



# プリント配線板穴あけ用マイクロドリルの動向

後藤 裕明

The Trend of Microdrills for Printed Circuit Boards — by Hiroaki Gotou — Printed circuit boards (PCB), widely used in electronic devices, have been increasingly improving in performance, cost effectiveness and miniaturization. This trend seems to continue for a while, and accordingly, further sophisticated microdrills are also required for precise drilling of PCB. We, at Sumitomo Electric Hardmetal Corp., have produced cemented carbide materials to be used for microdrills for many years, and commenced mass-production of special materials for composite-type microdrill parts ahead of others. Now, we are leading the market as the top manufacturer in this field. In response to diverse needs from users, we are aiming to develop high quality materials and expand the market share even further. In this report, the author describes the development of microdrill material, “Igetalloy,” along with the trend of microdrills.

Keywords: microdrill ,printed circuit board, Igetalloy

## 1. 緒言

現在、AV機器、家電、カメラ、パソコン、ゲーム機器、自動車等あらゆる電子機器にプリント配線板が使用され、電子機器部品の高性能かつ低コスト化、小型化の流れはとどまることがない。プリント配線板の穴あけ用として使用されるマイクロドリルのドリル径は小径化し、ドリル素材への要求特性も年々厳しくなっている。

当社は、長年にわたってマイクロドリル素材を製造しており、ここ数年で素材生産量を飛躍的に増加させ、全世界のトップシェアを占めるまでになった。

本報告では、イゲタロイ®マイクロドリル素材についての開発経緯と最新の動向について述べる。

## 2. プリント配線板穴あけの歴史と現状

**2-1 プリント配線板の歴史** 現在のプリント配線板の形に近い、絶縁板に金属箔を貼り付けた積層板型は1936年オーストリア人のPaul Eisherによって発明されている<sup>(1)</sup>。第二次世界大戦中は米国で軍事用電子機器の組み立て法として利用され、1950年代にはいるとトランジスタの実用化にともない片面プリント配線板として拡大していった。その後、一平面内配線から、両面配線、多層化配線と高密度化が進み、1980年代後半には厚さ0.4～0.6mmで10層以上の多層プリント配線板が多く使われるようになっていく。

最近では、基板材料の耐熱性向上のため難削材化した材料が使用されるようになってきており、穴あけの難易度が高くなってきている。図1に1975年以降の国内プリント配線板の生産金額の推移を示す<sup>(2)</sup>。

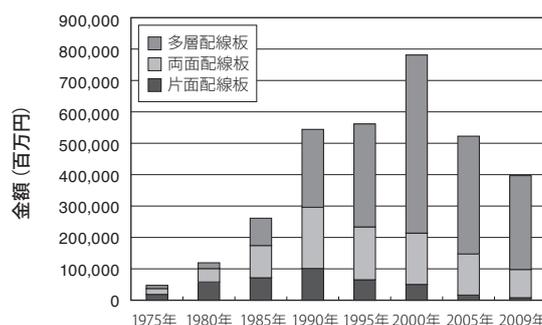


図1 国内プリント配線板生産額の推移

2000年以降の生産額が低下しているのは、プリント配線板の製造が海外へ流出したため、今や台湾、中国がプリント配線板業界における世界最大の製造拠点となっている。

**2-2 穴あけ加工の進歩** 第2次世界大戦後の穴あけは、卓上のボール盤で穴あけ位置を目視で確認しながら作業するものであった。1970年代に入り米国でカード式制御、紙テープ式NC制御の穴あけ機が開発され、ドリルについても規格化がなされていった<sup>(1)</sup>。米国で規格化されたため、寸法にはインチが用いられており、ドリルシャンクが1/8インチの3.175mm、ドリル全長が1.5インチの38.1mmが標準となっている<sup>(3)</sup>。最近になって高速回転用としてシャンクが2mmのメートル法のドリルも開発されている。図2にマイクロドリルの形状と名称を示す<sup>(1)</sup>。

3.175mmシャンクドリルは、かつては超硬ソリッドタイプが主流であったが、近年ドリル刃先部分だけが超硬で、

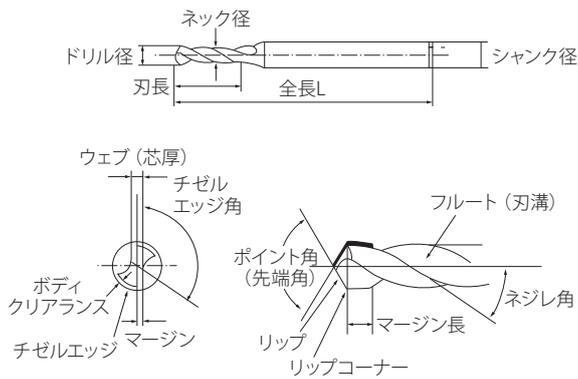


図2 マイクロドリルの形状と名称

ステンレス鋼シャンクにロー付けや差し込みしたコンポジットタイプに置き換わっている。コンポジットタイプドリルはコスト低減を目的に、高価な超硬の使用を抑えたドリルである。さらにコンポジットタイプに使用される超硬部分は、径が小径化、短尺化していく動きがあり、ドリルに占める超硬の体積は縮小化していつている。図3にドリル径の小径化の進展を示す。

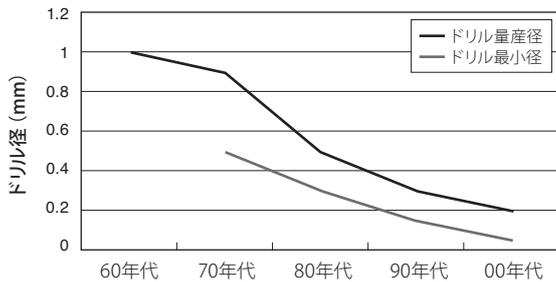


図3 マイクロドリル径の小径化

ドリルが小径化した場合、ドリル直進性確保のためにスピンドル回転数をアップする必要がある。近年、穴あけ機は高精度化、多軸化、高速化へと進化していき、スピンドル回転数の高速化により実用レベルでの高能率での穴あけ加工が図4に示すように実現している<sup>(3)</sup>。このような動向に対応すべく、超硬合金もその主成分である炭化タングステン (WC) を極限まで微細化した超硬合金の開発が進められ、WC最小粒径0.2 μmまで実用化されている。現在、実用化されている最小のドリル径は0.05 mmで髪の毛の太さ程度しかない。図2に示す芯厚は、ドリル径に対し40～50%であり<sup>(3)</sup>、ドリル径0.05 mmであれば芯厚は0.020～0.025 mmとなる。これは0.2 μmWCといえども、芯厚に並ぶWCの個数は100個に満たない。こうしたドリル径の小径化により、ドリル素材においては、微細レベルな品質管理が必要となってきた。

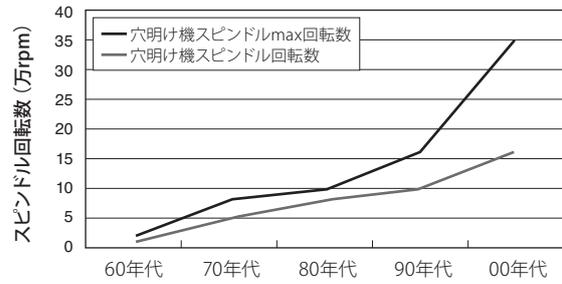


図4 スピンドル回転数の高速化

### 3. マイクロドリルへの要求特性

3-1 穴明け加工品質 プリント配線板における穴あけ工程は重要な工程であり、穴あけ加工品質が後工程のメッキ以降の品質に大きく影響し、配線板の信頼性に直結する。ドリル材種の特徴が穴あけ加工品質に大きな影響を及ぼすが、プリント配線板の高密度化、高多層化、材料の多様化、穴径の小径化、さらにコスト低減により、穴あけの難易度は年々増加し、ドリル材種も追隨していく必要がある。

3-2 穴明け加工でのトラブル 穴あけ加工で発生するトラブルで、ドリルの材種特性が要因となるものを列挙し、トラブル内容とそれに対するドリルへの要求特性を併記していく。

#### ①ドリル折損

ドリル折損は、基板を不良にする場合もあり、作業効率を低下させコストアップにもつながる。ドリルには、穴あけ時の負荷に耐えうる十分な強度が求められ、強度を著しく低下させる欠陥の存在は許されない。図5には、Co量およびWC粒度と強度 (抗折力) の関係を示す。

超硬合金の強度は、Co量15wt%程度まではCo量が多い程強度が増す。またWC粒度と強度の関係は、WC粒度が細かい程強度が高く、マイクロドリル材種には粒度が細かい超微粒WCが用いられる。

強度を低下させる欠陥としては、巣 (ポア)、異物や他材種の混入、η相やFCのカーボン値外れの異常組織、粗大WC粒、Coプールなどがあり、マイクロドリルでは、

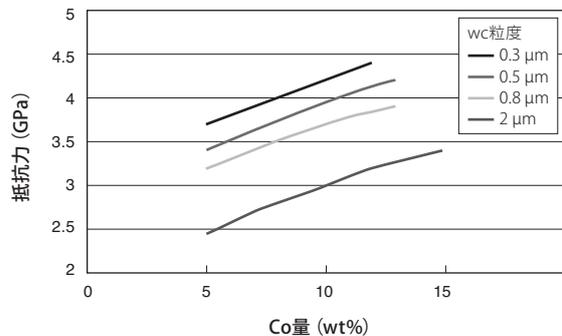


図5 Co量と抗折力の関係

これら欠陥を全て排除した無欠陥でなければならない。

### ②穴位置精度

穴位置精度は、基準穴の位置からのずれで評価され、(図6に例を示す<sup>(1)</sup>)、その精度は50 μm以下が要求される。穴位置精度は、穴あけ機スピンドルの振れやドリル形状の影響が大きい、ドリル材種としては剛性が影響を及ぼし、ヤング率の高い材種ほど穴位置精度が良くなる。図7にCo量とヤング率の関係を示すが、Co量が少ない程ヤング率は高くなり剛性が増す。

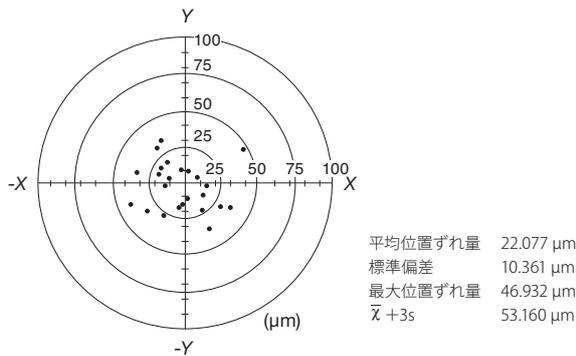


図6 重心法による穴位置精度測定

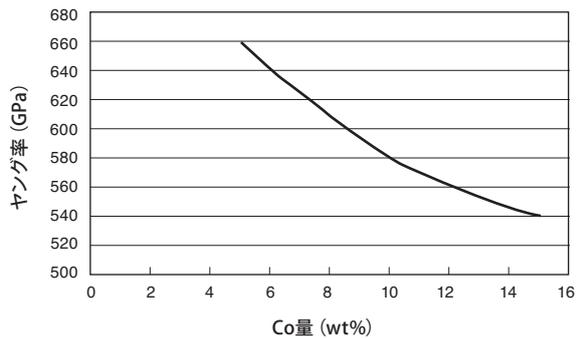


図7 Co量とヤング率の関係

### ③内壁粗さ

内壁粗さは、プリント配線板の構成材料であるガラス繊維が掘り起こされる現象で、内壁が粗いとメッキ不十分となり導通不良を引き起こすことになる。ドリル刃先摩耗やチッピングにより切れ味が低下すると内壁が粗くなるので、健全な刃先状態が維持されることが要求される。ドリルとしては、耐摩耗性(高硬度)と刃立ち性の良さが求められる。図8には、Co量と硬度の関係を示す。Co量が少ない程、高硬度となり、耐摩耗性も向上する。また硬度は、WC粒度の影響も受け、粒度が細くなるほど高硬度となる。ドリルの刃立ち性についても、WC粒度が細かい程良くなる。

抗折力、硬度、刃立ち性は全て、WC粒度が細かい超微粒材種が優れておりマイクロドリル材種に適しているが、短所としては破壊靱性値が粗粒に比べ劣る点がある。破壊

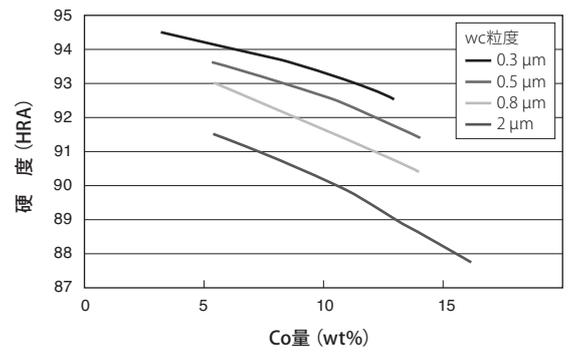


図8 Co量と硬度の関係

靱性値が劣ると、ドリルの場合、刃先のチッピングが発生しやすいことになる。硬度と破壊靱性値は図9に示すようにトレードオフの関係にあり、ドリル材種の選定では、両者の適正値を見いださなければならない。

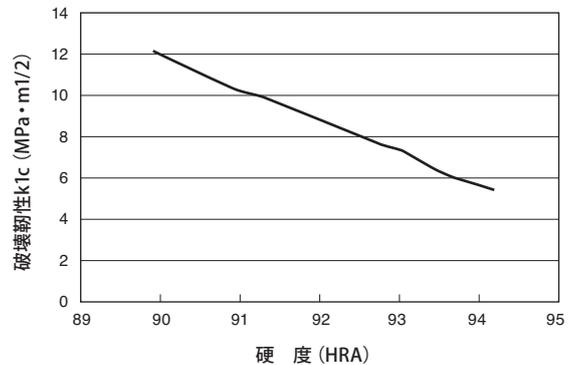


図9 硬度と破壊靱性値の関係

### ④スミア

スミアは、穴あけ加工時に発生する切削熱によって構成材料であるエポキシ樹脂が溶け、表面および内層銅箔に付着することで、メッキの被着不良を起こし導通不良となる。

スミアの発生要因は、ドリル形状、切削条件の影響が大きい、ドリル刃先が摩耗した場合にも摩擦熱により発生する。ドリルとしては内壁粗さと同じく、摩耗量が少なく健全な刃先を維持していく高硬度が必要となる。

**3-3 マイクロドリル材種の合金特性** 表1に穴あけ加工時のトラブルと関連するドリルの合金特性を、表2にはドリルの損傷形態と関連する合金特性を示す。穴明け品質に影響する抗折力、ヤング率、硬度の特性は全て超硬合金の組成(Co量)、WC粒度に影響され、穴あけ加工のトラブル、ドリルの損傷形態より適切な材種選定が必要となる。

近年では、高い信頼性が要求され、品質バラツキが少ないドリルが求められている。特に合金中に存在する欠陥によるドリル折損については、抗折力下限値をアップすることにより信頼性を高めることが要求されている。

表1 穴明け加工時のトラブルと関連する合金特性

トラブル	因子	合金特性
折損	強度	抗折力
穴位置精度	剛性	ヤング率
内壁粗さ	耐摩耗性、刃立ち性	硬度
スミア	耐摩耗性	硬度

表2 ドリル損傷形態と関連する合金特性

損傷形態	要因	合金特性
折損	強度	抗折力
チッピング	靱性	破壊靱性値k1c
摩耗	耐摩耗性	硬度

#### 4. マイクロドリル材種の変遷

4-1 現在までの経過 表3に1980年代のマイクロドリル材種の一覧を示す。当時のWC粒度の最超微粒は0.5 μmであった。その後、当社独自の直接炭化法の技術開発により、さらに粒度の細かい0.3 μmWCの量産技術が確立され、マイクロドリル材種に展開された<sup>(4)</sup>。直接炭化法は、酸化タングステン (WO<sub>3</sub>) から金属タングステン (W) を経ることなく炭化タングステン (WC) を得る方法で、高温にさらされる時間が短く粒度の細かいWCを製造するのに適した技術であり、コスト的にも優れている。現在は、0.2 μmまで細かいWCの量産技術も確立している。

表3 1980年代のマイクロドリル材種

材種	WC平均粒度	抗折力 (GPa)	硬度 (HRA)
	(μm)		
A1	0.5	4.2	91.4
F1	0.5	4.0	92.4
F0	0.5	3.6	93.6
H1	0.8	3.3	93.2
G1	0.8~2.0	3.1	92.3
K10H	0.9	3.4	92.4

また当時は、炭化タンタル (TaC) や炭化ニオブ (NbC) がWCの粒成長抑制剤として使われていたが、TaCは合金中で凝集しやすく、凝集した場合には破壊の起点となり強度低下につながる。TaCは高価でもあり、尚かつ価格高騰が過去に度々起こり、その後開発された材種に使用されることはなくなり、粒成長抑制効果がより強力なバナジウムカーバイド (VC) とクロムカーバイド (Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>)<sup>(5)</sup> が使用されるようになった。

4-2 現在のマイクロドリル材種 表4には、現在のマイクロドリル材種の一覧を示す。WC粒度は0.3 μm

が主流となり、0.2 μmも実用化された。この20数年間で、抗折力、硬度ともに下限値は向上し、図10に硬度-抗折力の関係で新旧の材種特性比較を示す。抗折力はより高強度へ、硬度はより耐摩耗性ある方向へ、ドリルへの要求特性に追随する方向へシフトしてきた。

現在0.2 μmWCについてはXF1の1材種のみだが、新材種開発を鋭意進めているところである。

この表の特性に現れない品質、例えば粗粒WCの存在数や合金カーボン値のバラツキについても確実に向上しているおり、次章に記載する。

表4 現在のマイクロドリル材種

材種	WC平均粒度	抗折力 (GPa)	硬度 (HRA)
	(μm)		
XF1	0.2	4.0	93.5
ZF20A	0.3	4.2	93.6
AF1	0.3	4.4	92.5
AF0	0.3	4.1	93.0
AFU	0.3	3.8	93.6
F0	0.5	3.6	93.6
HFO	0.8	3.5	93.0

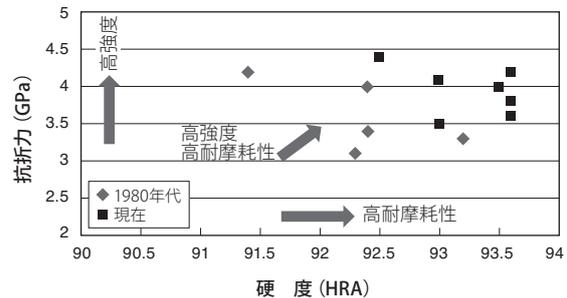


図10 マイクロドリル材種の進展

#### 5. 生産技術の進展

5-1 原料工程 超硬合金の重要なコントロール項目としてカーボン量がある。カーボン量が少ない場合はη相という金属間化合物を形成し機械強度を低下させ、逆に多い場合はフリーカーボン相 (FC相) と呼ばれる遊離炭素が生じ、同じく機械強度を低下させる。合金のカーボン量は焼結中に脱炭が生じ、原料配合時よりも低くなるが、この脱炭量はWC、Co原料の酸化量に大きく依存する。酸化はWC、Co粒度が細かい程進みやすく、粒度の細かいマイクロドリル材種は酸化しやすいグレードであり、カーボン量コントロールは超硬合金の中で最も難しい部類に入る。

図11にη相、FC相がないWC+γ相 (Co) の組織良好域を示すが<sup>(5)</sup>、良好域はCo量が少ない程狭くなる。例

例えばメイン材種であるAFUでは、合金中カーボン量の良好範囲の幅は0.1%以下という狭い領域である。所定組成で配合・混合した完粉では、後工程でのカーボン量バラツキを考えると、0.1%よりもさらに狭いコントロールが必要であり、現在の完粉のカーボン量はロット間バラツキ0.03%以内でコントロールしている。これは使用原料(WC、Co等)の含有酸素量と工程中の脱炭量データ収集と解析、工場内の温度・湿度コントロールにより実現している。これによって、製造するドリルのカーボン量のコントロール精度は格段に向上した。

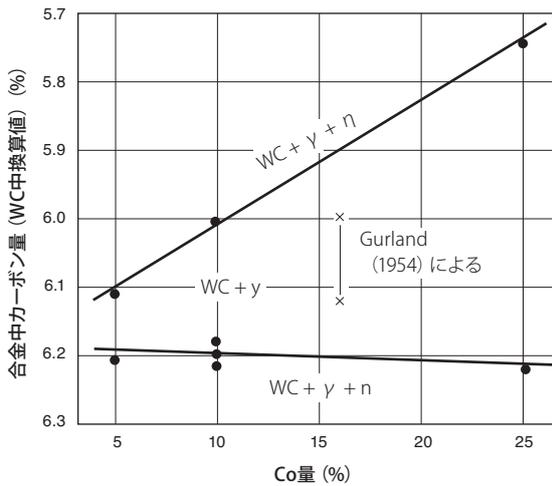


図11 WC-Co合金の組織良好域

## 5-2 造形

**5-2-1 製法** マイクロドリル素材の造形手法としては、プレス法と押出法の2つのプロセスがあるが、現在はドリルのコンポジット化と超硬部分の短尺化・小径化により適した押出法が主流となっている。プレス法は、ソリッドタイプの製法に限定されている。

**5-2-2 押出法** 押出法は、同一断面形状の長尺品を製造するのに適している。短所としては、添加するワックス分が多いため、プレス法に比べ収縮率が大きく、ポア(巣)を生じやすい点がある。しかし多量のワックス分は、WC、Co表面を覆い酸化防止の役目を果たし、プレス法に比べると脱炭が少なく、カーボン量が安定するメリットがある。プレス法では真円丸棒を製造するには、合金後にセンターレス加工を要すが、押出法では素材段階でほぼ真円丸棒を製造できるメリットもある。合金特性の面でも、プレス法と同等以上の特性を混練条件の最適化により実現している<sup>(6)</sup>。

**5-3 焼結** 焼結工程では合金中のカーボン量が決定され、完粉ではカーボン量一定でも、焼結工程で合金カーボン量のバラツキを生じてしまう。このバラツキは昇温過程の焼結炉内温度バラツキに起因し、重要なのはワッ

クス分を製品から抜く、脱脂中の温度分布である。脱脂中の炉内温度分布が大きいと、温度分布に従って炉内位置による脱脂開始の時間差が生じる。最初に脱脂が完了した製品は、遅れて脱脂された分を吸収しカーボン量が上昇してしまうことになる。輻射がない比較的低温の温度領域で、炉内温度分布を均一化するのは難しく、熱伝導の良いガスをキャリアガスとして使用する、あるいはガスで炉内圧を高めて熱伝導をよくする等の工夫を行っている。今後さらにバラツキを縮小させるには、ヒーター配置や加熱方法等、設備面での革新が必要だと思われる。

**5-4 HIP (Hot Isostatic Pressing)** HIPは、高温・高圧の不活性ガス下で合金中に存在する微少なポアを消滅させ、強度を飛躍的に向上させる処理である。HIPの効果が高いのは、WC粒度が細かい材種であり、マイクロドリルでは、折損に対する信頼性を向上させる必須の工程となっている。

HIP圧力は100 MPa前後が用いられてきたが、1990年代よりSinter-HIPの普及とともに低圧化が検討され、現在では9.8 MPaまたは6 MPaが多く使用され、ランニングコストの低減が図られている。当社ではArガスの回収やチャージアップの改善でさらにコスト低減を図っている。

**5-5 品質保証** マイクロドリル素材は、イゲタロイ<sup>®</sup>製品の中でも最も高品質な製品であり、厳密な品質保証が必要である。マイクロドリル素材の微小化に伴い、検査に用いるサンプルも微小化し、検査方法および検査機器はそれに対応していく必要がある。

比重測定では、0.1 mg単位までの精密な重量測定が必要である。φ2シャンク素材の場合、空中重量、水中重量どちらかの1 mgの誤差が規格外れになってしまうからである。水中重量測定の場合、サンプルの気泡付着や水温変化に細心の注意を払わなければならない。硬度測定では、ビッカース硬度で荷重を低減した測定を行っている。磁気特性においても測定機器は高性能化し、微小サンプルまで測定可能になっている。組織検査では、完粉品質向上および焼結改善により粗大WC粒、Coプール等の組織欠陥レベルも向上し、より厳しい規格で運用できるようになった。

量産品であるマイクロドリル素材では、全数検査を行うのは、膨大な労力と時間を要しコストアップに繋がる。抜き取り検査を効率よくかつ確実にを行うために、各工程でのバラツキを把握し、独自の品質保証システムを確立した。

## 6. 最新の最高品質マイクロドリル材種

最新の開発のZF20Aは、マイクロドリルの中でも最高品質の材種で、高いドリル信頼性を持つ。高いドリル信頼性とは、合金中の欠陥を限りなくゼロに近づけることであり、異物やポアといった初歩的な欠陥は無論、粗大WC、Coプールについて極限まで減少させたのがZF20Aである。

**6-1 粗大WCの低減** 粗大WC粒は、焼結中にオス

トワルド成長により出現することが知られている。小さなWC粒が焼結温度で液相Co中に溶解し、冷却過程で大きなWC粒表面で析出し大きなWC粒がさらに成長し、粗大粒になる現象である。オストワルド成長は高カーボン量合金ほど起こりやすいことから低カーボン量合金でのコントロールでオストワルド成長を抑制し、加えて均粒なWCを使用し、焼結工程では溶解・析出現象をコントロールする必要がある。

完粉時点で、低カーボン量でのコントロールとWC粒を均粒化する粉碎条件の改善、焼結工程では昇温スピードと最高キープ温度と時間、冷却スピードの最適化を実施した。

結果、従来は粗大WCのサイズは3 μm以上を対象としていたが、ZF20Aでは1 μm以上を対象として管理できるようになった。

**6-2 Coプールの低減** Coプールは、完粉の均質さ、プレス法ではプレス体の緻密さ、焼結条件に依存する。凝集の少ないほぐれやすい原料Coの使用、完粉でプレス圧力伝達を向上させる表面改質剤の添加、粗粒WC低減に同じく焼結条件の探索により、Coプールがない**写真1**に示す均質な組織を実現させた。写真中の黒点がCoでありZF20Aは均質なCo分布と粗粒WCのない組織となっている。

ZF20Aの抗折力を**図12**に示す。抗折力の最低値が大幅にアップすることによって初期折損がなくなり、ドリル信頼性を大幅に向上させている。

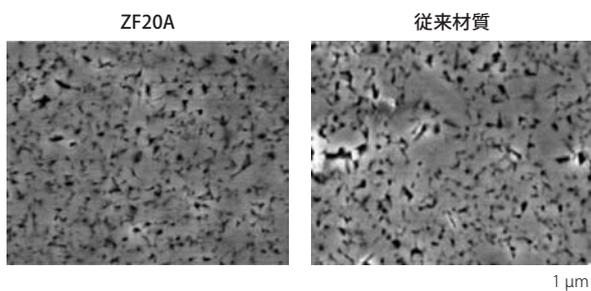


写真1 ZF20Aの組織

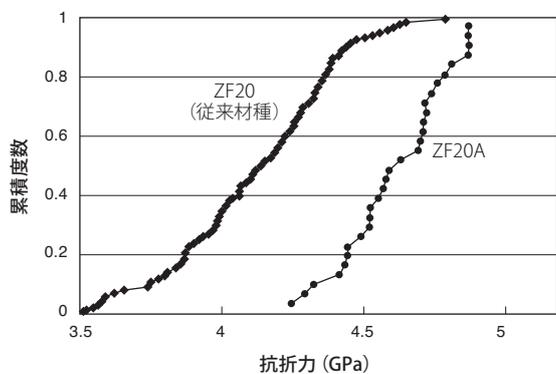


図12 ZF20Aの抗折力

## 7. 課 題

**7-1 原料ソースとリサイクル** 超硬合金全般に共通する課題だが、主要原料のWはレアメタルである。全世界の8割以上を産出する中国への依存度が高く、中国のみに依存するのは危険である。SHMグループを挙げて脱中国の動きをとってきたが、さらに加速していく必要がある。また、省資源・リサイクルの観点から使用済み超硬製品を回収・リサイクルし、再び原料としての使用も30年以上前から行っているが、品質上の問題から超微粒製品での使用は限られている。使用可能な製品レパートリーを増やしていかなければならない。

**7-2 さらに細粒WC材種の開発** 現在、0.2 μmのWCを用いた高級品質材種を開発中である。ZF20Aの技術展開を図っているが、課題は焼結中に起こるWCの粒成長である。粒成長しない最適焼結条件は把握できているものの、試作レベルと量産レベルではスケール効果がある。早急に量産レベルでの条件を確立しなければならない。

## 8. 結 言

今後もプリント配線板は広く世の中で使用され、穴明け用のドリルも継続して使用されていくことが予想される。基板の高密度化、低コスト化の流れは今後も続き、ドリルの開発動向もそれに応じたものになると予想される。

現状のシェアに満足することなく、顧客に満足頂ける製品作りに邁進していきたい。

## 参 考 文 献

- (1) プリント回路技術便覧 (第2版)、社団法人プリント学会編
- (2) 経済産業省機械統計年報
- (3) 津坂、「電子回路基板のドリル・ルーター加工入門」(第1回)、JPCA NEWS December2009
- (4) 丸山 他、住友電気第130号、P145-154
- (5) 鈴木、「超硬合金と焼結硬質材料」、丸善 (1986)
- (6) 丸山 他、住友電気第141号、P105-110

## 執 筆 者

後藤 裕明 : シニアスペシャリスト  
 アクシスマテリア(株) 技術部  
 超硬合金の生産技術開発に従事

