連続式シンター HIP 装置導入による PCBドリルの品質向上

Improvement in Quality of PCB-drills Made of Micro-grained
Cemented Carbide by Using Continuous Sinter - HIP Equipment

齊藤 豪^A 尾添 俊二^B 小堀 景一^C

Tsuyoshi Saito, Toshizi Ozoe and Keiichi Kobori

Recently, the demand for drills for printed circuit boards(PCB-drills) has increased with the growth of the electronics industry. WC-Co alloys with relatively fine grain size have been put to industrial use, but the drills are now required to have more and more excellent wear and breaking resistance, as PCB has come to have a higher density. For that reason, micro-grained cemented carbide has become to be of great importance. In such circumstances, new micro-grained grades(MD10, MD20 and MD30) specially designed for PCB-drills have been developed, and the mass production of PCB-drill blanks having a stable high quality and reliability has been available through the use of a continuous Sinter - HIP equipment.

1. はじめに

最近では電子関連産業の急激な伸びと共に、プリント基板の穴あけ加工用極小径ドリル(Printed Circuit Board用ドリル、以下PCBドリル)の需要も急速に増大してきた。PCBドリルには専ら超硬合金が用いられているが、昨今はプリント基板の高密度化によるドリル径の小径化に伴い、ドリル用材料としては超硬合金の中でも特に耐摩耗性、耐折損性に優れる超微粒超硬合金が主流になってきている。また基板の加工方法も生産性向上のために、自動化による無人運転、高能率化が進められて来ており、工具材料に対しては相反する特性である耐摩耗性、耐折損性を同時に満たし、かつ高信頼性の材料の開発が強く求められるようになってきた。

このような状況の中で、当社はPCBドリル専用材種として特に高品質、高信頼性のMDシリーズ(MD10, MD20, MD30)を設定し、顧客のニーズに

対応してきているが、このたび、連続式シンターHIP(S-HIP)装置を導入することにより、さらに品質的に向上し性能の安定した材料を、より生産効率を高めて製造することができるようになった。本報では、PCBドリル材料の特性および連続式S-HIP装置導入による効果について述べる。

2. 従来法による材料の特徴

超硬合金の基本組成は、硬質粒子であるWCと結合相である金属Coとからなり、WC粒子径は、0.5-7.0 μm 、Co量は3-25%程度の範囲の製品が種々の用途に応じて製造されている。超硬合金の硬さはWC粒子が小さいほど、またCo量が少ないほど高くなるが、PCBドリルに应用されている超微粒超硬合金は、WC粒子径が平均1 μm 以下と特に微細であるため、高硬度で耐摩耗性に優れている。しかし微細なWC粒子は焼結中に溶解・析出機構によ

A: 東芝タンガロイ(株) いわき工場合金製造部

Iwaki Works, Cemented Carbide Production Department, Toshiba Tungaloy Co., Ltd.

〒970-11 福島県いわき市好間工業団地11-1 1-11, Yoshima Industrial Estate, Iwaki 970-11

B: 東芝タンガロイ(株) 海外プラントプロジェクトチーム

Industrial Plant - Export Project Team, Toshiba Tungaloy Co., Ltd.

C: 東芝タンガロイ(株) 製造本部 Production Division, Toshiba Tungaloy Co., Ltd.

B, C: 〒210 川崎市幸区塚越1-7 1-7, Tsukagoshi, Saiwai-ku, Kawasaki 210

り粒成長しやすい性質を有するため、これを抑制する目的でVC, Cr_3C_2 , TaCなどの粒成長抑制剤を少量添加することが一般的である。

一方、超硬合金の強さは普通抗折力により評価されるが、これに関しては従来より多くの研究者により膨大な研究成果が発表されてきた。その中では強さに影響を及ぼす要因としてWC粒度、Co量、合金炭素量、不純物、HIP処理等の多くの点について研究され、さらにその強度解析法も鈴木らにより詳細に報告されている[1, 2]。

このような研究をふまえ、超微粒超硬合金においてより高強度の材料を得るために

- 1) 高純度、特にCa, S, Al, Si, Mg等の不純物含有量の少ない素原材料を用いること[3, 4]、
- 2) 粒成長抑制剤の種類及び添加量を最適にすること[5, 6]、
- 3) Co量を最適にすること、
- 4) 健全二相域合金の中でも低炭素の合金とすること、
- 5) 焼結時の溶解・析出反応をできるだけ抑え、異常粒成長WCの存在確率を下げるような焼結条件とすること、
- 6) HIP処理を行うこと、
- 7) 粉末製造工程での不純物、異物の混入を極力抑えること、

などを検討した結果、抗折力500 kgf/mm² (5 GPa) もの高強度の合金を得ることが可能となった[7]。

当社におけるPCBドリル用MDシリーズは、上記の考え方に基づいて設計され、ドリル使用領域により三材種を設定している。参考までにFig.1に当社材種とその適用切削領域の概念図を示した。ところで、このようなPCBドリルを製造するにあたり、従来の製造方法では主として真空炉により脱ワックス・焼結をし、通常のHIP装置でHIP処理を行う。

Fig.1. The relation between grade and diameter of PCB drills.

しかしこの方法では、焼結、HIPと二回の熱処理を行うため、上記5)項の異常成長粒子の存在確率を上げることになり、抗折力の向上程度が抑えられるとともに、平均WC粒度も増大するため、超微粒超硬合金の特徴である高硬度を維持することが難しくなってくる。一方、その対策として粒成長抑制剤の添加量を多くすると、添加剤の偏析が起こり易く、これが強度上の欠陥となり強度低下をきたすことになる。また同一炉にて脱ワックス、焼結をおこなうため、ワックスによる炉内汚染が徐々に蓄積し、焼結時の雰囲気浸炭性となり、合金中の炭素量コントロールが非常に難しくなるという欠点も有していた。この合金炭素量については、合金の硬さ、抗折力に大きな影響を及ぼすことはもちろんであるが、実際のPCBドリルによる穴あけ加工においてもやはり大きな影響を及ぼすことが分かっている。Fig.2, 3にPCBの穴あけ加工におけるドリルの耐摩耗性と耐折損性に及ぼす合金炭素量の影響を示す。これらの図より、耐摩耗性、耐折損性ともに、健全二相域の中でも中炭素以下の合金の方が高炭素合金よりもはるかに優れることが分かる。このことから合金中の炭素量管理が、耐摩耗性(硬さ)耐折損性(強さ)という相反する特性を同時に改善する非常に重要な因子であることが分かる。

一方HIP処理は一般的には約1350℃ - 1000℃ - 1500 atmの条件で行われているが、著者らの合金強度に及ぼすHIP条件の影響についての研究[8]によれば

- 1) 低Co(5% Co)合金の場合、3 MPa(30 atm) - 1 hr

Fig.2. The effect of carbon content of cemented carbide on flank wear of PCB drill at the each feed rate. Drilling conditions were
grade: MD20
PCB: glass epoxy - resin FR - 4, 2 sheet
revolution number: 80000 rpm
feed: 20 - 100 μm/rev.
hit number: 1000 hit/each feed

の条件で、完全に巣孔が消滅する (Fig.4 参照)。
 2) 7-10 % Co 合金の場合、1 MPa (10 atm) - 1 hr 以上の条件で、完全に巣孔が消滅する。
 という結果が得られている。このことは、従来の HIP 圧力が 100 MPa 以上の高压であるのに比較し

Fig.3. The effect of carbon content of hard metals on breaking feed rate of PCB drill. Refer to Fig.2.

Fig.4. The effect of low-pressure HIP on transverse-rupture strength of WC-5 %Co alloy sintered and then HIP'ed at 1380 °C.

Fig.6. The concept of the continuous sinter - HIP process.

て、その約 1/50 程度の低压で処理可能ということを示しており、低压 HIP 法を採用すれば経済性、生産性、安全性などの点で格段に有利となるはずである。

以上のような高品質材料を得るために必要な条件及び従来の製造法の欠点等を踏まえて、これらを満足する設備について、神戸製鋼所(株)との間で種々検討を重ね、今回の連続式 S-HIP 装置の共同開発を行った。

3. 連続式 S-HIP 装置の特徴

まず Fig.5 に本装置の基本構成を、また Fig.6 に各ステーションの概略図を示した。本装置の設計にあたっては、基本的に脱ワックスから HIP 処理までを連続化した焼結 HIP 装置とし、材料特性上必要な諸条件を満足し、従来の製造法の欠点を改善し、なおかつ生産効率を高めるという観点に立って検討した。特に、通常のバッチ式 S-HIP 装置 (焼結と HIP を継続的連続的に行う装置) では、同一炉内で脱ワックスも行うため、ワックスによる炉内汚染の問題があり、また他の専用炉で脱ワックスしても S-HIP 処理するまでの間に環境からの影響 (水分、酸素の吸着) を受け、合金中の炭素量が変動する。またバッチ式炉の場合は一般に冷却時間が長いために、冷却中の WC 粒成長の抑制やサイクルタイムの短縮が難しい。そこで本装置は、熱間搬送という新

Fig.5. The basic concept of the continuous sinter - HIP process.

しい発想による搬送システムを導入することにより、これらの問題点を解決した半自動的なS-HIP処理装置となっている。その特徴をまとめると以下のようになる。

1) 合金炭素量の厳密な管理が可能。

- 脱ワックス炉内での均一脱脂(ガススイープ方式)
- 脱ワックス炉とS-HIP炉の完全分離によるS-HIP炉内のワックス汚染防止
- S-HIP炉の十分なリーク防止対策による合金炭素量変動の抑制
- 高温搬送中の十分な酸化防止機能

2) 高強度合金が得られる。

- HIP処理機能による巣孔消滅
- 焼結、HIP同一炉処理により総処理時間を短縮し、WC粒成長及び硬さの低下を抑制
- 低圧HIPとし、加圧時間を短縮(総処理時間の短縮)したことによるWC粒成長抑制
- HIP処理後の急冷機能によるWC粒成長の抑制

3) 生産効率が高い。

- 脱ワックス、S-HIP、冷却各ステーションの分離(同時並行処理可能)
- 低圧HIPにすることによるサイクルタイムの短縮
- 雰囲気搬送システムによる各処理炉の冷却時間短縮
- HIP後の急冷機能及び冷却筒設置によるサイクルタイムの短縮
- 取入れ取り出しステーションの設置による外段取り化(複数収納ケースによる効率的な処理)

4. 処理実績

本装置を導入した結果、当初の目的である合金品質面での向上、安定か及び生産性の向上について種々の効果が認められているが、ここでは最も生産量

Fig.7. The relation between carbon content after dewaxing and the position in the crucible.

の多いWC-5 %Co超微粒超硬合金の場合について、簡単に報告する。

1) 合金炭素量の変動

まず脱脂ステーションでは、脱ワックスのパラツキを防止する目的で、ガススイープ方式を採用している。その効果を確認するため、脱ワックス後の製品の炉内位置による炭素量の変動を調べた結果をFig.7に示した。製品はカーボントレイに乗せ、これを75段積み重ねて装入しているが、上下及び横方向で殆ど炭素量の差がないことが分かる。

次に焼結後の合金炭素量の変動を調べた結果をFig.8に示した。ここでは、合金炭素量は、飽和磁化値を用いて示している。一般に超硬合金の飽和磁化値は合金炭素量の尺度としてよく利用されており、特にPCBドリル等で目標としている健全二相域の中でも低炭素側では、Fig.9に示すように測定値が合金中の炭素量とともにほぼ直線的に変化しており、健全相域内の炭素量の位置を調べる有力な手段になっている。Fig.8をFig.9に照らし合わせると、合金炭素量は炉内位置によらず、いずれも健全二相域の低炭素側に位置し、その変動幅は炭素量で0.02-0.03 %の範囲内にあり非常に変動が少ないことが分

Fig.8. The relation between magnetic saturation after sinter-HIP treatment and the position in the crucible.

Fig.9. The relation between relative carbon content and magnetic saturation and lattice parameter of binder phase of sintered MD10.

かる。

また Fig.10 に合金炭素量の安定度を従来法の真空炉による脱ワックスと焼結、HIP 炉による HIP 処理方式とする場合と比較して示した。図にはそれぞれの方式で生産した製品について、健全二相域の低炭素側での変動幅規格 0.05 % の範囲に入る比率 (合格率) を示しているが、本装置によりほぼ 100 % の合格率が得られている。

2) WC 粒成長の抑制

連続式 S-HIP 方式とすることにより総熱処理時間が短縮されるため、焼結中の WC 粒成長が抑制される効果があると考えられる。そこで、同一ロットの粉末を用いて、従来製造方式と連続式 S-HIP 方式のそれぞれで製造した丸棒素材の抗折力を比較して Fig.11 に示した。図によれば、連続式 S-HIP 方式の場合の抗折力は他に比べ平均値で約 20 kgf/mm² 程度上昇しており、しかもバラツキが小さい。これはとりもおさず、破壊の起点として作用する成長 WC 粒子の存在確率が低いことを示している。

Fig.12 には、同じく両方式による硬さの比較を示したが、連続式 S-HIP 炉による方が全体に

Fig.10. The comparison of the passing ratio of carbon content obtained by HIP with that by sinter-HIP treatment.

Fig.11. The comparison of transverse-rupture strength of MD10 obtained by HIP with that by sinter-HIP treatment.

HRA で 0.1 程度高く、またバラツキもはるかに少ない。このことから連続式 S-HIP 方式により、PCB ドリルとしてより品質の安定した信頼性のある素材を製造できることが分かる。

3) 生産効率の向上

生産効率については、連続方式に設計されていることで従来法に比較して製品製造リードタイムが著しく短縮されている。Table 1 に簡単な比較を示すが、連続式 S-HIP 方式では、脱ワックスから HIP 処理までを従来法の 1/3 の日数で行えることになり、非常に効率的になっていると言える。

5. まとめ

超硬合金のドリル等の穴あけ工具に対する需要が近年非常に増大し、超硬合金の特徴である耐摩耗性 (硬さ) と、耐折損性 (強さ) の両者を同時に満足する材料が求められつつある。当社は、この目的を達成するために、超硬合金を製造する上で最も重要な合金中の炭素量を厳密に管理でき、かつ強度改善に最も効果的な HIP 処理が可能な、連続式 S-HIP 装置を導入した。その結果、合金炭素量の変動幅が 0.02-0.03 % と高度に管理され、硬さと強さという

Fig.12. The comparison of hardness of MD10 obtained by HIP with that by sinter-HIP treatment.

Process	Sintering + HIP	Sinter - HIP
Dewaxing	1.0 day (8-16 hr)	
Sintering		
Inspection	0.5 day	0.7 day (16 hr)
Preparation		
HIP treatment	1.0 day (7-20 hr)	
Total	2.0 ~ 2.5 day	0.7 day

Table 1. The comparison of the cycle time obtained by sintering+HIP with that by sinter-HIP treatment.

超硬合金の相反する特性を同時に満足し、しかも品質的に非常に安定した素材の製造が可能となった。今後はこれらの技術力を一層向上させ、ますます厳しくなる顧客の要求に応えていきたいと考えている。

参考文献

- [1] 鈴木寿: 金属, **46**, 24(1976), “超硬合金の脆性をいかにして克服したか”
- [2] 鈴木寿, 林宏爾: 日本金属学会誌, **38**, 1013 (1974), “WC-10%Co超硬合金の抗析強度と破壊の期限との関係”
- [3] T. Fukatsu, K. Kobori, M. Ueki: Refractory Metals and Hard Materials, **10**, 57(1991), “Micro-grained Cemented Carbide with High Strength.”
- [4] 鈴木寿, 徳本啓: 粉体および粉末冶金, **32**, 152 (1985), “超微粒 WC-Co 超硬合金の組織と抗析力”
- [5] 林宏爾, 福家康矩, 鈴木寿: 粉体および粉末冶金, **19**, 67(1972), “WC-Co 合金の粒度に及ぼす他炭化物天下の影響”
- [6] 鈴木寿, 徳本啓: 粉体および粉末冶金, **31**, 56 (1984), “WC-Cr₃C₂-15%Co超硬合金の組織と機械的性質”
- [7] 植木光生, 尾添俊治: 東芝レビュー, **42**(6), 481 (1987), “高強度超硬合金”
- [8] 小堀景一, 植木光生, 齊藤豪, 鈴木寿: 粉体および粉末冶金, **35**, 147(1988), “WC-Co超硬合金の低圧HIP処理”

[1992年12月25日受理]

第33回高圧討論会懇親会風景2題
鏡割り(右)と山鹿灯ろう踊り(下)
(顛末記は58ページにあります)