

砥粒加工基礎講座「砥石」

砥石の構造(その6):結合剤(ボンド)の種類とその適性 《メタルボンド編》

本間 宏之 (旭ダイヤモンド工業株式会社)

1. はじめに

ダイヤモンドやCBN砥粒を用いた超砥粒工具では、砥粒を保持するボンド材の種類によって工具性能は大きく異なり、その特長を生かしたボンド材の選択が重要である。表1に主なボンド材とその特長を示す。ボンド材の種類としては、大きく分けてレジノイド、ビトリファイド、メタルがある。一般的にメタルボンドとは、金属粉末で焼き固めた焼結タイプを指すことが多いが、広義の解釈では電気めっき法により固定した電着タイプや、金属ロウ材を使用したロウ付けタイプも含まれる。今回は、メタルボンドについてボンドの構造や工具形状、製造方法や適用事例について紹介する。

表1 主なボンド材の種類とその特長

ボンド材 記号	結合材	加工性能			
		加工 能率	寿命	表面 粗さ	ドレス 性
レジノイド B	樹脂	○	○	○	○
適度な砥粒保持力と耐摩耗性を持ち、弾性があるので加工面性状が良い。					
ビトリファイド V	ガラス	◎	○	○	◎
有気孔のため、切りくずの排出が良く切れ味もよい。					
メタル M	金属	△	◎	△	△
砥粒保持力が高く、耐摩耗性や形状維持も良い。					
電着・電铸 P	ニッケル	◎	△	△	×
砥粒保持力が最も高く、突き出し量が大いなので切れ味が良い。					
ロウ付け	銅錫等	◎	○	○	△
砥粒保持力が高く、電着タイプよりも突き出し量が大い。集中度の制御が可能。					

※ ◎:優, ○:普通, △:やや劣る, ×:不可

2. メタルボンドの種類と製造方法

表2にメタルボンドの種類を示す。ここでは焼結タイプに加えて電着タイプ、ロウ付けタイプもメタルボンドとして解説する。

表2 メタルボンドの種類と製法

種類	製法	主な金属成分
焼結タイプ (多層)	砥粒と金属粉を混合し焼結成型する	銅, 錫, 鉄, コバルト, タングステン
電着/電铸 タイプ(1層)	電気めっき法で砥粒を固定する	ニッケル
ロウ付けタイプ (1層)	金属ロウ材を溶かして砥粒を固定する	ニッケル, クロム, 銀, 銅, 錫, チタン

2.1 焼結タイプ

一般的にメタルボンドといえば、焼結タイプを指すことが多い。特長としては、金属種類の選択やフィラーを充填することにより、さまざまな研削特性を持たせることができ、また集中度の制御が可能であることである。

(1) 焼結タイプの構造

図1に焼結タイプの基本構造を示す。砥粒と金属粉末を混合し焼結した構造のため、基本的には無気孔である。

(2) 焼結タイプのホイール形状

図2に焼結タイプの主な形状を示す。一般的なストレートホイールやカップ型ホイールのほかに、ディスクホイールがある。また、各種ガラス板や半導体ウェーハのエッジ面取り加工には、エッジ断面形状を創成するための総形形状ホイールなどがある。

(3) 焼結タイプの製造工程

図3に製造工程を示す。砥粒と金属粉末を混合したのちに、金型に詰めてホットプレス焼結を行い、焼結後に形状の機械加工を行う。セグメントタイプの場合は、台金へ接着材や金属ロウ材を用いて固定し、その後機械加工を行う。

2.2 電着タイプ

電着タイプとは、ニッケルめっきにより砥粒を台金に固定した製品のことであり、砥粒の固定材として金属(ニッケル)を使用しているため、広義の解釈としてはメタルボンドに分類される。電着タイプの特長としては、砥粒保持力が高く突き出し量も高いことや、総形形状を作りやすいことである。また、焼結タイプよりも集中度が高くなるが、砥粒層が1層であるため、工具全体としての寿命は焼結タイプよりも劣る。

* 旭ダイヤモンド工業株式会社 千葉第二工場 生産技術部:
〒297-0143 千葉県長生郡長南町美原台1-35(長南工業団地内)

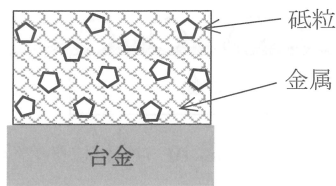


図1 焼結タイプの構造

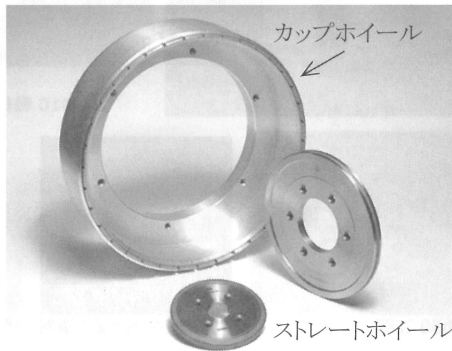


図2 焼結タイプホイールの形状例



図3 メタルボンド製造工程 (焼結タイプ)

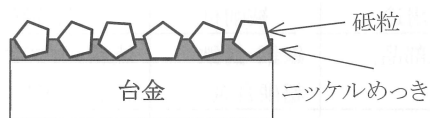


図4 一般的な電着タイプの構造

(1) 電着タイプの構造

図4に一般的な電着タイプの構造を示す。台金に1層分の砥粒が固定された製品である。砥粒の保持力を高めるために、砥粒の高さの半分程度までニッケルめっきでおおわれている。また、焼結タイプと比べると、砥粒の集中度は高い。

(2) 電着タイプの形状

図5に電着ホイールの形状の一例を示す²⁾。右のホイールは総形形状をしている製品であり、被削材の形状精度はホイール形状精度に大きく依存するため、台金の設計が重要となる。左の製品は、コア形状ホイールで穴あけ加工に使用されている。

図6に電着軸付きホイールの一例を示す³⁾。軸付きホイールは、主にセラミックスの穴あけや溝加工、ねじ切りやコンタリング加工に使用されている。図7に電着ワイヤを示す⁴⁾。電着ワイヤは、細いピアノ線(Φ0.06~Φ0.35mm)に砥粒を電気めっきして固定した製品で、主にシリコンやサファイア、シリコンカーバイドなどのインゴットからウェーハに切断するために使用される。ワイヤの長さは数十 km になるので、一般的にはボビンに巻かれて使用される。

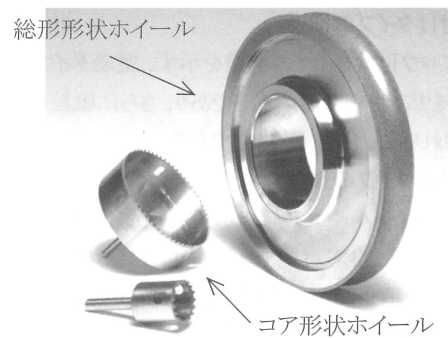


図5 電着タイプホイールの形状例

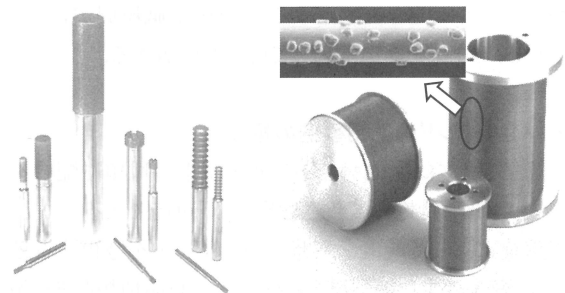


図6 電着軸付きホイール

図7 電着ワイヤ

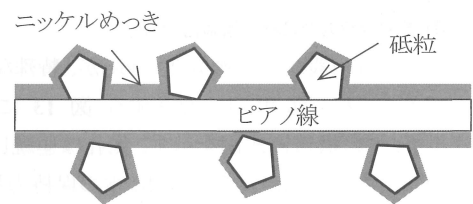


図8 電着ワイヤの構造

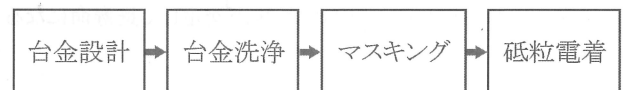


図9 電着タイプの製造工程

図8に電着ワイヤの構造を示す。金属コート砥粒を使用しており、砥粒全体がめっきされているので一般的な電着タイプよりも薄めめっき厚で砥粒を保持することが可能である。また、集中度を制御することが可能であり、一般的な電着タイプよりも集中度は低い。

(3) 電着タイプの製造工程

図9に一般的な電着タイプの製造工程を示す。まず、めっきの密着性を高めるため台金を洗浄する。次に、砥粒が不要な部分はめっきが成長しないようにするため台金にマスキング処理を行い、マスキングした台金と砥粒をめっき液中にセットし、砥粒を取り込むようにめっき処理を施す。

2.3 ロー付けタイプ

ロー付けタイプは電着タイプと同様に砥粒を台金表面に1層だけ固定した工具であり、砥粒を固定するために金属ロー材を使用しているため、メタルボンドに含まれる。

(1) ロウ付けタイプの構造

図 10 にロウ付けタイプの構造を示す。電着タイプと異なり、砥粒間隔を広くすることが可能であり、さらに砥粒の突き出しが高く、切れ味が良いのが特長である。

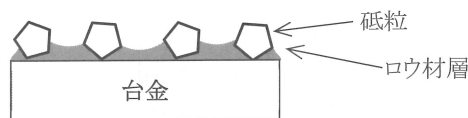


図 10 ロウ付けタイプの構造

(2) ロウ付けタイプの形状

ストレートホイールやコア形状ホイール、軸付きホイールなどさまざまな形状に対応可能である。図 11 にロウ付けタイプの形状の一例を示すが⁵⁾、コア形状のものは、CFRP 材の穴あけ加工に使用されている。

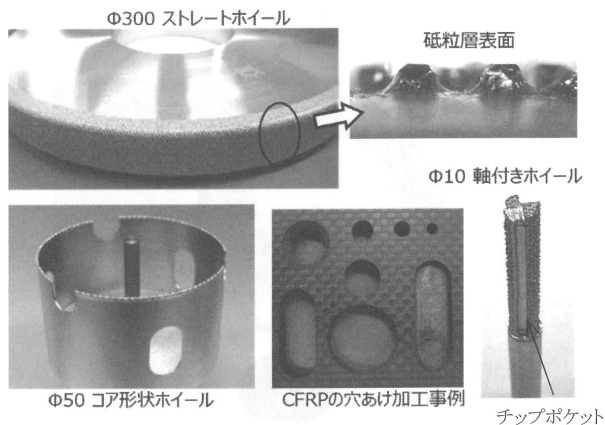


図 11 ロウ付けタイプのさまざまな形状

(3) ロウ付けタイプの製造工程

図 12 にロウ付けタイプの製造工程を示す。はじめに接着剤を用いて砥粒を仮固定する。その後、砥粒周辺にロウ材を塗布し、ロウ材を高温溶融して砥粒を固着する。

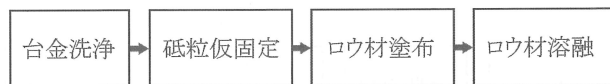


図 12 ロウ付けタイプの製造工程

3. メタルボンドの適用事例の紹介

焼結タイプは主成分である金属粉末の種類や配合を変えることで研削特性を変化させることが可能である。よって、加工用途に応じて最適な形状、メタルボンドを選択する必要がある。表 3 に主な被削材とメタルボンド製品種類をまとめる。

4. 特殊なメタルボンド

4.1 有気孔メタルボンド(焼結タイプ)⁶⁾

焼結タイプは一般的には無気孔であるが、特殊な製法による有気孔タイプのメタルボンドも存在する。図 13 に連続有気孔メタルボンドの構造模式図を示す。気孔は連続して存在しており、切りくずの排出が良くメタルボンドの保持力とビトリファイドボンドの切れ味を合わせ持った加工性能が特徴である。例えば、鋳鉄製シリンダーブロックの上面加工では、フライスカッターによる切削加工よりも切れ味が安定して長寿命になる事例もある。

4.2 ハイブリッドメタルボンド(焼結タイプ)⁷⁾

焼結タイプは、砥粒を金属粉末により焼き固めたボンドであるため砥粒保持力が高いのが特長であるが、レジノイドボンドよりもボンド硬度が高く、切れ味や被削材の表面粗さは、レジノイドボンドよりも劣る場合が多い。そこで、両ボンドの中間的な性質を持たせるために金属粉末と樹脂粉末を混合して焼結したハイブリッド方式のメタルボンドがある。図 14 にメタルレジノイドハイブリッドボンドの構造を示す。このボンドは、メタルボンドの保持力とレジノイドボンドの切れ味を合わせもった加工性能が特長である。ガラスなどの硬脆材料の加工において、チップングの抑制と、切れ味、ボンドの耐久性が求められる場合に使用されている。

4.3 ロータリドレッサ

ロータリドレッサ⁸⁾とは、WA・GCなどの一般砥石を成形する工具である。電着タイプと焼結タイプがあり、焼結タイプは、形状維持(耐摩耗性)を高めるために一般的な研削加工用のメタルボンドよりも強度の高いボンドを使用し、砥粒保持力をさら

表 3 メタルボンドの主な被削材と工具種類

用途	被削材	工具種類(形状)
機械部品, 金型	鉄鋼・鋳鉄 超硬合金	焼結タイプ(ストレート, ディスク形)
構造用部品	セラミックス	焼結タイプ(ストレート) 電着タイプ(軸付き)
自動車 スマートフォン	ガラス	焼結タイプ(総形)
モーター	ネオジム鉄 フェライト	焼結タイプ(ディスク形) 電着タイプ(総形)
電子部品	シリコン サファイア	焼結タイプ(ストレート, ディスク型)
建設・土木	石材 コンクリート	焼結タイプ(カップ形, 円盤形)

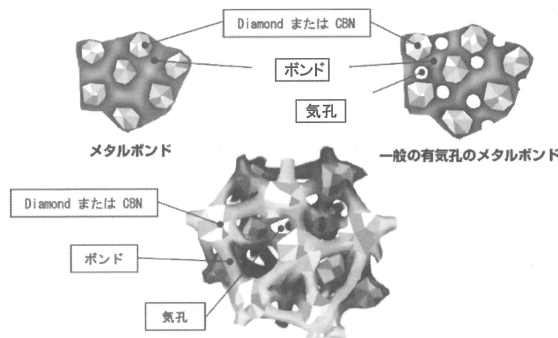


図 13 連続有気孔タイプメタルボンドの構造

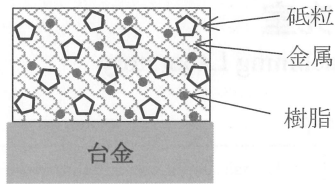


図14 メタルレジノイドハイブリットボンドの構造

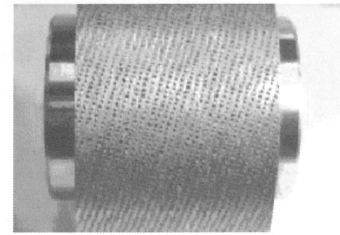


図16 ロータリドレッサ（スパイラルセツト焼結タイプ）

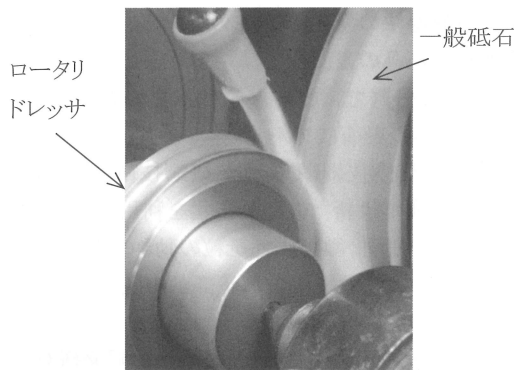


図15 ロータリドレッサ（総形形状）

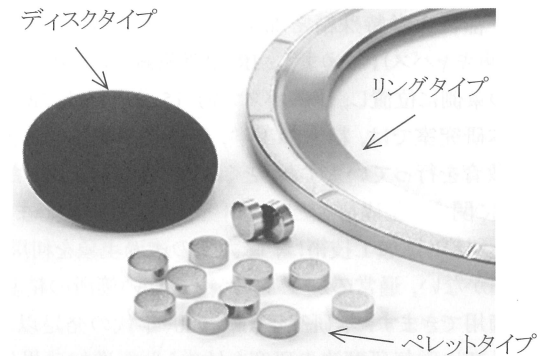


図17 CMPコンディショナ（電着タイプ）

に高めている。また、砥粒は大きいサイズのもが使用されている。図15に総形ロータリドレッサ（電着タイプ）の使用例を示す。電着タイプは、電着タイプと同様にニッケルめっきにより砥粒を台金に固定した製品であるが、電着タイプが台金表面に砥粒を直接電着するのに対し、電着タイプは、母型台金に砥粒を電着したのち、砥粒層を剥離し心金へ接着する方法で製造される。母型の形状が忠実に形成されるため、形状精度が非常に高い製品である。

図16にスパイラル配列型ロータリドレッサ（焼結タイプ）を示す。一般的な製品では砥粒がランダムに配置されているが、砥粒がスパイラル状に配列セツトされた製品もある。スパイラル状に配列することにより、円周方向の砥粒間隔が広がるためドレッサの切れ味が向上し、さらに幅方向の砥粒間隔が狭くなり一般砥石をより均一に成形できるようになる特長がある。

4.4 CMPコンディショナ

半導体部品の製造工程においては、シリコン基板上に積層される電子回路を平坦化することが重要である。そのために、CMP（Chemical Mechanical Polishing）という加工方法が用いられている。研磨パッドを平坦化する（コンディショニング）ため

の工具としてCMPコンディショナという電着タイプの製品がある。図17にCMPコンディショナ⁹⁾の一例を示す。リング、ペレット、ディスクといった形状がある。CMPコンディショニングでは、砥粒の脱落を防止することが非常に重要であるため、図中左上の黒い製品のように、電着後の表面を樹脂でコーティングしたものもある。樹脂コーティングにより耐薬品性が向上し、ニッケルめっきの溶出を防止できるのが特長である。

5. おわりに

今回は、メタルボンドとして、焼結タイプ、電着タイプ、ロウ付けタイプについて、その構造と特長について紹介した。実際の製造現場においては、様々な被削材、加工マシン、加工精度の要求があり、メタルボンドと一口に言ってもバラエティ性豊かで、それぞれに適したボンド材の選択が必要である。そのためには、お客様と工具メーカーとの念入りな打ち合わせがたいへん重要である。加工方法や、ボンド種類の選択で不明な点があれば、ぜひ工具メーカーへ相談されることを願う。

6. 参考文献

- 1)～9) 旭ダイヤモンド工業株式会社 ホームページ内製品紹介
<https://www.asahidia.co.jp/products/>