

切削工具用材料の開発の歴史と将来展望

住友電工ハードメタル株式会社
常務取締役 開発統括部長（執筆時）

後 藤 光 宏

1. はじめに

産業を支えるものづくり、部品づくり、その加工の一翼を担うのが切削工具である。

切削加工は、数多くの自動車部品や、その他産業部品の加工に多用されている。この加工に関わる、工具業界・工作機械業界と顧客が目指してきたものは、生産性向上の為の高速化・高能率化であり、その為に工具メーカーは常に、最新の工具材料の開発に取り組んできた。本稿では、その切削工具材料の歴史と将来展望についてご紹介したい。

2. 切削について

当社では粉末冶金技術を活かした事業として、WC（炭化タングステン）を主原料とした超硬合金等の硬質材料、更に高硬度を目指したダイヤモンドや立方晶窒化硼素（CBN）を原料とした焼結体を主に切削工具用途として販売している。

超硬合金は1927年にドイツで発明されたもので、以来、各社が改良を重ね、現在は図1に示す、切削工具の主力材料系となっている。

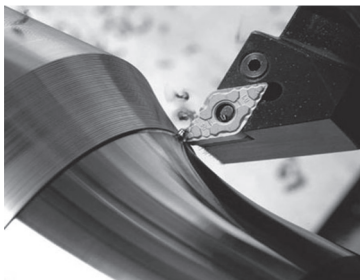


図1 切削加工シーン

切削工具は、被加工物である、主に金属を強制的に塑性変形させ切屑として不要な部分を除去し、所望の形状を得る為の機械加工の一つである。

主に刃先のポイントで加工を行う為自由度が高く、被削物の形状創成が容易で、短時間での加工が可能であり、自動車部品や産業機械、航空機産業等に幅広く採用されている。

切削加工は、被切削物の塑性変形・摩擦等に伴い、刃先は高温・高応力が付加される。例えば焼入鋼の場合では、刃先は温度800℃、切削抵抗が100N近くの過酷な使用環境になる。

従って、工具材料には、高温高硬度・高靱性・耐熱性・耐酸化性・低反応性等多くの機械的・物理的特性が要求される。

3.1 工具材料の変遷

工具材料の歴史は、早く、高能率、綺麗に加工するという顧客の要求に応じてきた軌跡そのものである。言い換えると、より固く、より耐熱性が高い材質の要求の歴史ということになる。

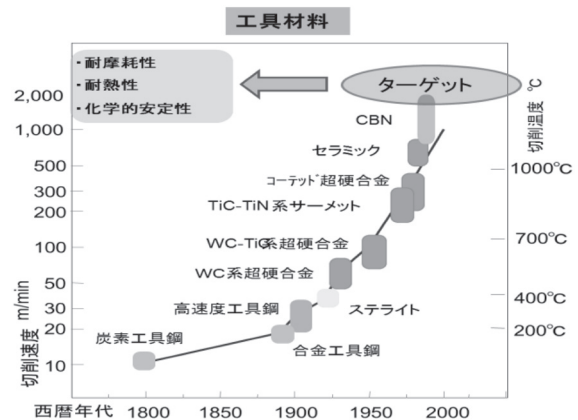


図2 切削工具用材質の変遷

図2は、開発された工具材料を切削速度と年代でまとめたもので、時代とともに高速化してきており、その為に材料はより硬く耐熱性のある、鋼からハイスへ、更に超硬合金・硬質膜コーティング・セラミックへと続き、最終的には、CBNといったダイヤモンドに次ぐ高硬度材料のような人工的に作られた化合物の登場となってきている。

このグラフから、加工の能率は新しい工具用材料の登場によって、前世紀に比較して今や10倍、100倍といった生産性を導いていることが判る。

3.2 工具材料

前述のような、材料の特性を比較したものを表1に示す。TiC, WCは現在、実用化されている工具の中で最も多用されている超硬合金（WC-Co系）やサー

表1 ダイヤモンドとCBNの特性比較

	CBN	ダイヤモンド	WC
結晶構造	ダイヤモンドと同じ (閃亜鉛鉱型)	ダイヤモンド型	
硬度Hv(GPa)	44	90~	21
熱伝導率(W/m・℃)	1300	2100	126
熱的安定性:大気中	1300℃まで安定	700℃より酸化	
鉄族金属との反応性	Fe,Co,Niに対し 1350℃まで反応性 に乏しい	Fe,Co,Niに対し 700℃で黒鉛化し、 反応する	Coと約1300℃で反 応する

メット（主に TiN, TiC-Ni, Co）の原料である。更に高硬度な材料としてはセラミックスであるが、その種類は多く、アルミナから窒化珪素まで用途により使い分けられる。

切削では、硬度は一般的に対象被削材の硬度の3倍程度は必要とされている。従って被削材が焼入れ等の高硬度化・難削化に伴い、必然的に高硬度のダイヤモンドやCBN焼結体が必要とされる。

3.3 ダイヤモンドとCBN

硬度・熱伝導率のみに着目して解釈すると、ダイヤモンドは最強無敵の工具材料になる。しかし残念ながら、ダイヤモンドは鉄系材料に対しては反応し易く、高温大気中では酸化・黒鉛化を生じてしまう為、アルミ等の非鉄金属、CFRPや硬質樹脂等の高硬度非金属材料加工に用いられる。

自動車産業で多く採用されている鋼の熱処理鋼の加工は、ダイヤモンドに次ぐ硬さを有し、熱的特性・耐反応性に優れるCBNが使われる。CBNは、GE社が1957年に超高温高压（HTHP）技術を使い、合成に成功した物質である。その結晶構造は閃亜鉛鉱型で、ダイヤモンドと同様の配位結合の為に高硬度の特性を示す。両材質ともに、主に粉末を焼結した焼結体として工具に使用される。この焼結体も同じHTHP装置にて製造する。装置サイズは数千～数万トンの油圧プレスで、圧力約5GPa、温度約1200～1500℃の条件下で焼結する。

図3にその圧力容器の断面を示す。

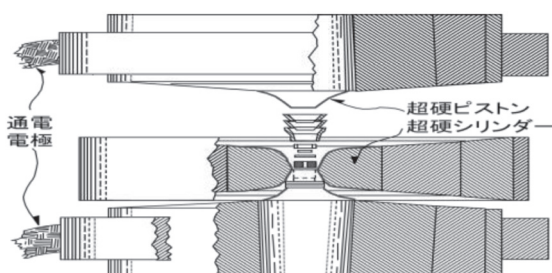


図3 超高压プレスの圧力容器

圧力を発生・封止させる金型は超硬材を採用し、破壊を回避するために特殊な形状に設計されている。内部は圧力を伝え、封止するパイロフィライトと言われる圧力媒体や高温にする為の黒鉛筒等が挿入され、上下容器に通電することで加熱し、容器内を1200～1500℃の高温高压に維持する。

図4に示すように、ダイヤモンド粉末とCoの混合粉を高温高压下で維持すると、液相化したCoにダイヤが溶解、再析出してダイヤ粒子同士がネックグロースした焼結体を得られる。

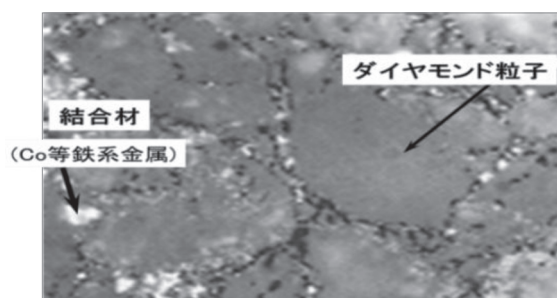


図4 ダイヤモンド焼結体（PCD）の組織

CBN焼結体もPCDとほぼ同条件で焼結を行うが、焼結プロセスは全く異なる。CBN焼結体はセラミックスとの複合焼結体で、窒化チタン・炭化チタンと副原料として金属アルミを出発原料とし、例えば、TiNの場合だと、 $TiN_z + Al + CBN \rightarrow CBN + TiB_2, AlB_2, TiN, AlN$ の様に、CBNのB、NとAl、Ti等を反応させ窒化、硼化物の反応生成物を介して焼結される。

4. 今後の切削加工技術とそれに応える工具材料

PCDやCBNに続く材料に要求される特徴は下記のようなになると考える。

先進国の立場では、コスト競争力維持から、より生産性を追求し、“高速化”が要求される。

これに応える為に材料として要求されるのは、より耐熱・耐酸化性が高い材料となる。同じく新興国対抗の為、市場は、高付加価値の仕事、切削加工へと必然的にシフトしていくであろう。その手段として、より加工の難しい材料の切削や切削プロセスの、たとえば高精度加工のようなより“高品質”への取り組みの強化が必要となろう。

その要求に応える材料開発の方向、方策はどのようなものであろうか。

- (1) 硬く：共有結合性材料（軽元素）
- (2) 低反応、耐酸化：平均自由エネルギー
- (3) 欠けに強く：破壊靱性値
- (4) 資源として確保できる：レアメタルレス

(4)について弊社では、タングステンのリサイクルに注力し、リサイクル技術開発を行い、スクラップ回収の循環システムも確立している。

(1)~(3)の難しい課題に対しては、現有の特性を伸ばす新材料を創生するに尽きる。

図5は工具材質の目指すべき方向を示している。

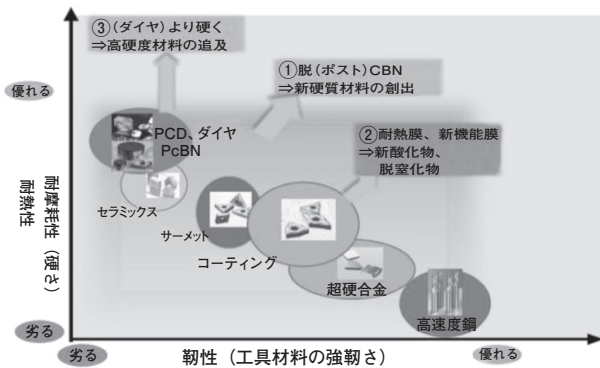


図5 工具用新材質の目指すべき方向

靱性・耐摩耗性を向上させるといえば、矛盾にも近い難しい命題であるが、アプローチとしては、下記の3方向が考えられる。

- ① ダイヤの弱点を克服し、更にCBNよりも優れた耐熱、耐反応性、靱性の追求
- ② 工具素材を補うコーティング技術における革新的な被膜の開発
- ③ 更なる高硬度を追求した材料の創出

①の新たな化合物の探索にはCBNと同様に、HTHP技術を採用したこの常圧の世界にない、高压相的な物質創成や非平衡物質の創成が近い将来、生み出されるかもしれない。

②の被膜は主にPVD（物理的蒸着）技術を用いて開発が進められている。膜質によって飛躍的に耐摩耗性、耐酸化性の向上、母材に無い潤滑性のような機能を果たす新組成膜も開発されている。

図6は高硬度で耐摩耗性を追求した2種類の組成の加工物をナノのオーダーで積層させた膜で、その2つの化合物そのものの特徴を活かすだけでなく、格子定数が異なる2つの組成が歪整合状態となって硬度な膜を創生させている。

図5の③については、単結晶ダイヤモンドより硬いバインダレスPCDを開発した。図7の右図の組織

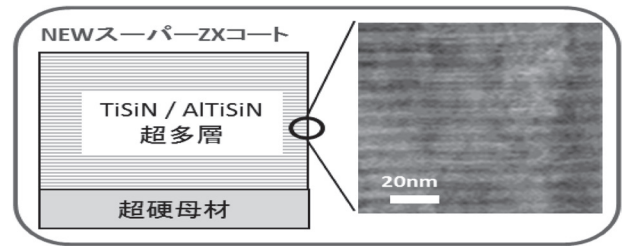


図6 超多層セラミック被膜の断面

のようにナノレベルの結晶組織を有し、その粒子一粒一粒がダイヤモンド単結晶で、結晶方位はランダムに合成されている。硬度が高くなる原因は解っていないが、単結晶の特徴である結晶面による硬度の違いが均一になっていることや、HTHP工程での応力付加等が原因と推定している。この材料の製造条件は、PCDの製造条件である圧力5GPaよりも遥かに高い圧力(15GPa)を発生させる技術が必要となる。

用途は、切削工具に加え、耐磨等が挙げられる。工具では、高付加価値の精密微細工具として製品化しており、従来切削加工が出来なかった超合金やセラミックスの加工が可能となったことを実験で証明出来ており、今後は金型業界の高効率化・高品位化の追及に寄与出来ると確信する。

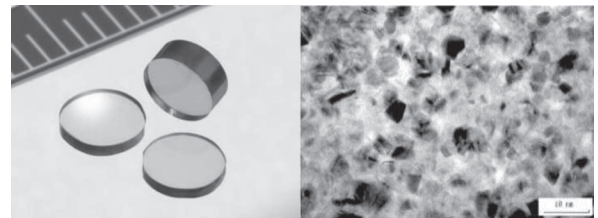


図7 バインダレスPCDの外観と組織

5. おわりに

工具は消耗品であるが故に、材料そのものの研究・開発は世間であまり注目されていないが、世界の各社は次世代の革新的な工具材料の創出を目指して、日々研究を重ねているものと確信する。

今回は、具体的な組成や物質名の記載は控えさせていただいたが、当社も、世界の、また特にニッポンの産業を支える工具を近い将来に披露できるよう、今後も研究開発を続けていきたい。

(冶金 昭和57年卒 59年修士)

現職：(株)アライドマテリアル 取締役 兼
(株)アライドダイヤモンド 取締役社長