マイクロドリルの表面改質

木 幡 護*

*東芝タンガロイ(株) 特品事業部 (〒230-0027 神奈川県横浜市鶴見区菅沢町 2-7)

Surface Modification of Micro Drills

Mamoru KOHATA*

*Material and Component Development Dept., Toshiba Tungaloy Co., Ltd. (2-7, Sugasawa-cho, Tsurumi-ku, Yokohama-shi, Kanagawa 230-0027)

Key Words: Micro Drills, PVD, DLC

1. はじめに

超硬合金切削工具の分野では、CVD 法や PVD 法を使った硬質セラミックス膜が開発され工業的にも広く普及している。特に PVD 法は、CVD 法よりも低温処理であること η 層のような脆弱層が形成されないことや刃先などシャープエッジ品の工具に応用できることから急速に増加している。最近の傾向としてドリル、エンドミルなどの汎用工具では、環境問題から切削油を使用しないドライ加工が望まれより耐熱性のある TiAlN 膜が使われている。穴明け工具であるドリルの対象となる被削材は金属、セラミックス、化学繊維、半導体実装用プリント基板など多種多様にわたっている。この中で小径ドリル(概ね φ 1 mm 以下)は、年間数千万本の使用量と予想されているが、そのほとんどがプリント基板用に使用されている。

プリント基板における穴明け加工は最初の工程であり、ここでの品質は後の工程にも影響を与える重要な部分である。プリント基板に求められる穴明け加工における問題点、小径ドリル(マイクロドリル)に求められる性能に関する解説を含め、最近注目されているコーティング処理のなどを含め報告する。

2. 穴明け加工における諸現象

マイクロドリル(以下ドリルとよぶ)の穴明け加工における穴位置精度はプリント基板の品質を左右する重要な要素である。穴明け精度に及ぼす因子としては、ドリル形状、切削条件、プリント基板の種類など多岐の項目があげられる。プリント基板用ドリルを正しく認識するためには、これら穴明け加工時における諸現象を理解する必要がある。

プリント基板は、紙またはガラス繊維の絶縁材料をベースにエポキシ樹脂やフェノール樹脂を混合した板に片面ないしは両面に銅箔を接合した積層板である。フェノール樹脂やエポキシ樹脂はベンゼンなどから合成される樹脂で比較的熱に強い熱硬化樹脂である。これ以外にもより耐熱性に優れるポリミドやフッ素樹脂なども使用されており、搭載する電子機

器の高性能化、小型化、軽量化にしたがって変化して行くことも予想される。

一般にドリルの芯厚、芯厚テーパを大きくした形状にする と回転による振動が抑えられるため、被削材の食いつきが良くなり穴位置精度は向上するが、同時に切粉の排出経路が狭くなるため、切粉の排出性の低下を招くこともあり、このバランスが重要になってくる。

ドリルで穴明け加工した際に発生する、加工穴の内壁面のえぐれやむしれといった現象を内壁粗さと呼ぶ。この内壁粗さはクラックの起点になるため重要視されている。このむしれの主な原因は、ドリル刃先の切れ味や芯厚のサイズによるスラスト荷重と切粉の排出性悪さによる切粉と穴内壁との接触によるもので、内壁面を重視する場合は切削抵抗が小さく、切粉の排出性に優れる形状の工具を選択する必要がある。

その他、加工時にスミヤやネイルヘッドと呼ばれる、加工欠陥も生成する。スミヤはエポキシ樹脂などが加工時溶融し穴内壁銅箔部に付着し、回路の導通不良の原因となる場合がある。これは、穴明け加工時に発生する熱が最も大きな原因となるため、ドリルの選定ではこの熱の発生を抑制するため形状や加工条件などに注意が必要になる。

ネイルヘッドとは、穴明け加工時のスラスト方向の力により銅箔が穴の縦方向に延ばされた状態を言う。刃先の摩耗などにより切れ味が悪くなった状態で発生しやすく、基板の内装銅箔と樹脂の密着性などにも影響される。

3. ドリルの材料特性

ドリルの刃先の摩耗が進行するとスミヤの発生や穴内壁面の粗さなどに悪影響を与えるため、プリント基板の穴明け加工として求められている性能は、ドリルの切れ味を持続させることにある。

したがって、ドリル工具材料の特性としては、シャープエッジに加工してもチッピングが発生しない刃先であること、さらには高い耐摩耗性(高硬度)を有していることなどが求められている。

ドリルで加工されるプリント基板は、ガラス繊維、エポキ

図1 ドリルの形状と各部位の名称および刃先の種類¹⁾

シ樹脂、銅箔など数種類の材料で構成される積層構造からなっている。この中で、ガラス繊維はエポキシ樹脂よりも硬く、ドリルの摩耗をより早く進行させる。また、ガラス繊維およびエポキシ樹脂は切削現象から見ると何れも脆い材料で切削抵抗は小さく、切削温度も金属などよりも低い。

一方、銅は軟質材料であるが溶着性のある金属のため切削抵抗は大きく、切粉も長く伸び切削温度も高くなるなど前者と比較すると切削特性が大きく異なる。

したがって、これらプリント基板時の切削の特徴からドリルに求められる材料はドリル径や切削速度などの切削条件に対応するため数種類のものが必要とされてきている。

ドリルの材料としては、通常超硬合金(WC基Co合金)が使用されている。ドリルは小径化になるにしたがって強度が低下(折損しやすくなる)するため、汎用の切削工具などに使用される超硬合金よりも微粒な粉末を使った超微粒超硬合金(粒径が1 μm以下)が採用されている。また、超微粒超硬合金組成などもドリル径や切削速度など適用条件により硬度や抗折力など変化させた材料が選定される。そのため、超微粒超硬合金は、通常の超硬合金よりも高靱性でかつ高硬度が特徴になっている。

4. ドリル各部形状と切削性能

ドリルは各部の形状により切削性能が変わる。以下部位の名称と切削時の主要な役割を記載する(図1(a)参照)。

- 1) ネジレ角：切削抵抗の低減と切粉の排出性
- 2) 先端逃げ角：スラスト抵抗の低減と逃げ面摩耗の改善
- 3) 先端切れ刃形状(先端角, 先端逃げ角, 芯厚)：切削抵抗や切粉の形状, 穴位置精度
- 4) 芯厚, 溝幅比, 溝長：耐折損性, 切削抵抗, 切粉の排出性, 穴位置精度
- 5) 溝幅, 溝長：耐欠損性, 切粉の排出性, 穴位置精度
- 6) マージン幅, マージン長：加工内壁面粗さの改善, スミアの発生低減

5. マイクロドリルの種類

マイクロドリルは、ストレートシャンク径が一定のφ3.172mm(1/8インチ)で、ドリル径が変化するルーマ型

ドリルである。タイプは図1(b)のようにアンダーカットとストレートの2種に分類される。ドリルの全長は、38.1mmでドリル全体が超硬合金のソリットタイプと刃先のみが超硬合金の2種ある。ドリル径は年々小さくなり標準ではφ0.1mmまでで、最近ではφ0.05mm超小径ドリルも出現している。

6. 当て板の影響

プリント基板の穴明け加工時には当て板や捨て板を使用するのが一般的である。ここが汎用ドリルと大きく異なる点である。この板の材質および厚さは穴位置精度やバリ, スミアなどに影響を与える。

7. コーティング工具の現状と問題点

プリント基板用ドリルは超硬合金の材料開発や刃型形状などを改良することで基板材料の進歩に対応している。汎用ドリルではPVD法によるコーティング膜は、すでに工業的にも実用化されており、再研磨・再コートのリサイクルビジネスとしても普及している。

この硬質セラミックス膜をプリント基板用ドリルに採用することが種々の手法で検討されているが、工業的には、まだ確立されていない。

小径ドリルの分野にコーティング処理が普及しない理由としては、処理コスト(基材の割にコーティング費用が高い)の問題以外にドリルの研削加工面の品位やサイズ(小さい)などに起因するためで、いまだにコーティング条件が模索段階である。一部市場に出ているものもあるがその数量は1%にも満たない。

試作品レベルでは、DLC(ダイヤモンド状炭素)膜, TiN膜, TiAlN膜などが市場に出ているが、何れもノンコート品と同等程度の性能でコーティングの効果はほとんど見られない。図2はPVD法でDLC膜をコーティングしたドリルの切削試験の一例でドリル先端の損傷状態を示している。左側2枚がノンコート品, 右2枚がDLC膜をコーティングしたものである。ここでは切削初期に膜がはく離(右側2段目ドリル先端が白い部分)が見られる。皮膜の密着性に問題があることが分かる。

図2 ドリル先端の損傷状態(上から加工前, 1 hits, 100 hits 下段 3000 hits)

ドリル PRM 030 L-Eφ 0.3×5.8, 被削材: FR-4(4 層板) 2 枚重ね
加工条件: 120000/min, 3.0 m/min, 25μm/rev, 加工数 3000 hits

図3 ドリル(φ 0.3)の膜の破断面写真
左側 TiN 膜(0.2μm)
右側 TiAlN 膜(3.2μm)

この試験では、穴位置精度、耐摩耗性などを比較してもノンコート品と DLC 膜(コート品)に顕著な差はなかった。

8. コーティングプロセスの問題点

ドリルへコーティングを行う手法としては、汎用の切削工具に多用されている AIP 方式(アークイオンプレーティング法)や HCD 方式(ホロカソードイオンプレーティング法)などがあげられる。膜種は、前述のように TiN 膜, TiAlN 膜, また最近 は DLC 膜 などが注目されている。TiN 膜, TiAlN 膜のコーティング皮膜の SEM 写真を図 3 に示す。

この膜はイオンプレーティング法で処理したもので、膜表面は結晶の成長面を反映して粗くなっていることが分かる。特に、AIP 法で作製した TiAlN 膜は、その特徴であるマイクロパーティクルが膜表面に突起物のように随所に見られる。

最近注目されているのが結晶構造持たない DLC 膜である。DLC 膜は非晶質のため、表面がスムーズで皮膜硬度も

mHv=2000~3000 と比較的高硬度であることが知られている。DLC 膜を作製する手法は種々あるが AIP 法, イオン化蒸着法(プラズマ CVD 法), スパッタ法などあり, 何れもコーティング温度は 200℃以下で行うのが一般的である。

DLC 膜中には大きな残留応力が存在することが知られている。この DLC 膜は、低温プロセスや残留応力などが原因で、他の膜では容易な厚膜化が難しく TiN 膜や TiAlN 膜よりも密着性に劣ることが知られている。

密着性を改善する手法としては、下地層に密着性改善のための高温プロセスによる金属系やセラミック膜を挿入した多層 DLC 膜や、皮膜の応力緩和の目的で皮膜中に Si や W など金属膜を入れた Me-DLC 膜などがある²⁾。

汎用の切削工具などで使用する条件でコーティングすると刃先のチッピングやはく離などが見られ膜厚も異常に厚くなる場合もあり、切削試験などの評価でも膜の効果はほとんど見られない。この傾向は、小径になるにしたがって顕著になる。

PVD コーティングのプロセスでは、ドリルに直流のバイアス電位を付加することで皮膜の密着性や膜厚制御をおこなっているが、小径のドリルなどの場合、このバイアス電位により局所的電界集中効果がおこりイオン密度が高くなり、ドリルの溶融や欠損などの不具合が起こる場合がある。

9. ドリル側の問題点

プリント基板用ドリルは、超微粒の超硬合金粉末を焼成して作製した丸棒から研削加工するもので、最近では刃径φ0.1mm 以下のものも出ている。小径になるにしたがって折損しやすく刃先のバリや加工キズが多くなりコーティングする立場から見ると多くの問題がある。

- 1) 小径で刃先がシャープエッジ品のため、バリ取りなどの洗浄前の処理がむずかしい。
- 2) コーティング前の超音波洗浄工程では、刃先のカケおよび欠損の懸念から洗浄が十分にできない可能性がある。
- 3) コーティング膜によりドリルの耐欠損性が低下する可能性がある。

10. ま と め

プリント基板用ドリルは、その形状や年々進化する基板材料に対応すべく改良が行われている。今後、この分野でコーティング技術が確立されるためには、ダイヤモンド膜のような高硬度で DLC 膜のような平滑で潤滑性に優れた高密着性の膜が望まれる。このためには、従来にないナノレベルの制御が可能なハード(装置開発)およびソフト開発が必要になると思われる。

(2002-9-2 受理)

文 献

- 1) 東芝タンガロイ(株)ミクロンドリルカタログ (2001)
- 2) 熊谷 泰; 表面技術, 52, 548 (2001)