高精度位置決めを可能にした。

特に小径穴あけでは、ドリルの剛性が低く、位置決め径の残留振動が大きい場合、ドリルの食いつき位置が曲げられ穴位置精度が悪化、ドリル折れにもつながる。そこで図3に示すようにACサーボモータを使用したソフトウェアサーボ方式を採用し、各種のフィードバックを機構本体との最適化への補正機能を組み込むことにより、従来装置に対して振動振幅を1/3以下に減少させることに成功した。

2.2 新小径深穴加工方法の開発

表1 装置仕様

項 目	仕 様
加工基板サイズ	600×600 mm
加工基板厚さ	0.1~8 mm
主 軸	エア軸受 高周波スピンドル
主軸回転数	15~80/110 krpm
X, Y 位置決め精度	±5 μm/600 mm
穴あけ速度	300 ヒット/min
適用ドリル径	0.1~6.35 mm
ドリル折損検出装置	0.1 mm (Min)

多層板における0.4 mm以下の穴あけでは、穴品質に対し、ドリル内での切り粉づまり、切削熱の影響が非常に大きい。図4は、34層、厚さ6 mmの多層

板を0.4 mmのドリルで穴あけした場合、ドリルにかかるスラスト負荷を測定した結果である。加工深さが4 mm付近を超えると急激にスラスト力が増加し、穴内壁の悪化、スミアの発生が生じ、最悪の場合ドリル折れが発生する。スミアとは、図5に示すように、ドリル温度上昇が著しく、樹脂の転移温度 T_g を越えるため、軟化して、内層の銅箔に付着する状態を示す。また、図6に示すように、切粉が逃げ場を失い穴内壁を掘り起こしたり、出口部にバリを発生させたりする。これを解決するため従来のステップ加工を改良した新小径深穴加工方法(図7)を開発した。図8に示すように、ドリルにかかるスラスト力が一定値以内になるようにドリルの切削ストローク、切削の送り速度を変化させると同時に各ドリルの戻り位置を基板外へ出すことにより切り粉の除去と冷却を図り、かつドリルの戻り速度を25.4 m/minと高速化し従来の2倍以上に生産性

図3 サーボ系の原理図

図4 従来加工法でのドリルへのスラスト負荷

図5 スミア (×400)

図6 内壁あれ (×400)

を向上させた。

さらに各ステップでの当板ずれによる穴位置精度の低下をなくす目的で、当板を押さえた状態で加工できるように考慮されている。

2.3 小径ドリル折れ検出

0.1mmのドリル折れ検出には、種々の方式を検討したが安定性に欠けると同時に、予知効果がまったくなかった。そこで図9に示すテレビモニタによる画像2値化処理方式を開発した。

ドリルの切削部に配置された光源によって生ずる穴あけ後の穴面積をイメージセンサでとらえ、その画像信号と正常面積を比較して、ドリル折れ、穴あけ状態の判定を行う方式である。本装置により0.1mmのドリル折れ検知、切込み量設定、加工状況の常時監視が可能になった（特許

USP 4667113）。

2.4 小径ドリル

小径穴あけでは、ドリルの剛性と切り粉除去性が大きな問題であり、各種のコンピュータ解析、加工テストにより先端および断面の最適形状を決定した。

また0.1mmドリルについては、素材粒度の微細化、組織の均一化およびCo添加量の最適化により抗折力500 kgf/mm²の高強度超硬合金を開発した。各種ドリル素材の特性を表2に示す。

図7 ステップ加工

図8 ステップ加工中のドリルへのスラスト負荷

図9 テレビモニタによる小径ドリル折れ検出装置

表2 ドリル素材の特性

材質* グレード	硬さ (HRA)	抗折力 (kgf/mm ²)	ヤング率 (10 ³ kgf/mm ²)	コバルト量 (%)	密度 (g/cc)
K 10	91~94	150~300	61	4~7	14.5~15.5
K 20	90~93	200~400	57	8~12	14.0~15.0
K 30	88~91	200~500	53	12~18	13.2~14.3

* JIS 規格

3. 技術の効果

3.1 穴位置精度

図10は1.6mmの6層板を3枚重ねでφ0.4mmの穴あけをした時の穴位置精度である。3枚目裏側でも穴数3000穴以内では3σで50μm以下であり、従来機に比べて大幅に改善されている。

3.2 穴品質

図11は3.1項の条件でのスミア発生率を示す。

穴数2500穴以内では発生率は15%以内であり、従来方式に比べて大幅に改善されている。穴品質状態を図12に示す。

3.3 生産性

図13は1.6mmの基板3枚重ねでのステップ数とヒット数の関係を示す。4ステップでも従来加工に比べてのヒット数の低下は30%以下であり、1~2枚重ねに比べて生産性は1.5~2.5倍向上する。

 図10 $\phi 0.4\text{mm}$ のステップ加工における穴位置精度

図11 穴数とスミア

スピンドル回転数: 80krpm
切込み: 0.01mm/rev
基板 FR-4: 両面基板
板厚: 0.27mm
穴あけ数: 3000穴

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

$\phi 0.1\text{mm}$ の穴断面

スピンドル回転数: 75krpm

送り

第1ステップ: 0.03mm/rev

第2ステップ: 0.02mm/rev

基板 FR-4: 8層

板厚: 1.6mm 3枚重ね

当板: 0.15mmアルミニウム

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

穴あけ数: 1500穴

 図12 $\phi 0.4\text{mm}$ のステップ加工穴断面

図13 ステップ数とヒット数の関係

4. おわりに

以上の総合的な技術開発により図12にて代表例を示すごとく、穴径 $0.1\sim 0.4\text{mm}$ 、アスペクト比 $10\sim 20$ の小径深穴を従来方法に対して2倍以上の高効率、高精度加工が実現できた。今後、エレクトロニクス分野での表面実装技術の発展、普及に大いに貢献できると考えられる。

参考文献

- 1) Y. Kanaya & K. Arai: Small Hole Drilling in

PWB Fabrication, Proc. Printed Circuit World Convention IV, 15, (1987. 6. 2).

- 2) H. Nakahara: Small Hole Drilling in Japan, Electronic Packing & Production, Feb. 1988.
- 3) 橋本三男ほか: 多層プリント配線板用高精度小径穴あけ機の開発, 日本機械学会誌, **91**, 834 (1988).
- 4) 金谷保彦, 荒井邦夫: プリント基板小径穴明機の開発, 昭和63年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, 第3分冊 (1988).
- 5) 金谷保彦, 荒井邦夫: 小径スルーホール穴明け技術, Semiconductor World 増刊号 (1988. 8) 76.