

組織均質化による高信頼PCBドリル用素材

Tissue-Homogenized Material for High Reliability PCB Drills

山川 隆洋*
Takahiro Yamakawa

子吉 雄太
Yuta Koyoshi

山本 英司
Eiji Yamamoto

澤園 善充
Yoshimitsu Sawazono

内野 克哉
Katsuya Uchino

近年、プリント基板の穴開け加工に使用されるPCBドリルの小径化、長尺化が進んでいる。電子部品の小型化、高集積化により加工穴が小さくなり、また、能率向上のため加工時の基板重ね枚数が増加傾向にあるためである。これにより、穴開け加工中にドリルがたわみやすくなり、穴位置精度は低下し、折れやすくなる。そこで、それら特性低下を克服する画期的な超硬合金素材の開発が求められていた。我々は、従来製品を徹底的に調査し、改善方法を模索したところ、超硬合金の組織均質化が有効であることを突き止めた。原料選定の見直しと製造条件の最適化を行った結果、課題であった穴位置精度と耐折損性能が向上した高信頼性PCBドリル用超硬合金素材「ZF20A」の開発に成功した。

These days, printed circuit board (PCB) drill tends to be longer and smaller in diameter as the advanced miniaturization and high integration of electronic components require smaller holes. In addition, an increasing number of substrates are overlaid for efficient processing. Such drills are easy to be bent and broken, and accordingly the hole position accuracy decreases. To prevent such property degradation, we investigated conventional products thoroughly and discovered that the tissue homogenization of cemented carbide is the key. Through the review of raw materials and optimization of production processes, we succeeded in the development of the high reliability PCB drill material “ZF20A,” thus improving the hole position accuracy and breakage resistance.

キーワード：PCBドリル用素材、超々微粒超硬合金、耐折損性能、合金組織均質化

1. 緒言

PCB (Printed Circuit Board) とは、半導体素子等の電子部品を固定、配線するための基板である。この基板の穴開け加工に使用されるのがPCBドリルであり、材料として主に超硬合金*1が用いられる。超硬合金は非常に硬く高い耐摩耗性を有し、また、ヤング率が高く剛性に優れ、良好な穴位置精度*2が得られるという特徴がある。

PCBドリルは自動車、スマートフォン等のあらゆる基板の加工に使用される。用途によって使用するドリル径が異なり、例えば車載用基板には刃径0.4~0.8mm程度、半導体パッケージ基板には刃径0.1mm程度のものが使用される。電子部品の小型化、高集積化に伴い、ドリルの小径化への要求が高まり、近年では刃径0.05mmのドリルが実用化されている⁽¹⁾。

また、加工能率向上のため、複数枚の基板を重ねて一度に穴開け加工することが以前より行われており、近年はその重ね枚数も増加傾向にある。それに伴ってドリルの長尺化が進んでおり、以前は刃径0.3mmのドリルの刃長は5.0mm程度であったが、現在は刃長6.5mmのドリルも使用されている。

これらPCBドリルの小径化、長尺化が進むことで、穴開け加工中にドリルがたわみやすくなる。このたわみにより穴位置精度は低下し、折れやすくなる傾向にある。そのため、それら特性低下を克服し、安定した加工を実現する素材の開発が求められていた。この要求に応えるべく、種々検討を行

い、合金組織を均質化させることで穴位置精度と耐折損性能*3を向上させた高信頼性PCBドリル用超硬素材「ZF20A」の開発に成功した⁽²⁾。

2. 従来品の課題

使用後のドリル、及び従来品の超硬合金素材を詳細に調査し、穴位置精度と耐折損性能に及ぼす因子を洗い出した。その結果、表1に示す通り、ドリル先端の偏摩耗抑制と組織中の粗大な炭化タングステン (WC) 粒の低減がドリル性能向上に必要であることが分かった⁽³⁾。それら課題に対し、原因と改善方法を洗い出し、定量的目標値を定めた。

表1 開発方針

狙い	課題	原因	改善方法	改善目標
穴位置精度向上	偏摩耗抑制	合金中のCo偏在、ミクロな凝集	【超硬原料の選定】 微粒Co使用による均質分散	Co相厚みバラつき (標準偏差σ) 従来：σ>0.07 開発品：σ≤0.07
			【混合工程の改善】 分散装置使用によるCo再凝集低減、分散性向上	
耐折損性能向上 (折損寿命向上)	粗大WC粒低減	粒成長抑制剤偏在	【超硬原料の選定】 微細な粒成長抑制剤使用による均質分散	粗大WC粒 10μm以上 従来：4個/10mm ² 従来：0個/10mm ² 1~10μm 従来：11個/10mm ² 開発品：0個/10mm ²
			【焼結工程の改善】 焼結温度の最適化	
		焼結温度不適	【焼結工程の改善】 焼結温度の最適化	

2-1 Co偏在によるドリル先端偏摩耗

当社従来素材を使用したPCBドリルの穴開け試験では、初期の段階で、加工数が増えると穴位置精度が徐々に悪化することがあった。小径ドリルでは特にこの傾向が顕著である。試験後のPCBドリル刃先を電子顕微鏡で詳細観察したところ、**図1**に示す局所的な偏摩耗が発生していた。この偏摩耗により切削抵抗が大きくなり、穴位置精度が悪化したと考えた。超合金の組織は主に、硬質相であるWCと結合相であるコバルト (Co) で構成される。従来品ではこのCoが均一に分散しておらず、偏在している箇所があることがわかっている。Coが偏在している箇所は周囲よりも硬度が低いため、耐摩耗性が劣る。そのため、その部分から局所的に偏摩耗が進行すると判断した。このCo偏在をなくし、均質な組織とすることで、偏摩耗を抑制し、穴位置精度を向上させることを目標とした。さらに、偏摩耗により切削抵抗が大きくなることで、折損寿命も短くなるため、耐折損性能向上にも効果があると考えた。

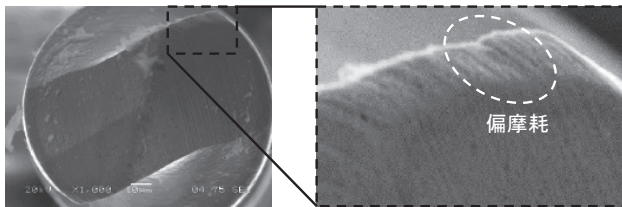


図1 PCBドリル刃先の偏摩耗

2-2 合金組織中の粗大WC粒

当社では、様々な粒径のWC原料を用途に応じて使い分けている。その中でも、PCBドリル用超合金素材に用いられるWC原料は、Ultra micro fine gradeと呼ばれる平均粒径0.1~0.5 μ mの超々微粒原料が使用される。WC粒径が小さいほど組織が微細になるため、抗折力^{*4}は高くなり、ドリルが高い耐折損性能を備えるためである。しかし、単純に微粒で均質なWC原料を用いただけでは、微細な組織とはならない。**図2**の合金製造工程における焼結工程にて、オストワルド成長^{*5}により一部が粗大WC粒へと変化するからである。焼結工程は、材料を1,300 $^{\circ}$ C以上で加熱しCoを溶解させ、WC粒子を再配列 (緻密化) し、Coを介して結合する目的で行われる。その際、極端に微粒 (0.1 μ m未満) なWCはCo中に溶解し、再度WC表面に析出する (**図3**)。その結果、原料WCの平均粒径をはるかに超える15 μ m程度の粗大WC粒が発生しうる。

組織中の粗大WC粒には穴開け加工中に応力が集中しやすく、ドリルの折損原因となり、特に小径ドリルでは顕著である。ドリル刃径が0.10mmの場合、心厚は0.03~0.05mm

となる (**図4**)。その中に0.015mmの粗大WC粒が存在していると、それが起点となって折損に至るのは自明だからである。

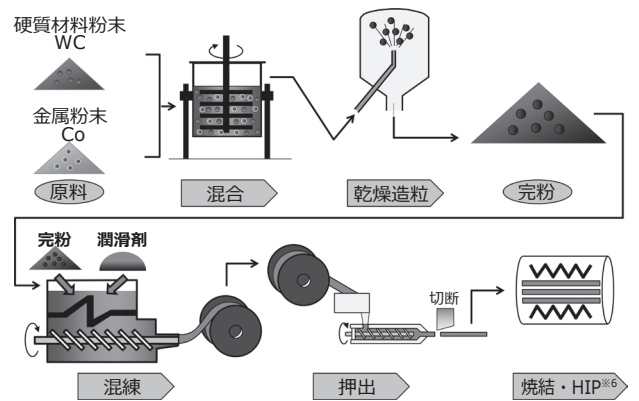


図2 PCBドリル用超合金素材の製造工程

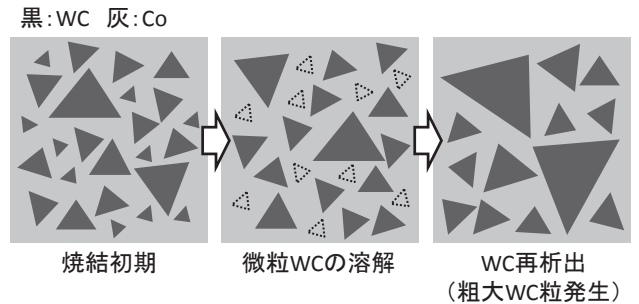


図3 粗大WC粒発生メカニズム

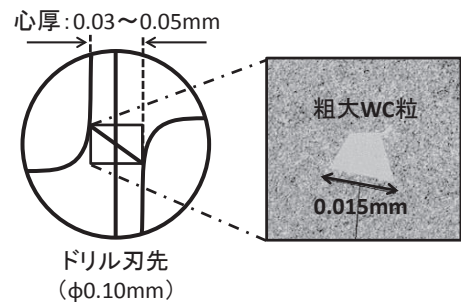


図4 ドリル刃先と粗大WC粒

2-3 課題に対する取組内容

筆者はPCBドリルの穴位置精度向上及び耐折損性能向上のため、組織均質化、つまり、Co偏在の抑制と粗大WC粒の低減が必要であることを突き止めた。これまで、超々微粒超合金の組織を極限まで均質化した取り組みはなかった。**表1**に示した通り、①超硬原料の選定、②混合工程の改善、

③焼結工程の改善について検討を行った。

3. 高信頼PCBドリル素材の特徴

3-1 超硬原料の選定

これまで、PCBドリル用超硬素材開発は硬質材料であるWCに着目して進められてきた。今回、これまで実現できていない組織均質化を進めるに際し、結合相であるCoや他の添加原料も改めて見直した。これまでCoは、平均粒径0.6 μm 以上のものを使用していた。混合工程後のCoを観察したところ、Coの粒径が大きいことが原因で、WC中にCoが均質に分散していないことが判明した。そこで、本開発品にはWCに近い粒径のCo (平均粒径0.2~0.6 μm) を使用し、混合後にそれぞれが均質に分散していることを確認した。

同様に、他の添加原料についても選定を見直した。超々微粒超硬合金で顕著なオストワルド成長を抑える粒成長抑制原料も、従来の平均粒径0.4 μm 超では分散が進まず、抑制効果が場所によって異なると判断したためである。そこで、分散性向上のためにWCに近い粒径の原料 (0.2~0.4 μm) を使用した。これにより、粒成長抑制効果が均質になり、粗大WC粒低減が期待できると考えた。

3-2 混合工程の改善

原料に微粒Co粉末を用いても、Coの凝集や偏在が生じることがある。アトライター (ATR) ^{*7}での混合では、**図2**に示したように、円筒容器に原料粉末と液体を混ぜたスラリーと超硬ビーズを投入し、アームを有する攪拌杵を回転させ複数種類の原料を混合する。また、攪拌されたビーズ同士の衝突による粉碎、分散も行う。ATRに用いるビーズは直径5mm程度と大きく、処理時間は10時間以上と長い。Coは延性・展性があるため、混合中に再凝集して粗大化する。そのため、原料の時点で微粒なCoも、混合後は粗大になり、偏在が生じる。

ATRよりも粉碎性は低いが、分散性は良好な分散装置での混合を検討した。分散装置での混合では、Coの再凝集を起こすことなく、均質に分散させることが可能であると考えたためである。テストを行ったところ、ATRよりも良好な合金組織が得られた。本装置による分散能力向上により各原料が均質に分散し、Co均質分散による合金中Co偏在抑制、粒成長抑制剤均質分散による粗大WC粒低減が達成できた。

3-3 焼結工程の改善

焼結工程では、オストワルド成長により粗大WC粒の生成が促進されるが、これは焼結温度が高い程顕著である。低温で焼結を行うと粗大WC粒は生じにくい、Co溶解後のWC粒子間への流動が行われにくくなり、微小な空隙 (合金巣) の発生へとつながる。検討の結果、粗大WC粒及び合金巣どちらの発生も抑制できる最適焼結条件を見出した。

3-4 開発品の合金組織

従来品と上記検討事項を反映した開発品の合金組織比較を行った (**図5**)。図中の黒点がCoである。従来品にはCoの

偏在が見られるが、開発品はCoが均質に分散していることが確認できる。Co分散性を定量的に評価するため、Co相である黒点領域を円近似し、Co相厚みの絶対値と標準偏差を求めた (**図6**)。従来品のCo相厚みの標準偏差は0.09で、それに対し、開発品のCo相厚みの標準偏差は0.06とバラつきが低減できており、当初に立てた目標を達成できた。また、**図7**に示すように、開発品は粗大WC粒のゼロ化が達成できている。

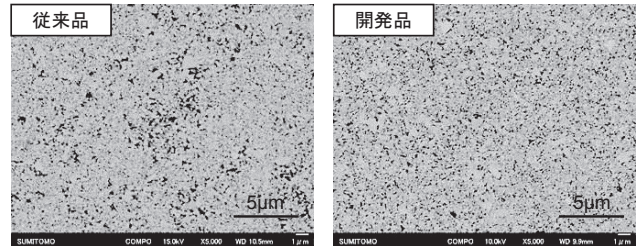


図5 合金組織比較

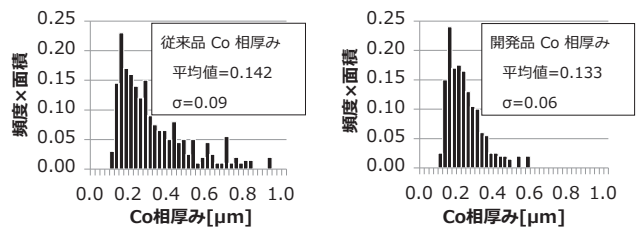


図6 Co相厚み比較

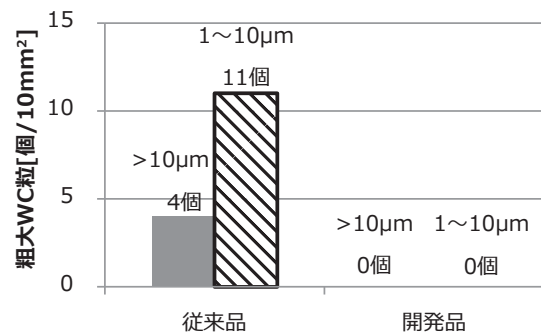


図7 粗粒WC数比較

4. ドリル評価

従来品と開発品をPCBドリルに加工し、基板への穴開け評価を行った。評価内容は穴位置精度試験と折損寿命試験である。試験は同時に6本のドリル加工が行える設備にて行い、加工するPCBは7枚重ねとした。

穴位置精度試験は3,500回穴開けを行い、目標位置から実穴位置までの最大距離を評価指標として用いた(図8)。

折損寿命試験は通常よりドリルに負荷のかかる条件にて行い、折損までに加工できた回数を折損寿命として評価した。なお、加工回数は5,500回を上限とした。

4-1 穴位置精度試験

穴位置精度評価結果を図9に示す。棒グラフは同時に加工を行った6サンプルの平均値を表している。開発品は従来品よりCo偏在による偏摩耗が減少したことにより、穴位置精度が向上している。

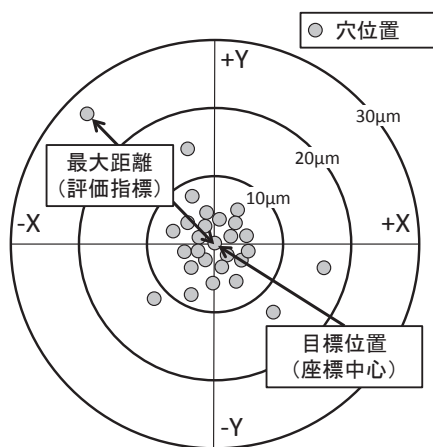


図8 穴位置精度評価方法

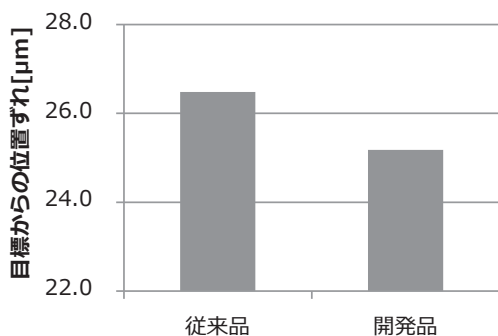


図9 穴位置精度比較

4-2 折損寿命試験

折損寿命評価結果を図10に示す。棒グラフは同時に加工を行った6サンプルの平均値、エラーバーはバラつきを表す。従来品は5,500回到達前に折損したサンプルがあるが、開発品は5,500回で折損するサンプルはなく、安定した耐折損性能を発揮した。

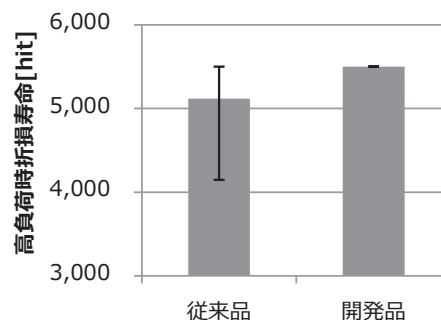


図10 折損寿命比較

5. 結 言

原料選定の見直し及び混合工程・焼結工程の改善により、組織を極限まで均質化することに成功した。これによりPCBドリルの穴位置精度と耐折損性能は、従来品よりも優れた実力を発揮した。穴位置精度不良や加工途中での折損は、不良基板発生による損失や、ライン停止に繋がるため、性能向上できた意義は大きい。

開発品「ZF20A」はその高い品質、信頼性により顧客より高い評価を得ている。本開発にて得られた知見は、他製品へも横展開しており、高品質品のラインナップを広げる原動力となった。また、これら横展開された開発品も高評価であり、これら製品がPCBドリル穴開け加工における高い要求に応えることができると確信している。

用語集

※1 超硬合金

硬質相である炭化タングステン(WC)と結合層であるコバルト(Co)を主成分とする合金。WC、Co粉末を焼結して得られる。非常に硬く、高い耐摩耗性が要求される切削工具に多く用いられる。

※2 穴位置精度

PCBドリルの評価指標の一つ。目標位置に対する実際の穴開け位置との差を評価し、差が大きい程低品質。PCBを複数枚重ねて評価する際には、最下基板の位置ずれで評価する。

※3 耐折損性能

素材の折れにくさを表す。PCBドリルにおいては、通常より厳しい条件下で穴開けを行う加速度試験で、折れるまでに加工できた回数等で評価する。

※4 抗折力

曲げに対する強度を示す物性値。試料に曲げ荷重を加え、破断した時の最大応力を示す。

※5 オストワルド成長

粒子径が種々異なる固相粒子が存在している合金において、焼結中に微細な粒子が液相に溶解し、冷却中に再度他の固相粒子表面に析出し粗大な粒となる現象。超硬合金では固相粒子がWC、液相がCoに当たる。

※6 HIP

Hot Isostatic Press：焼結後、合金中には微小な空隙（合金巣）が発生することがあるが、これをCoの流入により埋めるために、高温・高圧下で行う処理。PCBドリル用素材においては、合金巣がドリルの折損原因となるため、全製品に対して行う。

※7 アトライター

複数種類の原料を混合・粉碎・分散するための設備。アームでの攪拌とビーズ同士の衝突により処理を行う。

参 考 文 献

- (1) 津坂英夫、「電子回路基板のドリル・ルータ加工入門（第六回）」、JPCA NEWS、pp.16-21 (June 2010)
- (2) 住友電工ハードメタル㈱、超硬合金、特開2009-35810 (2009-2-19)
- (3) 津坂英夫、「電子回路基板のドリル・ルータ加工入門（第五回）」、JPCA NEWS、pp.15-21 (May 2010)

執 筆 者

山川 隆洋*：住友電工ハードメタル㈱
合金開発部



子吉 雄太：住友電工ハードメタル㈱
合金開発部



山本 英司：住友電工ハードメタル㈱
合金開発部 主席



澤園 善充：住友電工ハードメタル㈱
合金開発部 グループ長



内野 克哉：㈱アクシスマテリア
取締役



*主執筆者