

ダイヤモンド工具

1975年～現在

ダイヤモンド工具はダイヤモンド粒子を超高圧高温で焼き固めて得られるダイヤモンド焼結体からなる切削工具であり、アルミニウム合金などの非鉄金属材料や、繊維強化プラスチック（FRP）、カーボン、セラミックスグリーン体などの切削加工に用いられる。ダイヤモンドを焼結する際、ダイヤモンド粉末以外に金属結合材を用いる材料が一般的であるが、近年は工業レベルでの超高圧発生技術の進展により結合材を使用しない材料も開発されている。本材料は単結晶ダイヤモンドを凌駕する高い硬度を有することから、これまで実現できなかった超硬合金の切削加工が可能になるなど、ダイヤモンド工具のアプリケーションが拡大しつつある。本稿では、これらの材料について概説する。

ダイヤモンド工具はダイヤモンド粒子を超高圧高温で焼き固めて得られるダイヤモンド焼結体（又はPCDとも呼ぶ）からなる切削工具である。焼結の際、ダイヤモンド粉末以外に金属結合材を用いる材料が一般的であるが、近年は結合材を使用しない材料も開発されている。本材料は極めて高い硬度を有することから、これまで実現できなかった超硬合金の切削加工が可能になるなど、工具としてのアプリケーションが近年拡大しつつある。

1. 製品適用分野

アルミニウム合金などの非鉄金属材料や、繊維強化プラスチック（FRP）、カーボン、セラミックスグリーン体などの切削加工に適用されている。

2. 適用分野の背景

自動車、電子部品および航空機産業等の分野に限らず、生産性向上を狙った機械加工の高速化・高能率化は共通の課題である。高硬度の特性を有するダイヤモンド工具を用いると、従来の超硬合金などの工具材質と比べて高速・高能率加工が可能となるため、ダイヤモンド工具による切削加工が浸透してきた。さらに近年、世界中で脱炭素社会の実現に向け、高速・高能率加工による消費電力削減に注目が集

まっており、ダイヤモンド工具の利用が活発化している。

3. セラミックスの特徴

ダイヤモンドは、炭素のみで構成され、その原子同士が形成する共有結合により、物質の中でも最高の硬度を有している。この性質のため、古くから、天然に産出されるダイヤモンドはさまざまなアプリケーションで使用されてきた。

一方、ダイヤモンドが炭素のみで構成されていることが判明すると、黒鉛を原料としたダイヤモンド合成の試みが1790年代から始まり、1955年にゼネラル・エレクトリック（GE）社が約5万気圧を発生する超高圧高温発生装置を用いて人工ダイヤモンドの合成に成功した。そして、1970年代には、そのGE社が合成ダイヤモンド粉末をコバルトなどの金属結合材を用いて焼結するプロセスを開発し、ダイヤモンド焼結体の販売を開始した。このダイヤモンド焼結体は、原料に粉末を用いて焼結することから、さまざまな結晶方位のダイヤモンド粒子が配列された異方性の少ない組織となる。このため、単結晶ダイヤモンドに見られるような劈開の影響は小さく、高硬度かつ強靱な特徴から、各種産業で、広く切削加工に用いられるようになった（図1）。

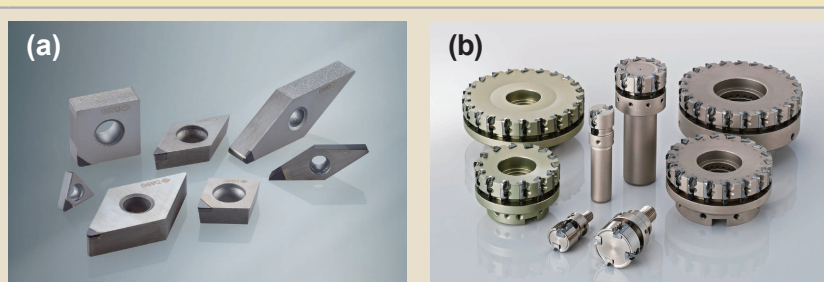


図1 ダイヤモンド工具の例：(a)インサート、(b)カッター

出典元：住友電工ハードメタル

見学可能：

WEB サイト住友電工
ハードメタル事業部・
住友電工ハードメタル
株式会社 (sumitool.
com)

Key-words：切削工
具、超高圧、結合材、
高能率、超硬合金

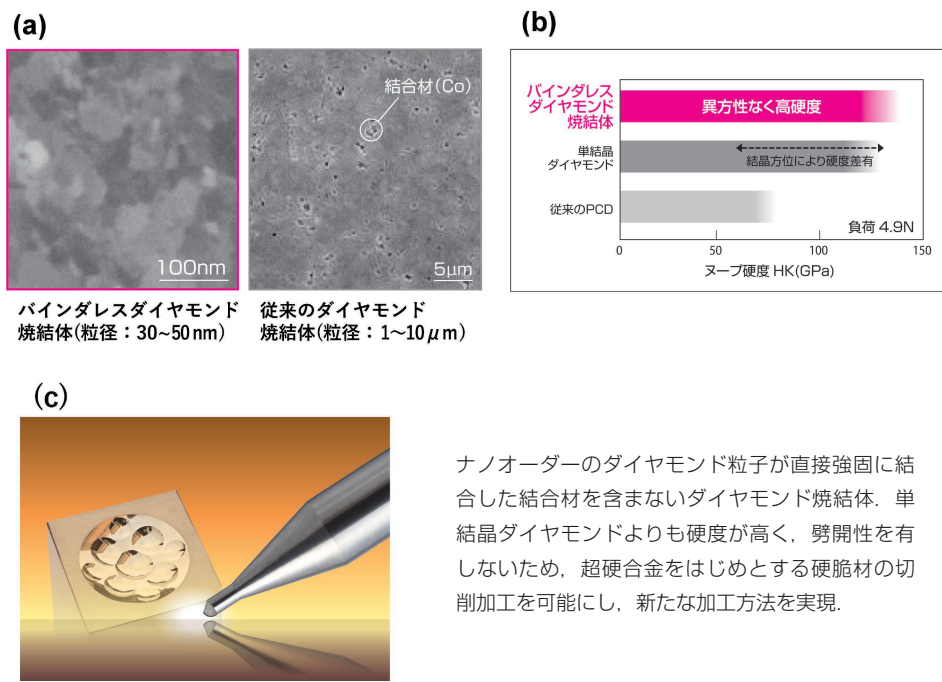


図2 バインダレスダイヤモンド焼結体：(a)焼結体のSEM像、(b)ヌープ硬度、(c)工具の例(エンドミル)

出典元：住友電工ハードメタル

注1 旋盤や平削盤などでの切削加工に用いられる工具。

注2 円筒形で複数の刃のついた切削工具、これを回転させて切削加工を行う。

注3 外周刃と底刃で素材を回転切削する工具。

注4 粉末粒子の間に形成された結合部(=ネック)が太く成長し粒子間結合が強固になる現象。

2010年代には、従来を遥かに超える15万気圧以上を工業的に安定して発生させる量産技術が開発され、金属結合材を使用しない焼結プロセス(黒鉛からの直接変換法)で得られるバインダレスダイヤモンド焼結体(図2)を採用した工具が製品化された。この焼結体は、ダイヤモンド粒径が0.03~0.05 μ mと従来の数 μ mよりも1桁以上細かいため、ヌープ硬度は120~140 GPaに達し、単結晶ダイヤモンドの70~120 GPa(面方位によって異なる)を凌駕する。本焼結体はダイヤモンド含有率が100%、かつ微粒であり、ダイヤモンド焼結体の理想形である。これを用いたバインダレスダイヤモンド工具は超硬合金の加工において従来のダイヤモンド工具比5倍以上の耐摩耗性を示す。本工具の登場により、従来の放電加工や研削・磨き加工に頼っていた超硬合金の加工において、切削加工の適用が活発化している。

4. 製品

産業界における加工能率・フレキシブル性向上に対するニーズの高まりから、ダイヤモンド粒子サイズや結合材量等の組織設計を行い、さまざまなダイヤモンド焼結体およびダイヤモンド工具が開発され

ている。

切削加工用バイト^{注1)}、フライス^{注2)}、バインダレス焼結体エンドミル^{注3)}等、さまざまな形状の工具となって幅広い分野の切削加工に用いられており、ダイヤモンド工具協会の集計では2022年のダイヤモンド切削工具の国内生産額は116億円(単結晶ダイヤモンド工具を含む)にのぼる。

5. 製法

ダイヤモンド焼結体工具の製造工程を図3に示す。ダイヤモンド粉末にコバルトなどの金属結合材を混合する。この粉末を、超高压高温発生装置を用いて、約5万気圧、千数百℃まで加圧・加熱すると、融解した結合材にダイヤモンド粒子が溶解し、再析出して、ダイヤモンド粒子同士がネックグロース^{注4)}した焼結体を得られる。この焼結体をワイヤー放電加工などにより、工具設計に対応した形状に切断する。切断された焼結体を、超硬合金の工具本体に、ロウ付けし、ダイヤモンド砥石で刃先の形状を整えて工具を製作する。

一方、バインダレスダイヤモンド焼結体は、原料は黒鉛のみを使用し、約15万気圧以上、二千数百℃を発生可能な超高压高温発生装置を用いて焼結さ

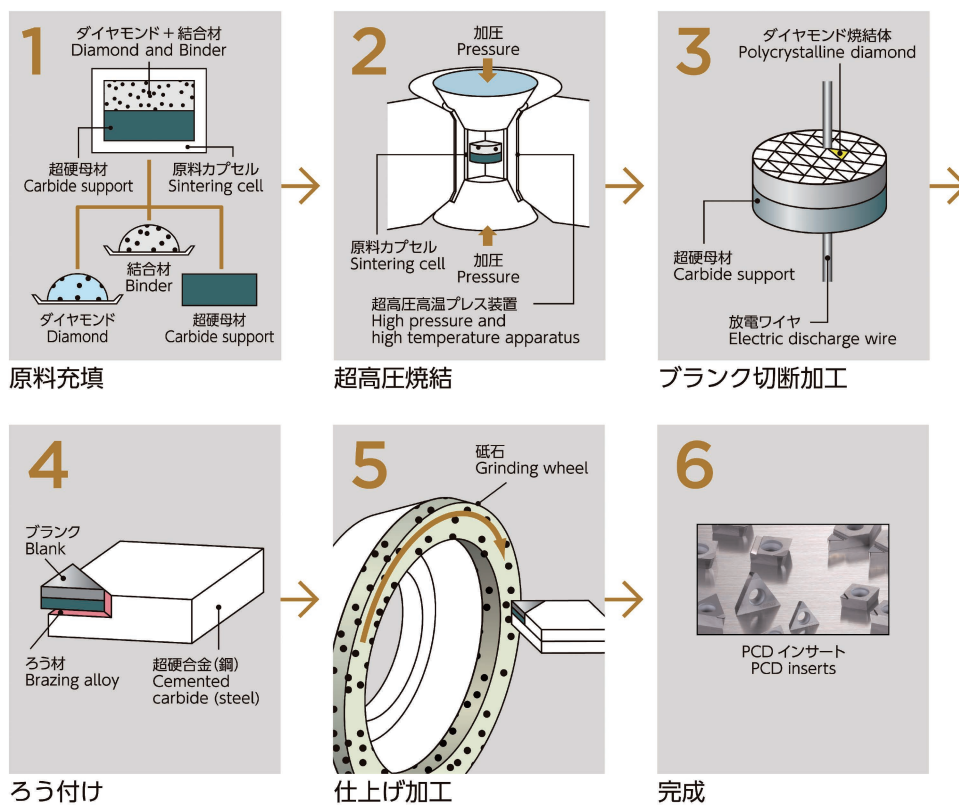


図3 ダイヤモンド工具の製造工程

ダイヤモンド焼結体は、超高压・高温発生装置を利用して焼結される。焼結体は高価なため、細かく分断して、工具の刃先に使用する。

出典元：住友電工ハードメタル

れる。これ以降の工程はダイヤモンド焼結体と同様である。

6. 現在・将来展望

脱炭素社会の実現には、製造プロセスでの消費電力低減に加え、消費電力の少ない製品の開発も欠かせない。例えば、自動車産業における電気自動車ではエネルギー効率向上を目指し、部材の軽量化を狙って素材が多様化していることに加え、部品の高機能化・小型化が進んでおり、その加工には高精度および優れた表面性状が求められる。これらのニーズに応えるため、ダイヤモンド焼結体の組織の微細

化、複合化などによる材料開発と共に工具デザインの開発が進められている。

これらの取り組みにより、今後もダイヤモンド工具は多彩な切削加工の要求に応え、産業の発展に貢献していくものと期待される。

[連絡先] 佐藤 武 (さとう たけし)
原田 高志 (はらだ たかし)
久木野 暁 (くきの さとる)
住友電工ハードメタル株式会社
ダイヤ・CBN 開発部
〒664-0016 兵庫県伊丹市昆陽北 1-1-1