

微孔精密鑽孔 技術研究

程分喜、楊宏強、王洪
上海美維科技有限公司

摘要：機械鑽孔時，追求疊板數最多和鑽刀使用壽命最大一直是人們努力的方向。隨著產品的進一步微小化，直徑為0.15mm、0.10mm的微孔加工將成為半導體封裝基板製造技術的主打孔徑。本文對提升鑽頭使用壽命、疊板數問題進行了深入研究，使加工成本大幅度下降。

關鍵字：鑽頭壽命 微鑽頭翻磨 疊板數 特殊蓋板

1. 前言

隨著電子工業的飛速發展，特別是可攜式通訊產品更新換代週期的縮短，具有高性能、體小、質輕的諸如BGA、超小型的CSP、多晶片的MCP、SiP封裝、超多端子的FCBGA封裝方式逐漸成為器件主流封裝形式，這帶動了晶片的載體平臺—封裝基板製造業的興旺。基板製造過程中，孔作為連接層間線路的基礎，其加工質量和成本一直是企業控制的關鍵。PCB製造過程中常規孔徑（如 $\Phi 0.3\text{mm}$ ）的加工，其選用的加工參數、疊板數等技術指標實際上已是各企業公開的秘密，幾乎是業內共用，所以該過程的製造成本大相逕庭。而直徑在 $\Phi 0.15\text{mm}$ 、 $\Phi 0.10\text{mm}$ 及以下微孔的封裝基板製造的細節卻成為廠家保守的秘密，少有外人知曉。鑽孔參數、鑽頭使用壽命、疊板數等參數的選擇不當，將導致加工成本成倍增高，在利潤日漸緊縮的今天，這將嚴重影響公司的競爭力。基於此，美維開始了該項目的研究，以達到大幅度降低成本並保證品質的目的。

2. 主要加工及檢驗條件

基本的加工和檢測設備是進行科學研究的必備條件，我們在研究中整合了多家公司可利用的資源，如下所示：

主要加工設備：

HITACHIND-6N210E（20萬轉/分鐘）型日立高速鑽機

檢驗設備：

孔粗檢驗：EMIRM型讀數顯微鏡

孔位精度檢驗：HOLECHECK機

外觀檢查：100X放大鏡

3. 試驗用料方案設計

鑽孔的試驗研究是對人、機、物料、方法、環境進行優化組合，達到在保證鑽孔品質前提條件下，得到單支鑽頭的最大鑽頭使用壽命和疊板數，從而最大限度地降低製造成本，提升企業綜合競爭力。五個影響因素中，操作人員、鑽機設備、工作環境條件相對穩定，而物料和方法的選擇變數相對較大，是試驗研究的重點。

美維公司工廠作為半導體封裝基板的專業生產廠家，其絕大多數產品選材都為BT料，所以首先確定試驗材料為BT。試驗工作開始是選擇輔料，包括蓋板和墊板，同時對影響成本和品質最關鍵的鑽頭進行選擇，當鑽頭定型後再研究在一定條件下提升鑽頭的綜合利用率，確定能達到的水準。綜合考慮這些因素對加工品質和成本影響，關係到試驗成敗的關鍵。

3.1 蓋板

鑽孔中通常使用的蓋板材料是鋁片，一般厚度在0.15~0.2mm之間，作用是防止鑽孔後板面毛刺、鑽頭導向、降低加工溫度等，研究機構研究結果表明：該種鋁蓋板多適合於大於0.25mm直徑的孔的生產；小於0.2mm的微孔加工，普通鋁片無論在增加疊板數、提升鑽頭鑽孔數量還是提升鑽孔品質上都不能達到理想效果。

某公司生產的特殊鋁蓋板，它在結構上與一般鋁蓋板的差異在於：蓋板由兩層材料組成，一層潤滑層，一層鋁箔，潤滑層面對進刀方向。鑽頭下鑽過程中，得到了潤滑，減少了鑽頭與被加工孔孔壁間的摩擦，大大減少了熱源產生，使鑽頭溫度得以降低，因此它在改良鑽頭使用環境條件下，提高了鑽頭壽命、減少了膠渣、降低了孔壁粗糙度同時提升了孔位精度。由於潤滑層是水溶性的，在鑽孔後去潤滑層不會污染孔壁，不必增加特殊去

潤滑層介質的工藝處理。該種蓋板的結構及加工情況示意圖如下：

Coating Type	Lubricant	Aluminum	
LE800	30 μ	70 μ	0.10 mm ϕ
LE808F3	30 μ	80 μ	0.15 mm ϕ
LE810F	30 μ	100 μ	0.15 mm ϕ
LE810F2	30 μ	100 μ	0.20 mm ϕ
LE812F3	30 μ	120 μ	0.20 mm ϕ

圖1-1 特殊蓋板結構

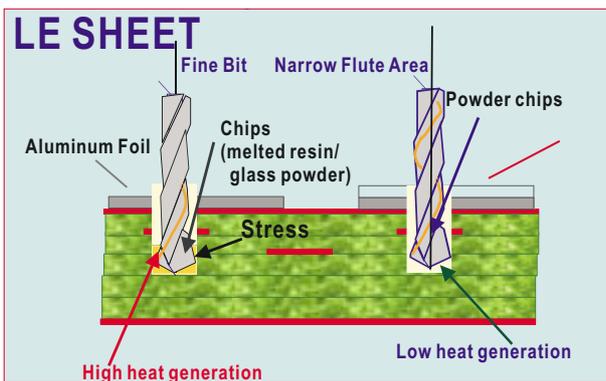


圖1-2 不同蓋板加工狀況

該種特殊蓋板相對於普通蓋板，其鋁箔厚度更薄，一般為150微米以下，有的甚至薄到50微米，鋁箔表面覆蓋的水溶性潤滑層，厚度在10-300微米之間，蓋板供應商根據不同孔徑需要研究出了不同系列蓋板，這些系列中主要有表面塗覆型、薄膜型和低嵌套薄膜型，其中表面塗覆型的潤滑層厚度較薄，而其餘兩者類型的潤滑層厚度大多在100---300微米之間。

下面是進行綜合試驗的先期採用T公司生產的0.15mm直徑鑽頭，鑽刀壽命設置為2000，分別採用普通鋁蓋板和上述特殊鋁蓋板，並在以前的參數條件下進行鑽孔，最後所做的一組孔位精度檢測結果對比。經孔位精度測量得到的統計結果為：左圖採用普通鋁蓋板，平均620個孔出現一個超出標準位置2MIL的孔，而右圖採用特殊蓋板，平均2222個孔出現一個超出標準位置2MIL的孔出現，可見該種特殊蓋板有利於提升孔位精度。同時表面品質也有所改善，試驗中綜合考慮各種因

素，最後選擇特殊鋁蓋板中型號為LE-810F2、812F3、808F3等sheet t0.1mm的蓋板作為後面的對應試驗用板。

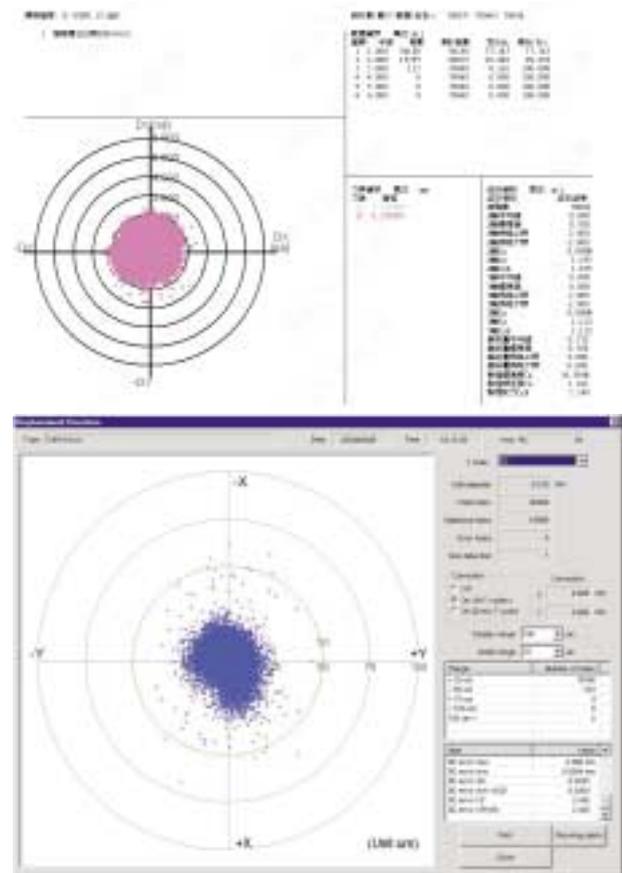


圖2 普通蓋板和特殊蓋板孔位精度圖

3.2 墊板

常用的墊板有兩種：酚醛樹脂板和紙質壓合板。由於紙墊板比較軟，而且平整度不高，易產生毛刺、排屑不暢，在本次試驗的微小孔加工中選擇平整度和排屑性都較好的厚度為1.5mm酚醛樹脂板為墊板。

3.3 鑽頭

鑽孔試驗中考慮成本和品質後的鑽頭選型尤為重要，不同生產廠商生產的不同直徑大小的鑽頭其用料和鑽頭的幾何形狀都有所不同，對大直徑孔的加工，不同廠家的產品性能差別不大，對微小孔加工用鑽頭，任何細節都會直接影響鑽頭使用壽命和加工品質，即使同樣型號但不同製造地的產品性能差異也非常大，試驗中選擇了S、U、T三家廠商生產的直徑為0.15mm和0.10mm微型鑽頭。

S公司的鑽頭在放大鏡下看，刃面和溝槽面都較粗糙，因此我們先對該鑽頭進行試驗，以便確定是否在後續試驗中繼續使用該廠家鑽頭，避免不必要的浪費。

試驗時採用直徑為 $\Phi 0.15\text{mm}$ 新刀和經過翻磨一次的刀進行，刀的壽命都設置為2500，在相同鑽孔條件下鑽孔，而後測試孔位精度，出現了異常的結果：新刀鑽孔後的孔位精度每114個孔有一個超過1Mil，而經過一次翻磨的刀則每217個孔有一個超過1Mil，見下圖：

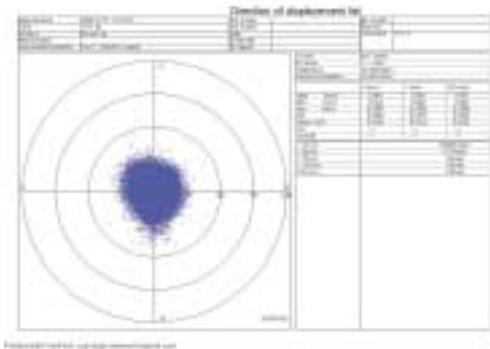


圖3-1 新刀孔位精度

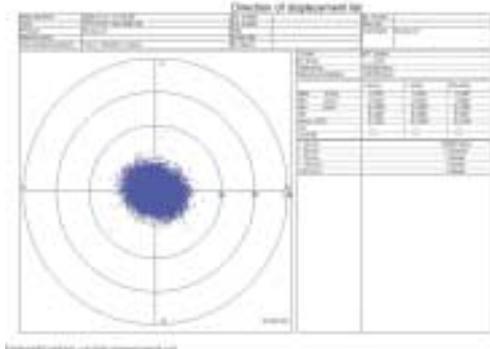


圖3-2 一次翻磨後孔位精度

對上面結果原因進行分析，通過對刀尖刃口等部位的檢查，發現新刀刃口太粗糙，溝槽也相當粗糙，從而影響了孔位精度，為了避免風險，暫時放棄該廠家鑽頭，等該廠家品質改良後再進行評定，後面的試驗選定T和U進行。

4. U、T鑽刀鑽孔參數及疊板數

對U、T兩廠家直徑為 $\Phi 0.15\text{mm}$ 和 $\Phi 0.10\text{mm}$ 的鑽頭進行系統性試驗，以便在兩家廠家中得到最高性能價格比的產品。試驗中選定的鑽孔參數、疊板數、主軸轉速、

下鑽速度等試驗條件如下表1所示。

No	Diameter	Maker	Stack Heights	Hit count	Spindle Speed	Infeed Rate	Retract Rate
-	Mm	-	mm	-	krpm	m/min	m/min
1	0.15	T	t0.4*3stacks	6000	200	2.2	25.4
2	0.15	U	t0.4*3stacks	6000	200	2.2	25.4
3	0.15	T	t0.1*7stacks	6000	200	2.2	25.4
4	0.15	U	t0.1*7stacks	6000	200	2.2	25.4
5	0.105	T	t0.1*5stacks	2000	200	2.2	25.4
6	0.105	U	t0.1*5stacks	2000	200	2.2	25.4

表1：試驗不同鑽刀的鑽孔參數與疊板數

4.1 孔位精度測試圖

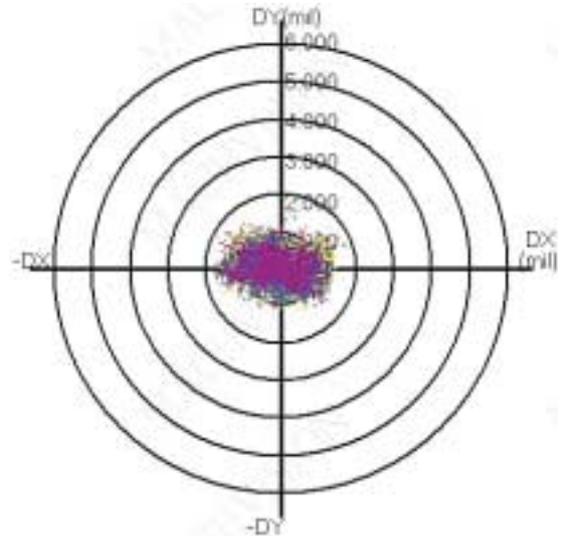


圖4 t0.4*3stacks* $\Phi 0.15*1000\text{H}*T$

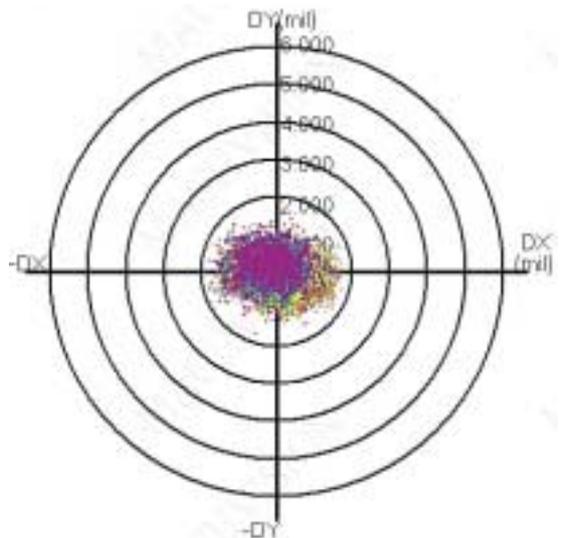


圖5 t0.4*3stacks* $\Phi 0.15*2000\text{H}*T$

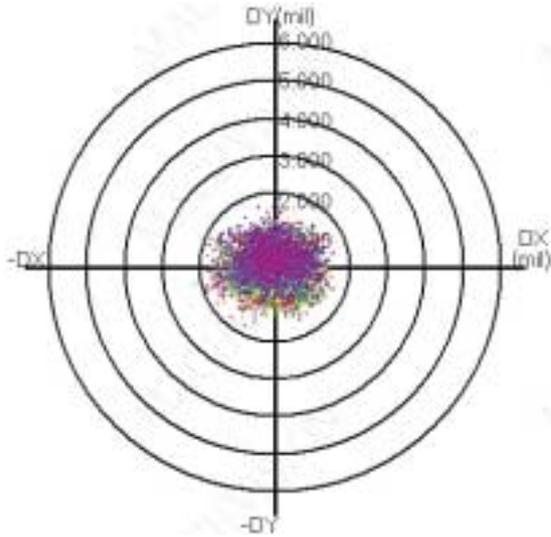


圖6 $t_{0.4} * 3stacks * \Phi 0.15 * 3000H * T$

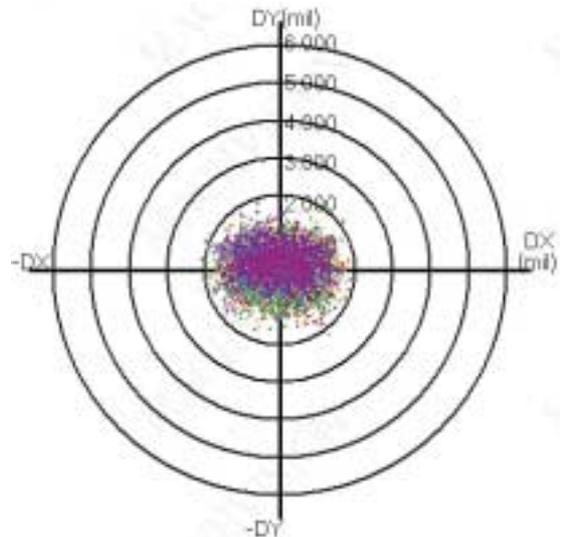


圖9 $t_{0.4} * 3stacks * \Phi 0.15 * 6000H * T$

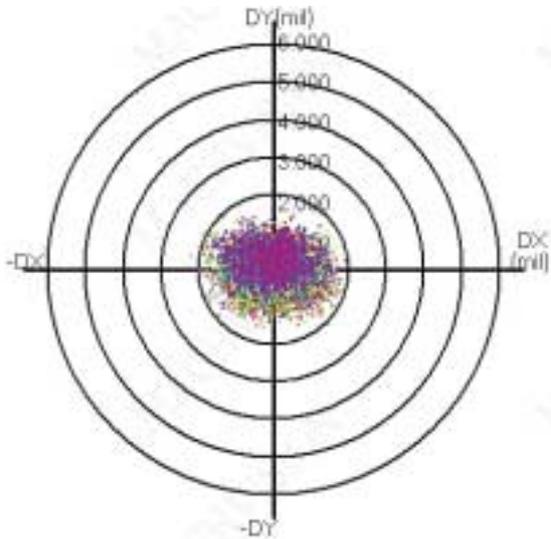


圖7 $t_{0.4} * 3stacks * \Phi 0.15 * 4000H * T$

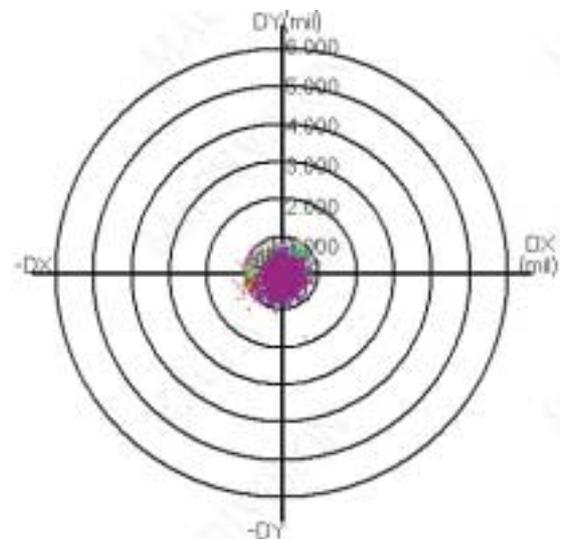


圖10 $t_{0.4} * 3stacks * \Phi 0.15 * 1000H * U$

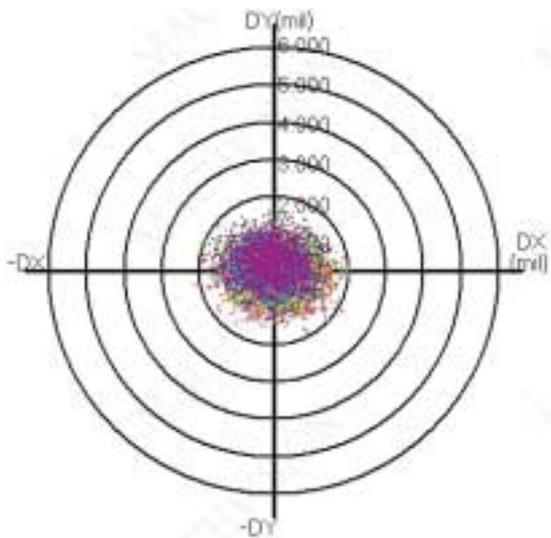


圖8 $t_{0.4} * 3stacks * \Phi 0.15 * 5000H * T$

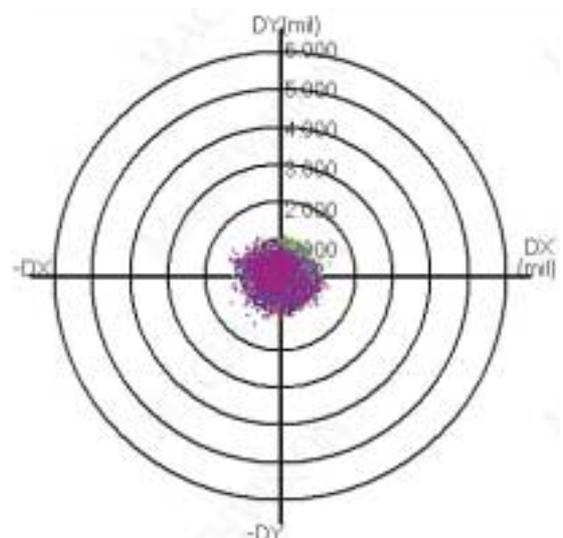


圖11 $t_{0.4} * 3stacks * \Phi 0.15 * 2000H * U$

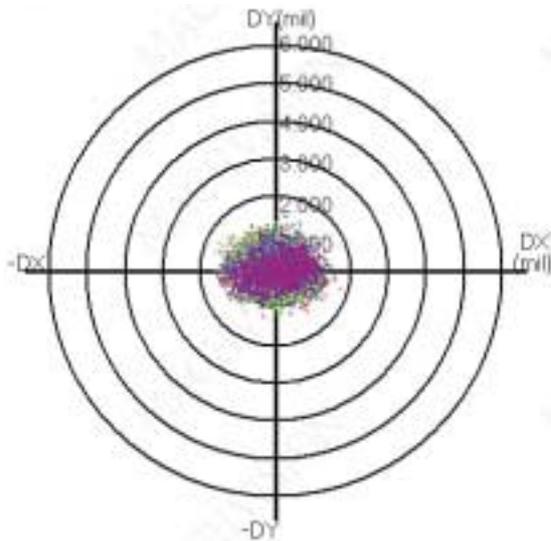


圖12 $t_{0.4} * 3stacks * \Phi 0.15 * 3000H * U$

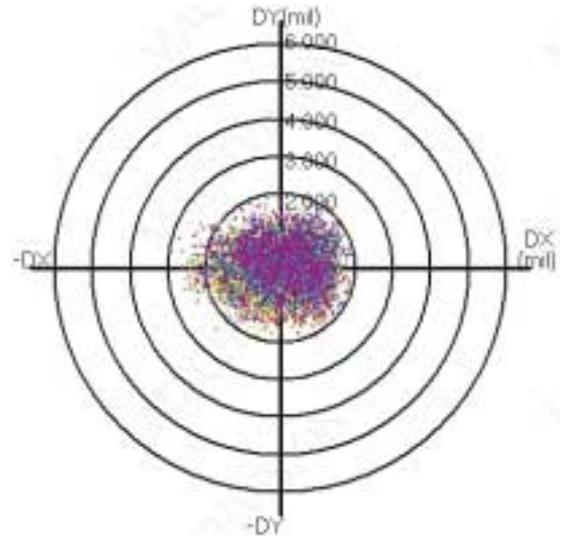


圖15 $t_{0.4} * 3stacks * \Phi 0.15 * 6000H * U$

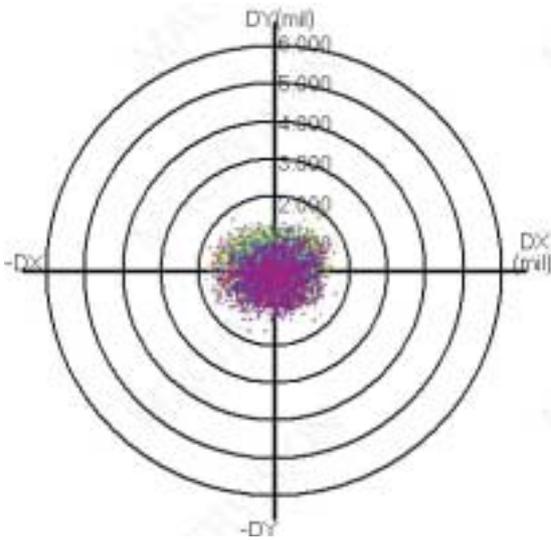


圖13 $t_{0.4} * 3stacks * \Phi 0.15 * 4000H * U$

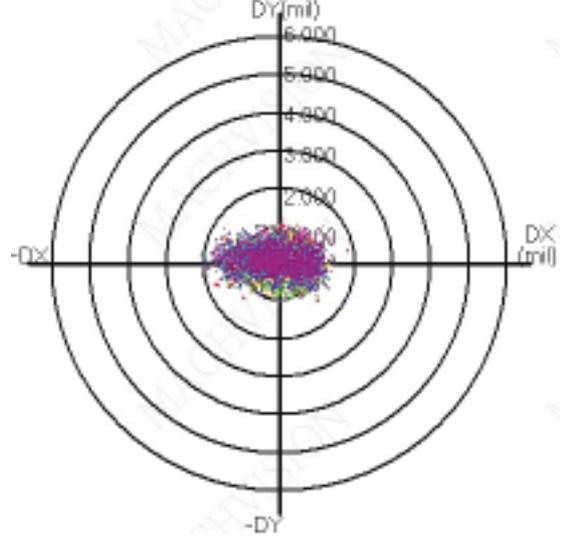


圖16 $t_{0.1} * 7stacks * \Phi 0.15 * 1000H * T$

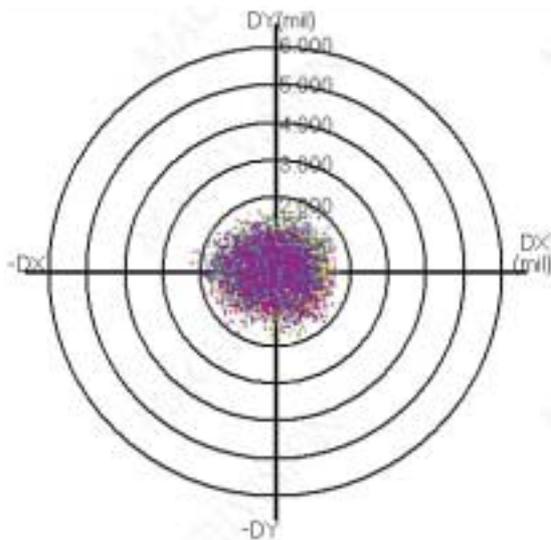


圖14 $t_{0.4} * 3stacks * \Phi 0.15 * 5000H * U$

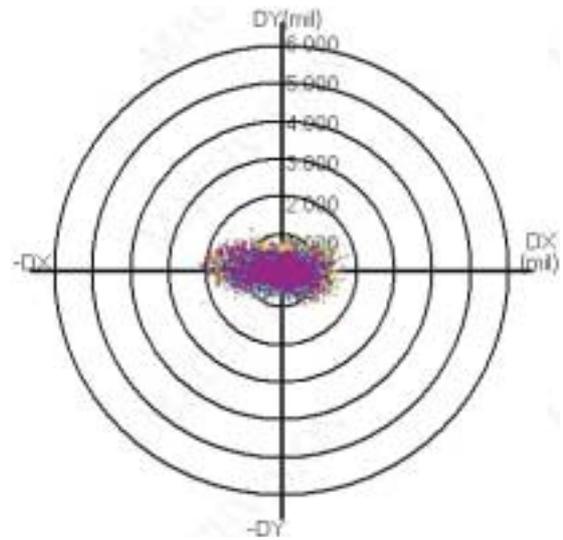


圖17 $t_{0.1} * 7stacks * \Phi 0.15 * 2000H * T$

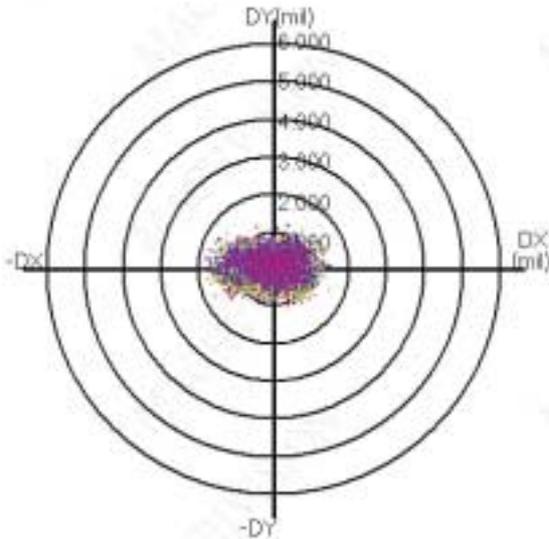


圖18 $t_{0.1} * 7stacks * \Phi 0.15 * 3000H * T$

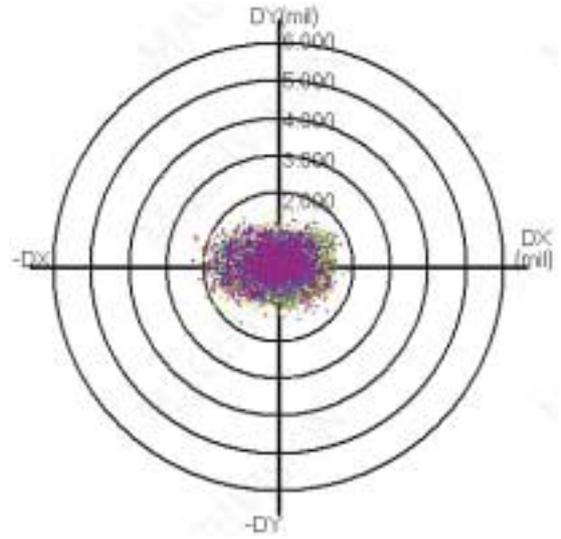


圖21 $t_{0.1} * 7stacks * \Phi 0.15 * 6000H * T$

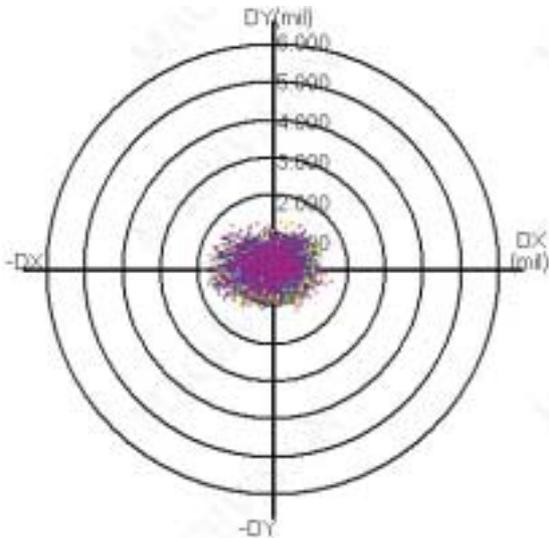


圖19 $t_{0.1} * 7stacks * \Phi 0.15 * 4000H * T$

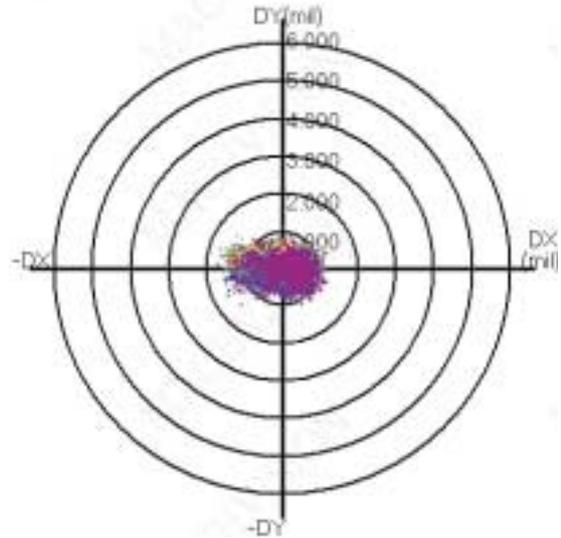


圖22 $t_{0.1} * 7stacks * \Phi 0.15 * 1000H * U$

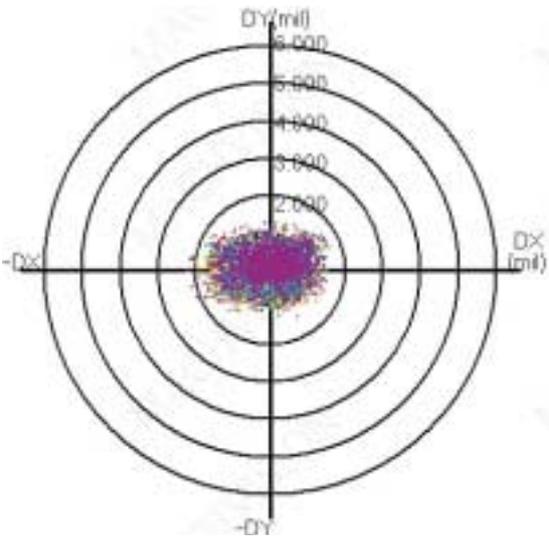


圖20 $t_{0.1} * 7stacks * \Phi 0.15 * 5000H * T$

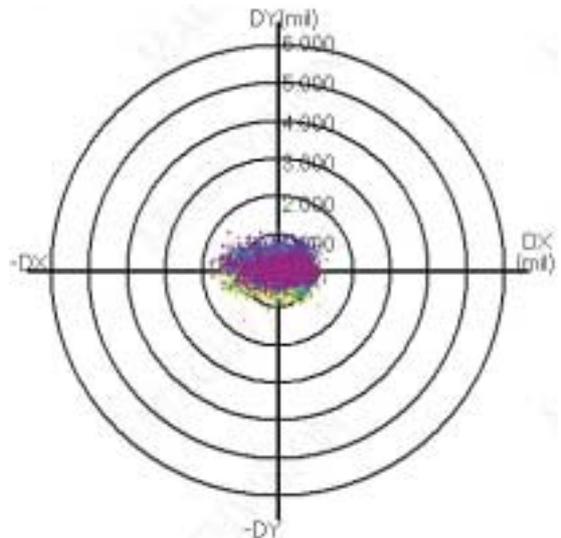


圖23 $t_{0.1} * 7stacks * \Phi 0.15 * 2000H * U$

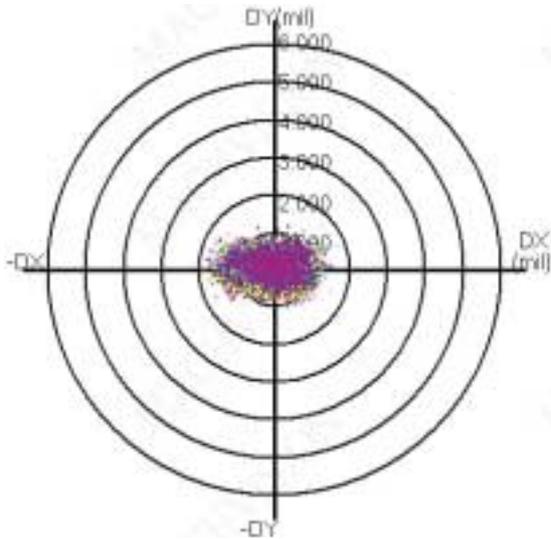


圖24 t0.1*7stacks*Φ0.15*3000H*U

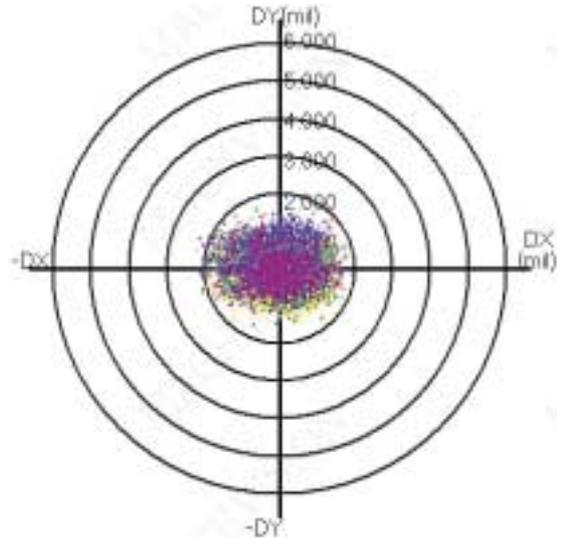


圖27 t0.1*7stacks*Φ0.15*6000H*U

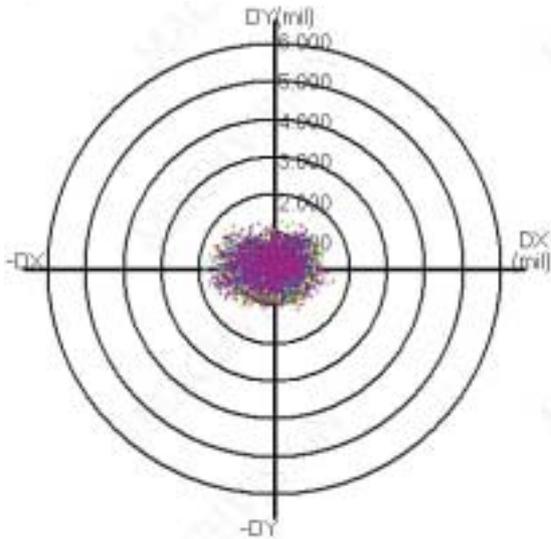


圖25 t0.1*7stacks*Φ0.15*4000H*U

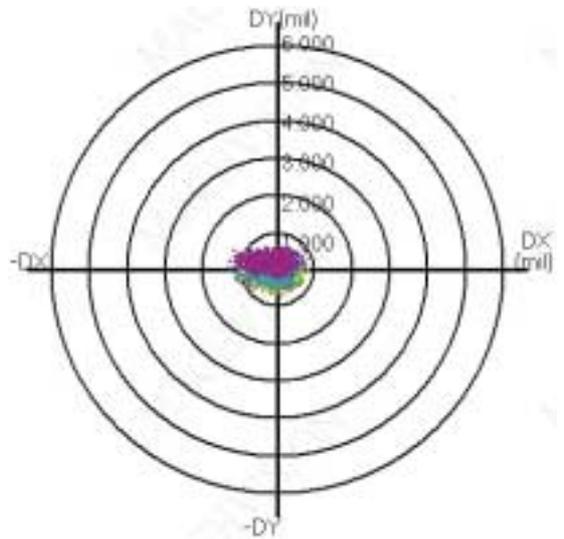


圖28 t0.1*5stacks*Φ0.15*1000H*U

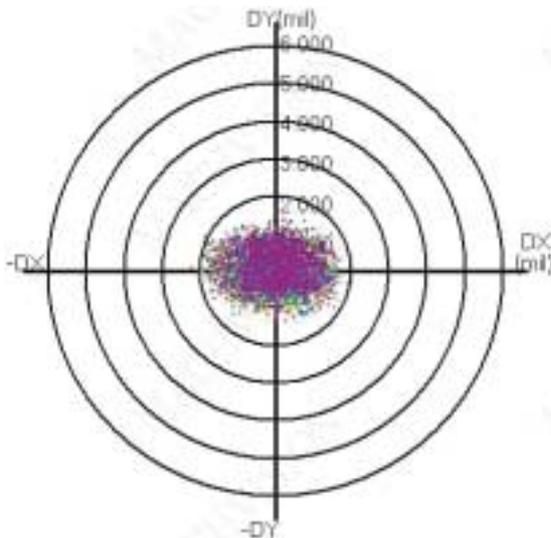


圖26 t0.1*7stacks*Φ0.15*5000H*U

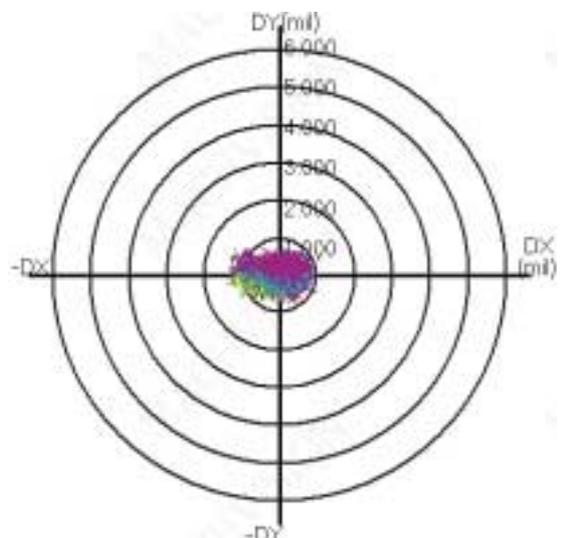


圖29 t0.1*5stacks*Φ0.15*2000H*U

TΦ0.105mm drill bit breakage occurs.

4.2 孔壁粗糙度和孔位精度測試結果

Item No	Maker	Hole Wall Roughness (本公司ec:≤25μm)			Hole Registration Accuracy (本公司ec:≤50μm)					
		2000H	4000H	6000H	1000H	2000H	3000H	4000H	5000H	6000H
1	T	7	10	14	100%	100%	99.98%	99.93%	99.93%	99.9%
2	U	8	7	12	100%	100%	100%	100%	99.92%	99.12%
3	T	5	6	6	99.97%	99.93%	-	-	99.95%	99.88%
4	U	6	5	5	100%	100%	100%	100%	99.97%	99.83%
5	T	/	/	/	/	/	/	/	/	/
6	U	3	/	/	100%	100%	/	/	/	/

表2：不同試驗條件孔位精度及孔壁粗糙度

4.3 分析

總體試驗結果看：U公司的 $\Phi 0.15\text{mm}$ 和 $\Phi 0.105\text{mm}$ 兩種類型鑽刀同T比較，在相同加工條件下，加工出的孔粗變化不大，但孔位精度U公司的鑽刀稍微優於T，在兩廠家的新刀試驗結果品質沒有明顯差異情況下，考慮兩廠家產品的價格和可翻磨性實際上成為影響最終加工成本的最主要因素。

5. U鑽刀使用挖潛

由於U鑽刀的售價明顯高於T，如果不考慮鑽刀的翻磨再利用，T在價格上無疑佔絕對優勢，但刀具的可翻磨性是決定使用價格的主要因素。經過多次試驗結果證明：T刀具的可翻磨性能較差。可翻磨性能甚至比S鑽刀的還差，下面是一組S鑽刀翻磨一次和T鑽刀翻磨一次，壽命設定為2000，鑽孔後孔位精度檢查結果圖：

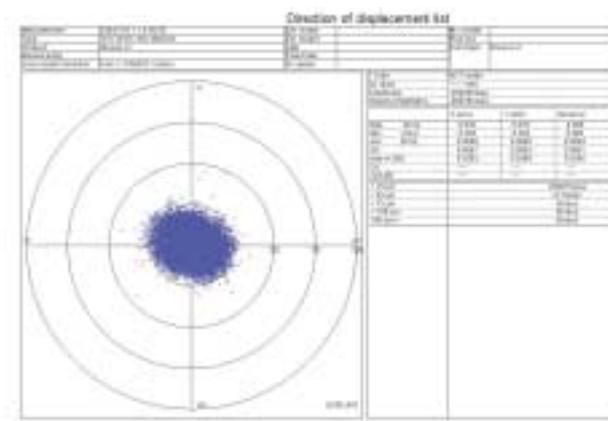


圖30-1 S翻磨一次孔位精度

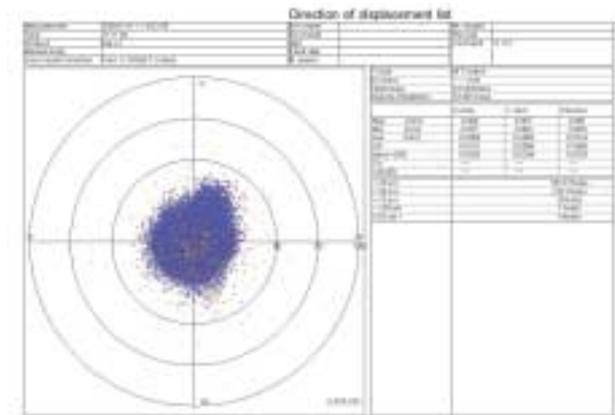


圖30-2 T翻磨一次孔位精度

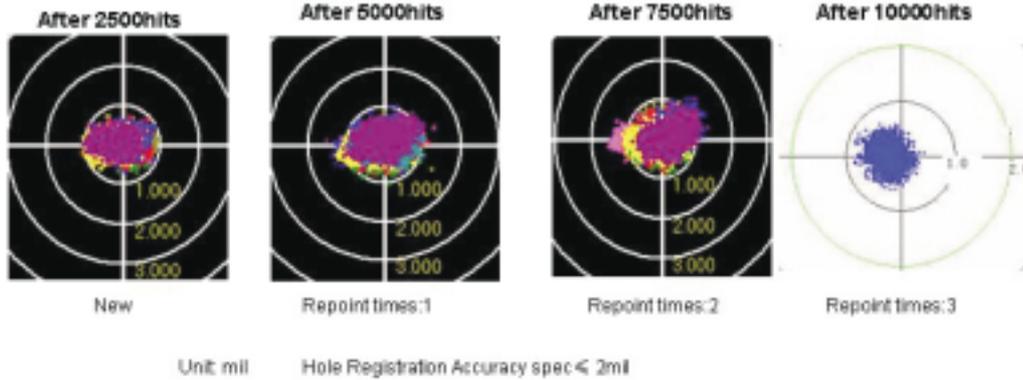
刀具翻磨的試驗結果知，S鑽頭翻磨後孔位置精度仍然控制在 ± 50 微米範圍內，而T刀具每2119個點出現孔位精度超出 ± 50 微米，孔位精度較差，故後面的試驗將致力於對U刀具的最佳利用，以達到最低的使用成本。

下面是採用U刀具經過多次翻磨，得到的試驗結果圖，圖中列出了相關的鑽孔參數、鑽孔條件：

可見：



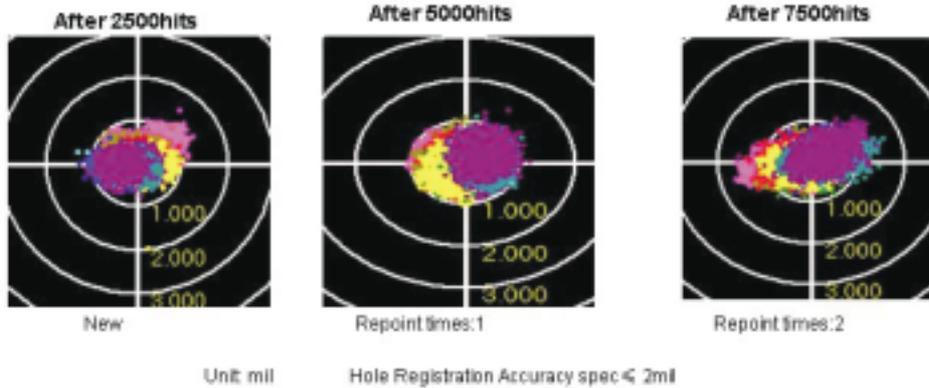
Φ 0.15 mm Drilling Hole Registration Accuracy



Drill Bit	U MD Φ 0.15 2 J422B
Panel	t0.1mm BT (2 layer) X 7 Stacks, Cu 7/7um
Entry Board	t0.1mm LE-812F3
Backup Board	t1.5mm Phenolic Board
Drilling Machine	HITACHI ND-6N210E
Spindle Speed	200kpm
Infeed Rate	2.0mm/min
Retract Rate	25.4mm/min
Minimum Depth	0.203mm
Hole Pitch	350um

圖31 Φ 0.15mm多次翻磨後孔位置精度圖

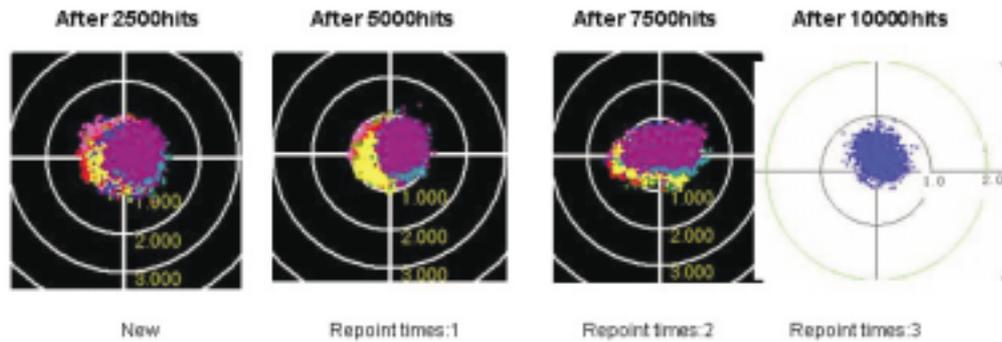
Φ 0.15 mm Drilling Hole Registration Accuracy



Drill Bit	U NEV Φ 0.15 2.5 E962S
Panel	t0.1mm BT (2 layer) X 7 Stacks, Cu 7/7um
Entry Board	t0.1mm LE-812F3
Backup Board	t1.5mm Phenolic Board
Drilling Machine	HITACHI ND-6N210E
Spindle Speed	200kpm
Infeed Rate	2.0mm/min
Retract Rate	25.4mm/min
Minimum Depth	0.203mm
Hole Pitch	350um

圖32 Φ 0.15mm翻磨後孔位置精度圖

Φ 0.15 mm Drilling Hole Registration Accuracy

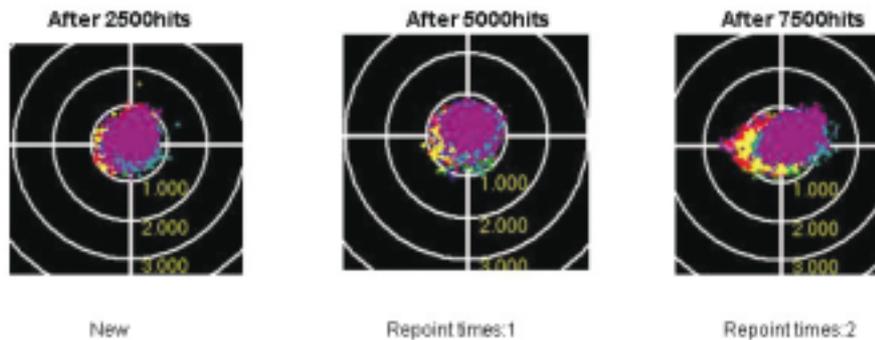


Unit: mil Hole Registration Accuracy spec: < 2mil

Drill Bit	U MD Φ 0.15'2 J422B
Panel	10.2mm BT (2 layer) X 5 Stacks, Cu 7/7um
Entry Board	10.1mm LE-812F3
Backup Board	11.5mm Phenolic Board
Drilling Machine	HITACHI ND-6N210E
Spindle Speed	200kpm
Infeed Rate	2.0mm/min
Retract Rate	25.4mm/min
Minimum Depth	0.203mm
Hole Pitch	350um

圖33 Φ 0.15mm翻磨後孔位置精度圖

Φ 0.15 mm Drilling Hole Registration Accuracy

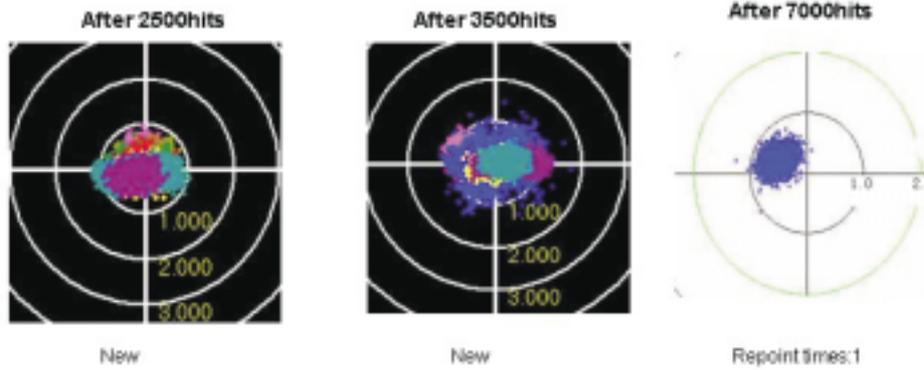


Unit: mil Hole Registration Accuracy spec: < 2mil

Drill Bit	U NEV Φ 0.15'2.5 E962S
Panel	10.2mm BT (2 layer) X 5 Stacks, Cu 7/7um
Entry Board	10.1mm LE-812F3
Backup Board	11.5mm Phenolic Board
Drilling Machine	HITACHI ND-6N210E
Spindle Speed	200kpm
Infeed Rate	2.0mm/min
Retract Rate	25.4mm/min
Minimum Depth	0.203mm
Hole Pitch	350um

圖34 Φ 0.15mm翻磨後孔位置精度圖

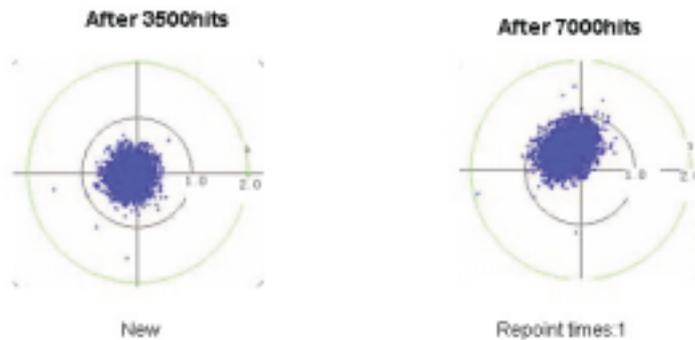
Φ 0.105 mm Drilling Hole Registration Accuracy



Unit	mil	Hole Registration Accuracy spec < 2mil
Drill Bit	U	NEVS Φ 0.105*1.5
Panel	t0.1mm	BT (2 layer) X 5 Stacks, Cu 7/7um
Entry Board	t0.1mm	LE-808F3
Backup Board	t1.5mm	Phenolic Board
Drilling Machine		HITACHI ND-6N210E
Spindle Speed		200kpm
Infeed Rate		1.5m/min
Retract Rate		25.4m/min
Minimum Depth		0.203mm
Hole Pitch		350um

圖35 Φ 0.105mm翻磨後孔位置精度圖

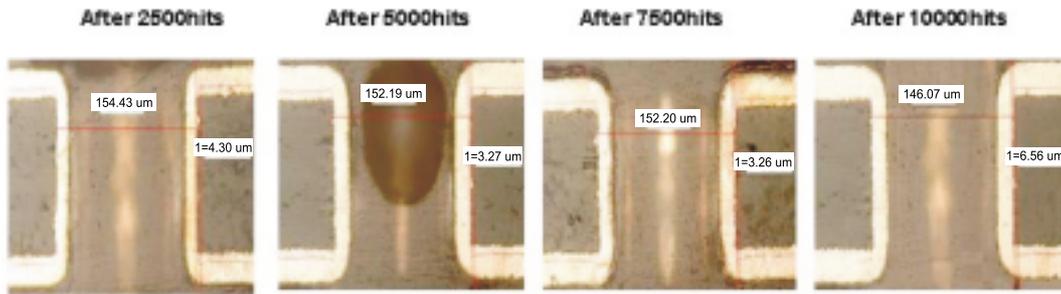
Φ 0.105 mm Drilling Hole Registration Accuracy



Unit	mil	Hole Registration Accuracy spec < 2mil
Drill Bit	U	NEVS Φ 0.105*1.5
Panel	t0.2mm	BT (2 layer) X 4 Stacks, Cu 7/7um
Entry Board	t0.1mm	LE-808F3
Backup Board	t1.5mm	Phenolic Board
Drilling Machine		HITACHI ND-6N210E
Spindle Speed		200kpm
Infeed Rate		1.5m/min
Retract Rate		25.4m/min
Minimum Depth		0.203mm
Hole Pitch		350um

圖36 Φ 0.105mm翻磨後孔位置精度圖

Φ 0.15 mm Drilling Hole Wall Roughness

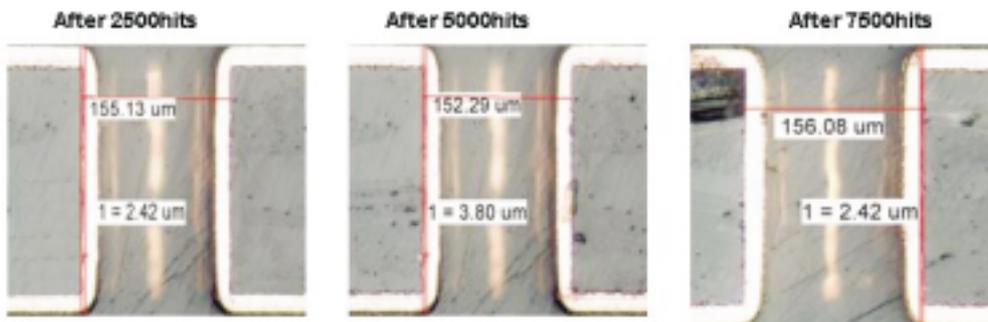


Unit um Hole Wall Roughness spec < 20um

Drill Bit	U MD Φ 0.15 2 J422B
Panel	t0.1mm BT (2 layer) X 7 Stacks, Cu 7/7um
Entry Board	t0.1mm LE-812F3
Backup Board	t1.5mm Phenolic Board
Drilling Machine	HITACHI ND-6N210E
Spindle Speed	200kpm
Infeed Rate	2.0m/min
Retract Rate	25.4m/min
Minimum Depth	0.203mm
Hole Pitch	350um

圖37 Φ 0.15mm翻磨後孔粗圖

Φ 0.15 mm Drilling Hole Wall Roughness



Unit um Hole Wall Roughness spec < 20um

Drill Bit	U NEV Φ 0.15 2.5 E962S
Panel	t0.2mm BT (2 layer) X 5 Stacks, Cu 7/7um
Entry Board	t0.1mm LE-812F3
Backup Board	t1.5mm Phenolic Board
Drilling Machine	HITACHI ND-6N210E
Spindle Speed	200kpm
Infeed Rate	2.0m/min
Retract Rate	25.4m/min
Minimum Depth	0.203mm
Hole Pitch	350um

圖38 Φ 0.15mm翻磨後孔粗圖

Φ 0.105 mm Drilling Hole Registration Accuracy

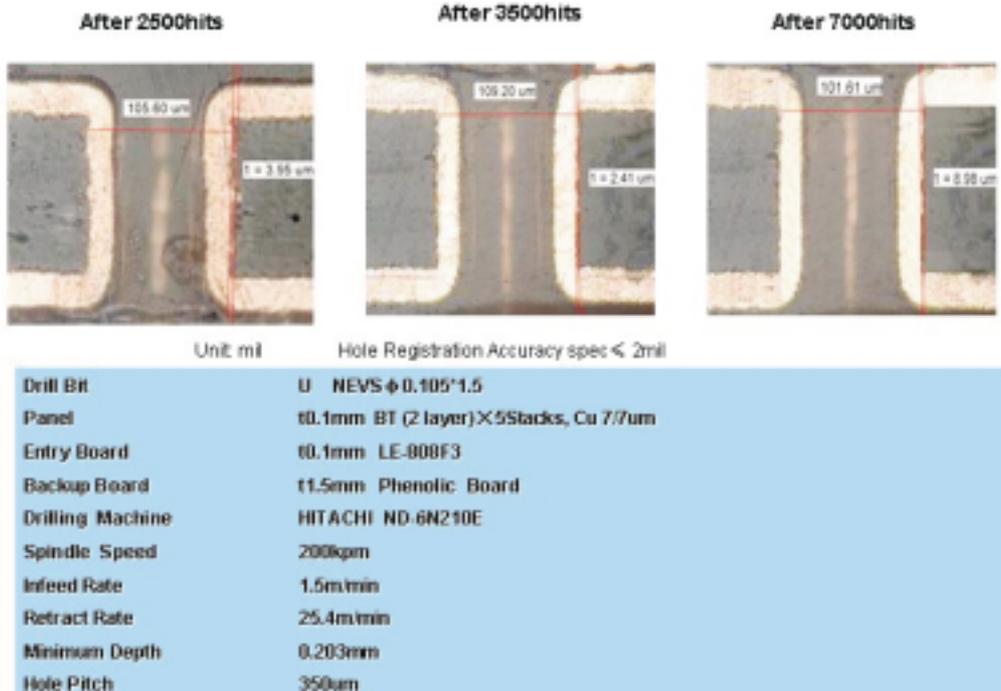


圖39 Φ 0.105mm翻磨後孔粗圖

Φ 0.15 mm Drilling Hole Registration Accuracy

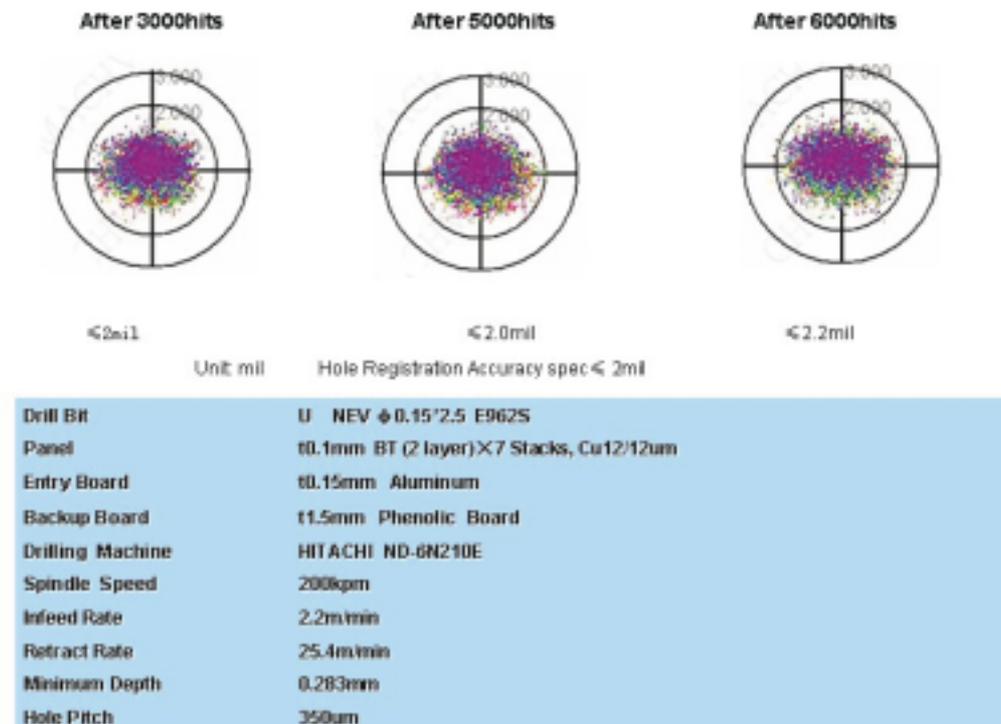


圖40 Φ 0.15mm不同壽命設置鑽孔後孔位精度圖

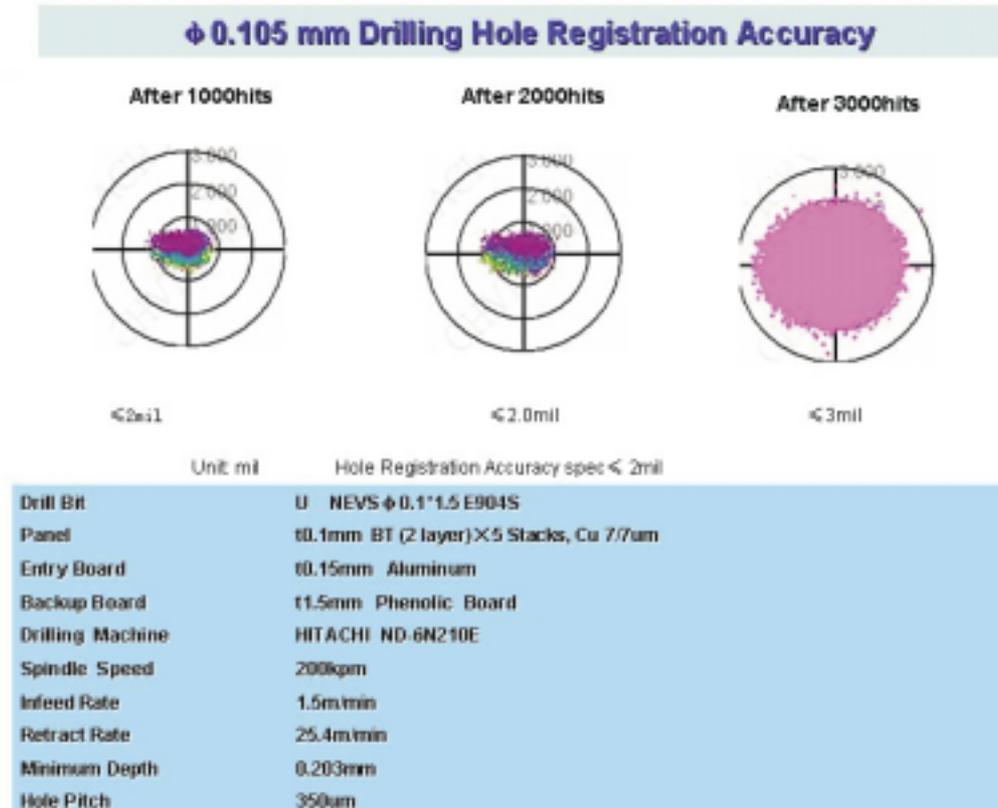


圖41 Φ 0.105mm不同壽命設置鑽孔後孔位精度圖

1. 從成本上分析：下面是U與T廠家直徑為Φ 0.15mm鑽刀製造成本對比，U明顯優於另外品牌：
2. 在人、機、物、法、環各影響因素中

Drillbit diameter (mm)	Board thickness (mm)	Drill-bit life		Stacks		Cost (RMB/10000hits)	
		T	U	T	U	T	U
0.15	0.1	2000	10000	5	7	18.14	4.18
	0.2	2000	10000	4	5	22.68	5.85

- A. 物佔最重要因素，關鍵是鑽刀本身的品質和研磨技術好壞。如：同是U廠的直徑為Φ 0.105mm鑽刀，不同型號得到不同結果。其次是輔料鋁片，LE-sheet鋁片明顯好於普通鋁片，適合於微小孔的機械加工。
- B. 機器佔第二大因素，鑽孔前的調整非常重要，Run out必須控制在10μm以內，設備的轉速關係密切。
- C. 其次是方法，合理的鑽孔參數直接影響鑽孔精度。鑽孔參數中落速為最主要影響因素，在考

慮效率的時候，微小孔的加工不宜過大追求落速。

6. 可靠性實驗

對直徑為Φ 0.15mm和直徑為Φ 0.10mm的孔進行可靠性實驗，實驗中採用新刀和經過不同翻磨次數的刀所加工的孔，在電鍍後進行漂錫可靠性測試，結果如下：直徑為Φ 0.15mm的新刀鑽孔2500個後，經過288度三次各十秒鐘的漂錫熱衝擊後微切片圖：

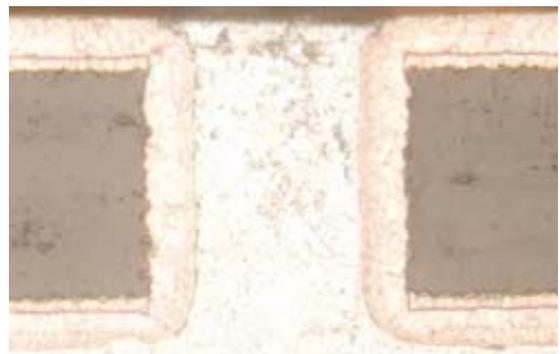


圖42 可靠性實驗切片圖

未見孔壁斷裂、分離、孔粗超限、拐角龜裂等可靠性缺陷，通過可靠性試驗。

直徑為 $\Phi 0.15\text{mm}$ 的鑽頭，翻磨一次後再鑽2500個孔，

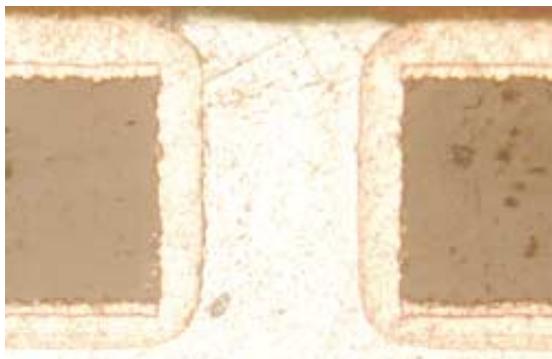


圖43 可靠性實驗切片圖

經過288度三次各十秒鐘的漂錫熱衝擊後微切片圖：

未見孔壁斷裂、分離、孔粗超限、拐角龜裂等可靠性缺陷，通過可靠性試驗。

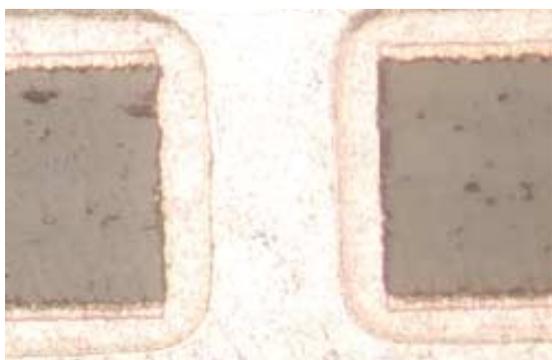


圖44 可靠性實驗切片圖

直徑為 $\Phi 0.15\text{mm}$ 的鑽頭翻磨二次後再鑽2500個孔後，

經過288度三次各十秒鐘的漂錫熱衝擊後微切片圖：

未見孔壁斷裂、分離、孔粗超限、拐角龜裂等可靠性

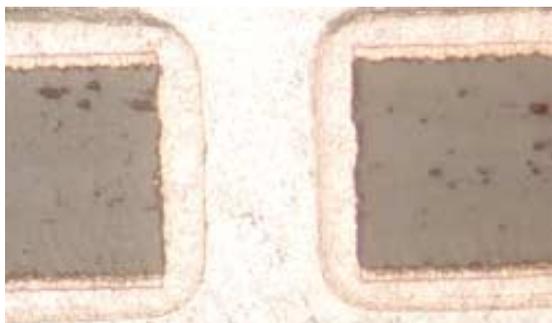


圖45 可靠性實驗切片圖

缺陷，通過可靠性試驗。

直徑為 $\Phi 0.15\text{mm}$ 的鑽頭翻磨三次後再鑽2500個孔後，

經過288度三次各十秒鐘的漂錫熱衝擊後微切片圖：

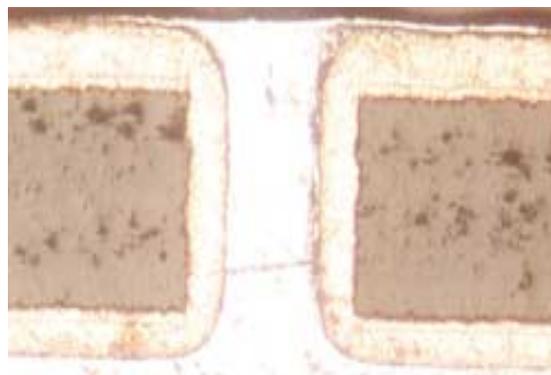


圖46 可靠性實驗切片圖

未見孔壁斷裂、分離、孔粗超限、拐角龜裂等可靠性缺陷，通過可靠性試驗。

直徑為 $\Phi 0.10\text{mm}$ 的新刀鑽2500個孔後，經過288度三

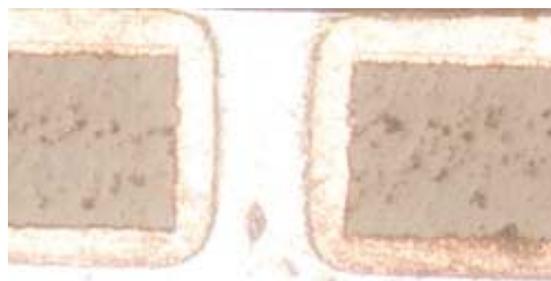


圖47 可靠性實驗切片圖

次各十秒鐘的漂錫熱衝擊後微切片圖：

未見孔壁斷裂、分離、孔粗超限、拐角龜裂等可靠性實現缺陷，通過可靠性試驗。

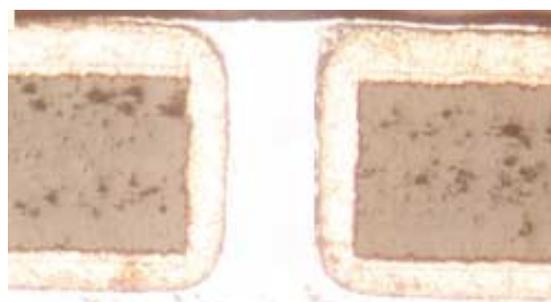


圖47 可靠性實驗切片圖

直徑為 $\Phi 0.10\text{mm}$ 的新刀鑽3500個孔後，經過288度三次各十秒鐘的漂錫熱衝擊後微切片圖：

未見孔壁斷裂、分離、孔粗超限、拐角龜裂等可靠性缺陷，通過可靠性試驗。

直徑為 $\Phi 0.10\text{mm}$ 的鑽頭翻磨一次後再鑽3500個孔後，經過288度三次各十秒鐘的漂錫熱衝擊後微切片圖：

未見孔壁斷裂、分離、孔粗超限、拐角龜裂等可靠性缺陷，通過可靠性試驗。

可見，所有新刀和經過多次翻磨後的刀，鑽孔並電鍍後的可靠性檢驗都通過了。

7. 結論

專案研究小組對微小孔成孔技術進行了系統性地研究，在保證鑽孔品質的條件下對疊板數和單支鑽頭的最大鑽

