

建設・鉱山工具用超硬合金の製造法及び開発動向

谷 元 耕 作

トンネル工事や基礎工事、鉱山開発や採掘に用いられる工具を総称してビットと呼び、このビットには岩盤を破碎、切削するに足る硬質な超硬合金が利用されている。

ここでは、超硬合金に関する一般的な説明を中心に、高削孔速度、高寿命、高耐久化を図るための、製造法、改良の取り組みについての現状を紹介する。

キーワード：ビット、超硬合金、シールドマシン、長距離掘削

1. 超硬合金とは

超硬合金は、一般的に硬質粒子であるタングステン炭化物(以下 WC)とバインダー(硬質粒子同士を接合するための糊の役目)としてのコバルト(以下 Co)からなる。

(1) 製造方法

代表的な製造方法について、図-1のフローチャートに沿って説明する。

適切に調整された粒度を持ち、決められた配合比を持った原料粉末である、WCとCoをアトライターやボールミル等の混合機を用い湿式で混合・粉砕し、均一に混合する。これらは最適な粒度を持ったスラリー状の混合溶液になる。

ボールミルの混合・粉砕の模式図を図-2に示す。

この混合溶液をスプレードライ法等により、乾燥造粒を行い、超硬合金粉末を生成する。

このスプレードライヤーの模式図を図-3に示す。

次に、この粉末をプレス成型等により、所定の形状に成型する。

この成型品を、一般的には真空中で焼結(Sinter)し、焼き固めて製品とする。

求められる特性によっては、熱間静水圧プレス(Hot Isostatic Pressing : HIP) 処理や、焼結とHIP処理を同一工程内で行う、Sinter-HIP処理を行うこともある。

(2) 超硬合金の組織について

超硬合金は、図-4に示すように超硬粒子であるWCと結合相であるCoからなっており、高硬度による耐摩耗性と、結合層による靱性を備えた材料である。

しかし、粉末原料をプレス成型した後、一定温度で焼結(Sinter)した合金であり、焼結して得られた超硬合金組織の緻密さと超硬合金の欠損性には相関が見られる。

この組織の緻密さを向上させる手段として、前述したHIP処理や、Sinter-HIP処理などがある。

これらの追加処理を行うことによって、性能向上を図ることも出来る。

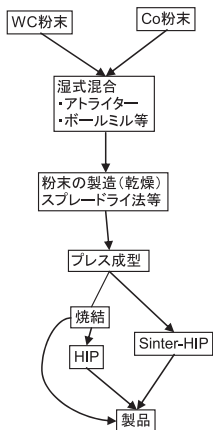


図-1 製造工程

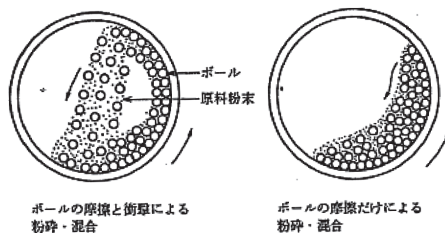


図-2 ボールミルの混合・粉砕の模式図

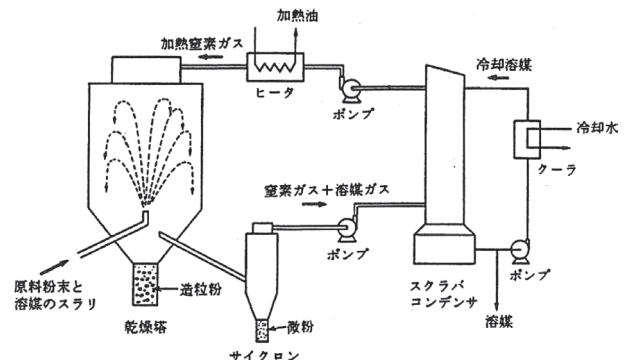
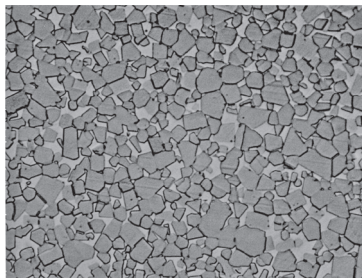


図-3 スプレードライヤーの模式図



図一4 超硬組織の一例（粒状のものが、硬質粒子であるWC）

2. 長寿命・耐久力向上について

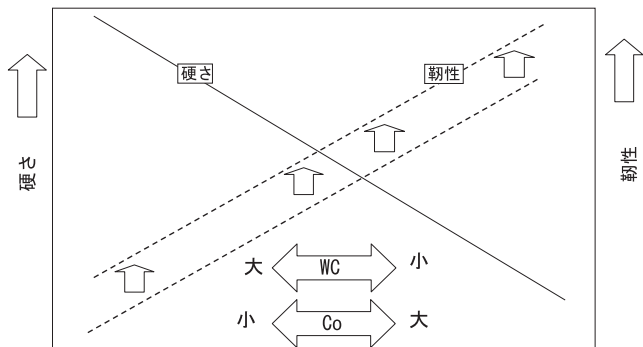
超硬合金は、基本的にWCとCoからなる合金であり、性能向上のためにはWC粒の粒度のみならず、粒度分布、WC粒強度の影響も受ける。

一般的に、図一5に示すように、硬質粒子であるWC比率を上げると、バインダーであるCoが減少し、硬度が上がり、靱性が低下する。

従って靱性をこれまで以上に向上させることにより、同一条件であればより高硬度の耐摩耗性に優れた超硬合金の使用が可能となり、この事は同時に超硬合金の適用範囲の拡大にもつながる。

そこで、製品長寿命化のためには、以下の2点が重要である。

- ・超硬合金の靱性向上
- ・台金摩耗を抑えるための肉盛材の耐摩耗性



図一5 超硬合金の硬さと靱性の関係（模式図）

(1) 超硬合金の靱性向上について

削孔工具には、大別すると、以下に示す2種類の削孔法があり、①回転掘削、②打撃削孔、に分類される。この用途に合わせた、超硬合金のグレード例を表一1に示す。

はじめに回転掘削用材種の例を示す。

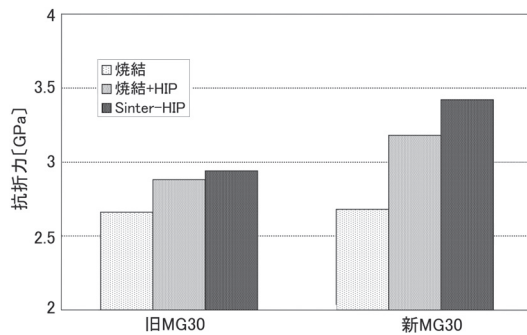
回転掘削は、ビット刃先部を押し付けながら回転することにより、岩石を連続的に、圧砕し掘削する方式であるため、刃先形状を長時間維持できるよう、耐摩耗性の高い高硬度のものが理想的である。

しかし、一般的には前述（図一5）したように、硬度と耐久損性は相反するので、むやみな高硬度品の採用は、早期欠損を招き、カッタービットのライフを減少させる。そのため、比較的硬度の低い超硬合金グレードである、JIS E5相当が一般的であった。

ところが近年、岩盤掘削、長距離掘進を実現するために、従来のJIS E5相当に代わり、耐摩耗性の優れた比較的高硬度の超硬合金グレードである、JIS E3相当を採用するケースが多くなってきている。そのニーズにこたえるべく、従来E3相当材種より、耐久損性が高く、耐摩耗性に優れた製品が実用化されている。

当社での試験結果の一例として、原料の硬質粒子であるWCから見直し、開発したE3相当材種である、新MG30と旧MG30の性能比較例を図一6に示す。

ここで、抗折力とは一般的に超硬合金の強度を評価す



図一6 抗折力試験結果（当社製品例）

表一1 超硬合金グレード

JIS使用分類記号	材種名	硬度 (HRA)	抗折力 (kg/mm ²)	チップ特性	適用工具	岩質区分	作業方法
E1	MG10	90.5	>160	↑ 耐摩耗性向上	ボタンビット	硬岩	回転さく孔
E2	MG20	90.0	>160		ボタンビット、ダウンザホールビット	中硬岩	回転さく孔
	MG25	89.3	>170	ボタンビット、クロスビット	中硬岩	回転さく孔	
E3	MG30	88.0	>160	↑ 靱性向上 ↓ 耐衝撃性向上	テーパビット、クロスビット 都市開発用工具(カッタ類)	中硬岩	回転さく孔
E4	MG40	87.5	>180		テーパビット、クロスビット 都市開発用工具(カッタ類)	中硬岩	回転さく孔
E5	MG50	86.5	>230		都市開発用工具(カッタ類・ローラーカッタ)	軟岩	切削
—	MG60	84.5	>240	都市開発用工具(カッタ類・ローラーカッタ)	軟岩	切削	

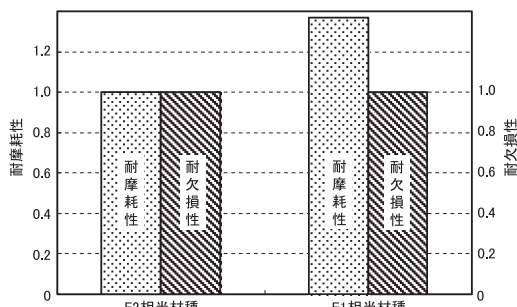
るひとつの指標である。通常は3点曲げ試験法で行われ、2点支持された試料の中央部に加重を加え、試料が破断した荷重を基に算出する。この抗折力の高さは超硬合金の強度を示すとともに、組織の緻密さにも関係する。

次に、打撃削孔用工具の例について紹介する。

はじめに打撃削孔とは、油圧、空圧、水圧等によって作用するドリフターやDTHハンマーのピストンで発生した打撃エネルギーを、工具先端に取り付けたチップ刃先部に、衝撃エネルギーとして伝達し、岩石を粉砕し、回転、推進エネルギーで前進し、掘削する方法である。

したがって、ボタンビット等の打撃削孔工具では耐摩耗性に優れた、主にJIS E1～E3相当の比較的硬い超硬チップが主に使用されている。従来から、耐欠損性と耐摩耗性のバランスの取れたJIS E2相当が主に製造・販売されている。

前記と同様に、近年のビット交換頻度減による削孔効率向上、硬岩帯での長寿命化等の要求が高まっており、耐欠損性は従来品と同等であり、硬度が高く耐摩耗性の高い、E1相当材種も販売され始めた。当社での例として、従来のE2相当品をベンチマークとし、耐摩耗性、耐欠損性を1とした場合の比較試験結果を図一七に示す。表一に示したE2相当(HRA硬さ90.0)材種に対して、E1相当(HRA硬さ90.5)材種の耐摩耗性が1.3倍となった例である。

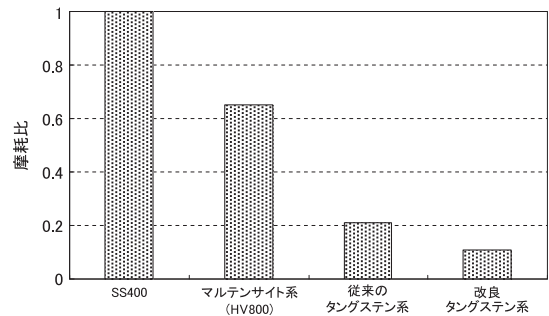


図一七 摩耗性、耐欠損性試験結果例

(2) 肉盛材の耐摩耗性改善について

回転掘削工具では、近年、岩盤掘削、長距離掘進を実現するために、耐摩耗性の優れた比較的高硬度の超硬合金グレードである、JIS E3相当を採用する例が増えるにいたが、台金の耐摩耗性向上の要求が増加している。

そのため、図一八に示すように、ピッカース硬さHV800程度のマルテンサイト系硬化肉盛が施されてきたが、より高硬度のHV1000程度のウエルニット等のタングステン炭化物系硬化肉盛をビットボディに施し、摩耗量を1/3に低減してきた。さらに、近年の更なる台金摩耗の低減化要求に対して、従来のタングステン系肉盛材の摩耗現象の徹底的な解析により、衝撃



図一八 摩耗性試験結果 (当社での例)

荷重下では、タングステン炭化物の破壊-脱落による摩耗が主体であることが判明した。よって、その欠点を補うべくタングステン炭化物粒子そのものの耐衝撃性を飛躍的に向上させることによって、衝撃等による超硬粒子の脱落を防止し、マルテンサイト系の6倍の耐摩耗性を持ち、従来品と比較しても約2倍の耐摩耗性を持たせた製品も実用化された。

3. 資源について

超硬合金に用いられている、タングステンとコバルトは、レアメタルである。

主要な鉱山は比較的カントリーリスクの高い中国やアフリカに偏在している。この点からも、再資源化の難しい削孔工具では、省資源化が求められている。

今後は、リサイクルが困難な製品の性質上、資源の安定確保も重要となる。

従って、摩耗量減少をキーワードに、同等以上の性能を維持しつつ、使用量削減が重要になると考えられる。

4. おわりに

建設工具には、従来にもまして製品のコストダウンは当然のこと、使用ライフ向上も求められている。

この記事が、製品開発状況の御理解を得る手助けになれば幸いである。

JCMMA

《参考文献》

超硬工具協会：超硬工具ハンドブック (1998)

【筆者紹介】

谷元 耕作 (たにもと こうさく)
 三菱マテリアル(株)
 加工事業カンパニー
 超硬製品事業部 販売統括 3部
 建設工具グループ 両国駐在
 トンネル土木チーム リーダー

