

特集：住友電工の粉末冶金事業の淵源、 超硬材料の進化と未来

～鉄からマルチマテリアルへの変遷に対応した素材開発～



常務取締役
アドバンスマテリアル事業本部長
牛島 望

1. 当社粉末冶金事業の淵源

1920年代、当社大阪製作所の電線工場では、高速な伸線設備導入により、生産性の大幅な向上が期待されていた。しかし、伸線工程に於ける銅の加工点であるダイス^{*1}の材料は鋼であった。このため耐摩耗性が低く、設備の高速化に対応できず、急速な摩耗によってダイスが短寿命化するという新たな問題に直面した。頻りに設備を止めてダイスを交換しなければならず、折角高速化した設備の稼働率を狙い通りに向上させることができなかったのである。

一方、電球メーカーであるドイツのオスラム社にて、タングステンカーバイト(WC)を硬質相とし、コバルト(Co)をバインダーとした複合材料である超硬合金が1923年に発明された。WC粉末にCo粉末を一定割合で混ぜてプレス成形し、高温で焼結する粉末冶金製品の誕生である。1927年には同じくドイツの鉄鋼メーカーであるクルップ社が、WIDIAのブランドで超硬合金を発売し、粉末冶金製品が上市されることとなった。

このような欧州の技術開発動向に注目した当社では、超硬合金を伸線用ダイスに活用すれば急速摩耗による短寿命問題を解決できるとの目論見により、1927年にプロジェクトチームを編成して超硬合金の内製化に向けた研究開発に取り組んだ。このプロジェクトチームのリーダーの不撓不屈とも言えるバイタリティー、破天荒とも言える行動力と勤の良さは敬服に値する。何と、早くも翌1928年には超硬合金製ダイスの開発に成功し、伸線設備の高速化という課題解決の端緒を掴むことに成功している。このリーダーの着眼力の鋭さは、内製用加工材料として超硬合金を開発したことだけではない。超硬合金を外販用の切削工具材料に転用し、1931年にはイゲタロイ(イゲタロイ[®])というブランドネームまで付けて旋削用のバイト^{*2}を広く市場に発売したことである。当社粉末冶金事業の淵源はここにある。

その後、鉄粉やアルミ粉をプレス成形して焼結して自動車や家電製品の構造部品を製造販売する焼結製品事業、タングステンやモリブデンの粉末に銅粉等を混ぜて成形、焼結して電気接点や電極材、放熱基板を製造販売する機能材製品事業に多角化して今日に至っている。

2. 鉄系金属加工を主用途として進化してきた超硬工具

1931年に発売された当社超硬合金イゲタロイ[®]は、戦前は軍需部品、戦後は自動車部品や鉄鋼製品、機械部品等主に鉄系金属をターニング^{*3}またはミリング^{*4}加工するための切削工具として主に使用されてきた。超硬合金開発当初の対象であったダイス等の耐摩耗工具も事業の一翼を担ってきたが、一貫して主力をなしてきたのは切削工具であり、イゲタロイ[®]発売後85年になろうとする現在でもこの構図は変わっていない。著者が入社した1980年代には、鋳鍛造技術の進化により、金属部品の加工取り代は急速に減少してニアネットシェイプ化^{*5}していくとの予想が喧伝されていた。結果として切削工具の用途は減少し、小さな取り代の加工に向くチタンを主原料とするサーメット^{*6}材質が主流になるであろうとの予想も尤もらしくなされていたが、全く的外れであった。鋳鍛造技術も進化してきたのであろうが、自動車等の多機能化、高性能化、高品質化のニーズが拡大し、部品点数が増加するだけでなく、その形状がますます複雑化してきたため、鋳鍛造後に機械加工によって造形を仕上げるニーズが益々増大したためである。部品加工を手がけるメーカーでも、高速・高能率加工を追求するため、工具材質は超硬合金の上にCVD (Chemical Vapor Deposition) またはPVD (Physical Vapor Deposition) 処理を施したコーティング材質が主流となり、そのウェイトは現在でも拡大している。未だにサーメットは主に仕上げ加工用に利用されている状況である。

硬度の高い焼き入れ鋼や焼結部品の加工では、タングステンカーバイトを主成分とする超硬とは異なるCBN (Cubic Boron Nitride) 材質が使われるケースが多いが、刃先はCBNでも台金は超硬であるのが一般的であり、更に近年ではCBNの上にPVDコーティングを施す製品が増加しており、コーティング、特にPVDコーティングのウェイトが高まっている。ドリルやエンドミル^{*7}等いわゆるラウンドツール^{*8}の場合も、超硬母材にPVDコーティングを施すのが一般化している。

このように、超硬工具は主に鉄系金属加工用途に進化してきたが、母材は80年前と同じくタングステンカーバイトが未だに主流であり、それを置き換えるだけの材質がなかなか登場しない状況である。タングステンカーバイト+コバルト合金の持つ優れた剛性、硬度と靱性の絶妙なバランスの良さ

が、超硬工具をして非常にライフサイクルの長い工業製品を生み出していると言えよう。

3. 被削材料のマルチマテリアル化と今後の見通し

このように、鉄系金属部品加工を主用途に需要が拡大してきた超硬工具であるが、今世紀に入り、非鉄金属、非金属の加工用途が急拡大している。最大の要因は、市場の拡大が見込まれる反面、環境・エネルギー制約の大きな自動車、航空機等の分野で、燃費改善に向けて、軽量化のニーズが従来以上に叫ばれるようになったことである。自動車の場合、ハイブリッドカー等の普及によって内部構造の複雑化による部品点数の増加によって自然体では車体重量が増加してしまうため、それをオフセットするためにも軽量材料へのシフトが求められている。

超ハイテン鋼^{※9}やホットスタンプ材^{※10}等、軽量化に向けて鉄系材料自体の改良も進んでいるが、パワートレイン^{※11}関連部品では、アルミ化が急速に進んでいるだけでなく、ミッションケースのマグネシウム化、インテークマニホールドや燃料タンクの樹脂化、プロペラシャフトのCFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastic) 化等の開発テーマが具体化している。鋼の比重7.8 (g/cm³) に対して、アルミ2.7、マグネシウム1.8、CFRP1.2~1.5と、軽い材料へのシフトは今後ますます進展すると思われる。自動車用途は潜在需要が格段に大きく、当社も開発に取り組んでいる難燃性マグネシウムや航空機用CFRPをVE (Value Engineering) 化したとも言える熱可塑性CFRP等が今後どのように採用されて行くかが注目されている。品質、性能、コスト、リサイクル性等で、素材間競争の激化が予想される。日本だけでなく、ドイツ、米国等でも同様のトレンドにあると言われ、切削工具の被削材はグローバルにマルチマテリアル化して行くものと思われる。

同様に、航空機でも軽量化の進展は目覚ましいものがある。機体にCFRPが多用されるようになってきているだけでなく、インコネル等のニッケル合金の代わりに、比重が3分の1の窒化珪素セラミックの複合材CMC^{※12}を使用する研究開発も進んでいる。

4. マルチマテリアル化に対応した工具材料とデザイン

当社の工具材料開発の方向性としては、依然需要面で大きなウェイトを占める鋼、鋳鉄、ステンレス、焼結部品、耐熱合金等の鉄系材料をより高速高能率に加工する、従来からの延長線にある材料の改良を進めるとともに、以上のようなマルチマテリアル化に対応した材料、デザイン開発を強化していくことが重要である。被削材の非鉄金属化、非金属化に対応するのはいずれもPCD (Poly Crystalline Diamond) や単結晶ダイヤモンド等高温高压技術を利用したダイヤモンド材料が中核をなしていくであろう。その中でも、超硬合金製の精密金型の加工や硬質セラミック部品の加工等、従来のダイヤモンド工具では加工が困難だった用途には、単結晶ダイヤモンドより更に硬度、強度が高く、単結晶ダイヤモンドの使用上の難点である異方性を排除したバインダレスナノ多結晶ダイヤモンドの用途拡大が期待される。

他面、PCD、単結晶ダイヤモンド共に、工具デザイン上の制約が大きいのが課題である。PCDは円板形状の板状の焼結体からの切り出しが一般的であり、単結晶ダイヤモンドと同様

に刃先の一部を直線的に構成することしかできない。その意味で、超硬母材にDLC (Diamond-Like Carbon) コーティングまたはダイヤモンドコーティングを施したラウンドツールは、CFRPのドリル加工等に今後も用途を拡大しよう。高温高压で成形するブランク形状を容易に3次元化することができれば、ダイヤモンドやCBNのデザイン自由度が上がり、その用途は格段に拡大させることができるだろう。

また、この数年、射出成型や金属3Dプリンターを活用した、3次元デザインの工具が徐々にではあるが市場に出始めている。これらの技術をダイヤモンドやCBNに活用するのは現状では困難であるが、射出成型は超硬の刃先交換チップやドリル、金属3Dプリンターは鋼のホルダーやカッターに使用されており、今後のデザイン開発上の重要なツールになるであろう。

用語集

※1 ダイス

金属線を製造するために使う円錐状の穴を持つ工具で、この穴に金属線を通して引き抜き、細長く加工する。

※2 バイト

旋盤、中ぐり盤、平削り盤、形削り盤、立削り盤などに使用し、シャンクまたはボディの端に切れ刃を持つ切削工具の総称。

※3 ターニング

回転している材料に切削工具 (バイト) を押し当てながら移動させることにより、必要な形状・精度に加工する方法 (旋削)。

※4 ミリング

多数の切れ刃を持つ回転工具 (フライスカッター・エンドミル等) により、品物の平面・曲面部等の面加工を行う切削加工。

※5 ニアネットシェイプ化

切削加工などの除去加工の手間やコストを減らすことを狙い、最終製品に近い形状を得る成形法。

※6 サーメット

セラミック (ceramic) とメタル (metal) の複合語であり、チタンベースの硬質化合物と金属の結合材を混合して焼結した複合材料。

※7 エンドミル

工具外周面、および端面に切れ刃がある、柄のついた工具。工具を回転させて移動することにより、平面や壁面の切削加工を行う。

※8 ラウンドツール

ドリル、エンドミル等、自らが回転して、品物を加工するような工具。

※9 超ハイテン鋼

引張強さが1000MPa以上の鋼を超ハイテン鋼という。ハイテンとは、High Tensile Strength (高引張強さ) を略したものの。

※10 ホットスタンプ材

ホットスタンプ製法に用いられる、一般にMn、B等を添加したボロン鋼。ホットスタンプは、加熱・軟化した鋼板を金型成形した後、金型ごと冷却・焼入れを行い、高強度のプレス部品が得られる製法。

※11 パワートレイン

エンジンで発生したエネルギーを駆動輪まで伝える一連の装置類。エンジン、トランスミッション、ドライブシャフト等。

※12 複合材CMC

軽量・耐熱・高強度のセラミック複合材料 (Ceramic Matrix Composites)。航空宇宙エンジン用構造部材の材料として研究開発が進められている。