

Techno Scope

新興国における自動車産業の成長によって、自動車部品などの加工に多用される超硬工具の需要が伸びている。超硬工具は炭化タングステンとコバルトから成る超硬合金を使用した工具のことで、抜群の性能を持つ。特に鉄系材料の切削には不可欠である。

超硬工具の主原料であるタングstenは、そのほとんどを中国1か国から輸入しており、最近、価格が高騰している。そのため、超硬工具におけるタングstenの使用量低減、または代替をめざした新材料の開発が進行している。

写真は超硬工具によって鋼が高速切削されているところ。
金色の四角いチップが超硬工具。

(写真提供：住友電気工業(株))

タングstenに頼らない 新しい工具材料の開発

タングstenに依存する超硬工具

今年4月1日から、超硬工具メーカー各社は一部製品の値上げに踏み切った。主原料であるタングstenの国際価格が高騰しているためである。2005年以降、急激に価格が上昇し、現在は過去最高値を更新している。世界において超硬工具の需要が増加していることや、最大の供給国である中国が輸出制限を行っていることなどが影響している。

タングstenは、その名をスウェーデン語のTung(重い)Sten(石)に由来し、最も重い元素の一つである。その融点は約3400℃と金属中最も高く、耐食性、熱伝導性、電気伝導性に優れ、高温下において金属中最も高い引張強度を発揮する。また、タングstenの合金や炭化物は、優れた切削性と耐摩耗性を持ち、超硬合金や特殊鋼、照明のフィラメント等に使用されている。

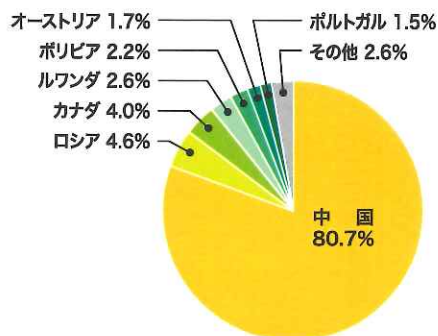
超硬合金とは、一般に炭化タングstenとコバルトなどの粉末を混合して焼き固めた材料である。剛性、強度、靱性、熱衝撃性が抜群に優れることから、工具に多用されている。例えば最も硬

い工具用材料としてダイヤモンドがあるが、耐摩耗性に優れるものの、数百℃で鉄と反応するため、アルミニウムや銅には使用可能だが、鉄系材料には不向きである。鉄系材料の加工には靱性と強度、熱伝導率の

高い工具が必要となる。超硬合金を使用した工具は、材料の切削加工を高精度かつ短時間で行え、切刃の耐久性も優れている。そのため鉄系材料の切削加工には不可欠となっている。

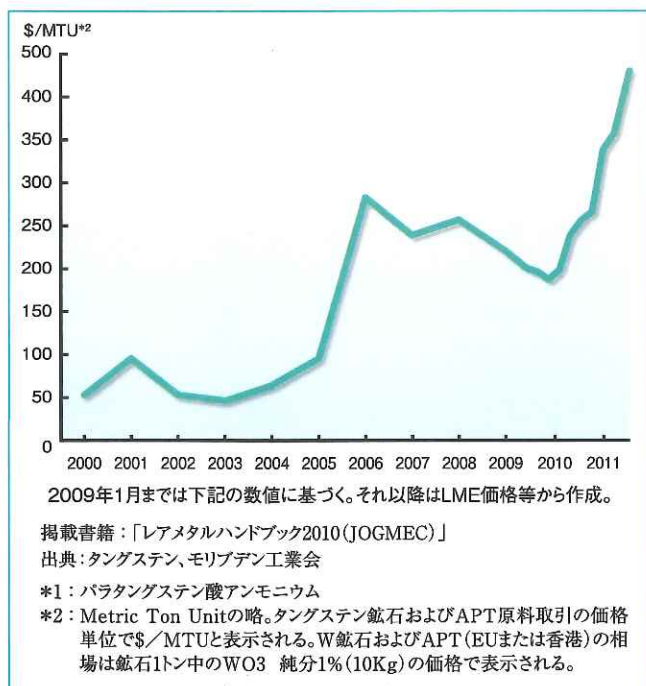
超硬工具に多用されるタングstenは、現在、供給のほとんどを中国に依存している。中国は世界一のタングsten供給国であり、最近では世界一の需要国ともなっている。中国はタングsten

■世界のタングsten鉱石生産量(2008年)



掲載書籍：レアメタルシリーズ2009クロム及びタングstenの需要・供給・価格動向等(JOGMEC)
出典：World Metal Statistics Yearbook

■タングステン中間原料APT*1の価格推移



鉱石での輸出を禁止し、中間原料での輸出、さらには最終素材や製品での輸出へ移行する政策をとっており、その動向は大きな影響力を持つ。今後の安定供給への不安から、「タングステンが入手できなくなったら超硬工具は成り立たなくなる」と危惧するメーカーもいる。資源に乏しい我が国においては、タングステンに頼らない工具材料の開発が急務となっている。

■これまでの要素技術を生かした省タングステン化

現在、超硬工具向けタングステンに関する研究開発には二つのアプローチがある。一つはタングステン使用量の低減であり、もう一つは代替材料の開発である。

超硬工具を用途で分けると切削工具が7割を占め、次いで耐磨耗工具、鉱山土木工具などがある。最も多い切削工具に使用される超硬合金の主体は、WC-(Ti,Ta)C-Co合金で、WC含有率(mass%)は70~90%となっている。切削工具には刃先交換チップやドリル、エンドミル等があるが、チップは多量に使用され、切削工具の大半を占める。このチップをターゲットとし、タングステンの使用量低減が進められている。

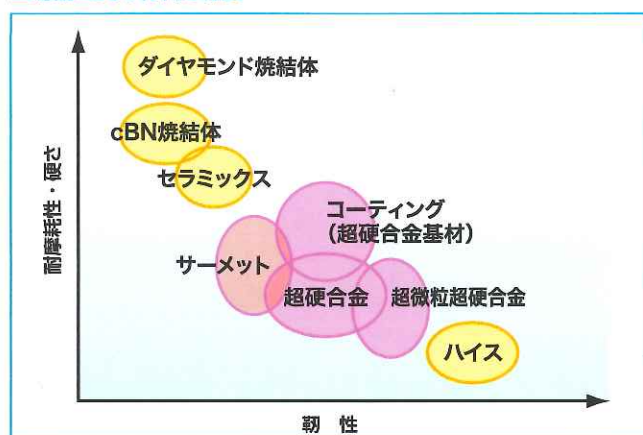
チップの種類は膨大である。被削材や加工部位の形状、使用環境に合わせて開発されており、1社で2万種以上のチップを取り扱う超硬工具メーカーもある。また新製品が次々と登場し、入れ替えも激しい。背景には、高強度鋼や鉛フリー鋼など難切削な被削材が増加していることや、ユーザーからの高速、高能率加工への強い要求がある。これまで日本はチップを長持ちさせるため他国に比べ低速加工が主流であったが、国際競争の厳しい現在



刃先交換チップ

バイトに取り付けられ、切削に使用されるチップは形状や刃先の角度、材質、厚みなど、被削材や使用環境に合わせて数多くの製品が開発されている。表面の凹凸模様はチップブレーカで、切り屑処理を行う。写真は鋼用高速切削チップ（資料提供：住友電気工業(株)）

■切削工具の材料と特長



■進行するレアメタル対策技術の開発

今後のレアメタルの安定供給に対する不安があることから、タングステンの他にもレアメタルの使用量低減または代替材料技術の確立をめざすプロジェクトが進行している。

2007年度より始まった(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)「希少金属代替材料開発プロジェクト」では、インジウム、ジスプロシウム、タングステン、白金族、セリウム、テルビウムおよびユーロビウムをターゲットとし、それぞれに使用原単位の低減目標値を定め、実現するための要素技術や製造技術の開発を行っている。

タングステンに関しては「超硬工具向けタングステン使用量低減技術開発」と「超硬工具向けタングステン代替材料開発」が進行しており、使用量低減の技術開発では、2009年度の間目標(20%削減)を達成し、2011年度の間最終目標であるタングステン使用量30%削減をめざし開発が進められている。また、タングステンのリサイクルも進んでおり、(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構(JOGMEC)では2007年度より、廃超硬工具からタングステンを回収する技術の開発が開始されている。

では、生産性向上のため高速加工へ移行しつつある。通常、鋼材を切削すると、摩擦によって刃先は約1000℃に近い高温にさらされるが、高速加工に伴い使用環境はさらに高温、高圧になっており、厳しい条件に耐えるため数々のチップが開発されてきた。

これらのチップが持つ要素技術を生かしながら使用量低減を図るのが、複合構造という考え方である。(独)産業技術総合研究所と住友電気工業(株)の研究グループ*では、チップの上下面だけを超硬合金を使用し、真ん中はサーメットとする、複合構造のチップを研究開発している。サーメットとはセラミックスと金属の合成語で、炭化チタンや炭窒化チタンの粉末を遷移金属とともに焼き固めた材料である。

この構造だと、刃物となる表面は従来の技術を生かすことができ、内部はタングステンの使用量低減が図れる(下図参照)。特に表面が超硬合金であるため、チップブレーカのプレス成形が可能となる。チップブレーカは、切り屑処理を行う表面の凹凸のことで、切り屑がブレーカにあたり切り離される。特に鉄系材料の切削には重要で、例えば鉛フリー鋼などは切り屑がのびやすく切れにくいので、チップブレーカが不可欠となる。長年にわたって被削材に合わせた3次元形状が追求されてきたため、ノウハウが詰まったチップブレーカの機能を付与できるメリットは大きい。

*NEDO「超硬工具向けタングステン使用量低減技術開発」(2007～2011年度):
参加機関は(独)産業技術総合研究所、住友電気工業(株)、三重大学

タングステン使用量30%減をめざす

複合構造チップの製造方法は、まずサーメット粉末をプレスし、これを挟むように上下に超硬合金粉末を入れプレスを行った後、焼結する。しかしサーメットと超硬合金との熱膨張率や焼結温度などが異なるため、亀裂が入ったり剥離するなど、異種硬質材料の焼結は非常に難しい。そこで、剥離を抑えるため、焼結時に界面で反応層を発生させるような原料組成を調整し、かつ積層プレス成形技術を開発することにより、異種硬質材料の同時焼結を成功させた。

試作チップの表面には3次元チップブレーカが付与され、通常のCVD、PVDコーティングが施された。このチップの切削性能について調べたところ(下試験結果参照)、指標となる刃先の摩耗量、欠けやすさ等は従来品と同等であった。タングステン使用量は20%削減されており、今後は30%削減をめざす。

チップは使用される切削工程で分けると、重切削、荒削り、中仕上げ、軽切削、仕上げ用に分かれるが、複合構造チップはこ

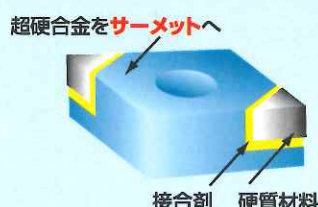
超硬工具のタングステン使用量低減

●考え方

●複合構造〈汎用切削用〉



●基材をサーメットへ〈焼入鋼の仕上げ工程用〉



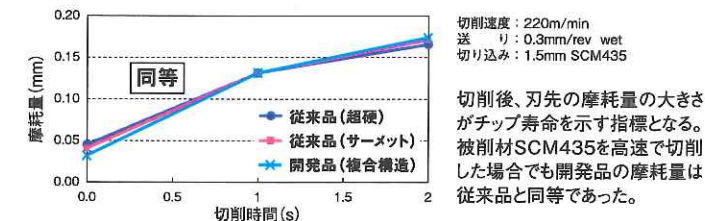
●複合構造の試作チップ



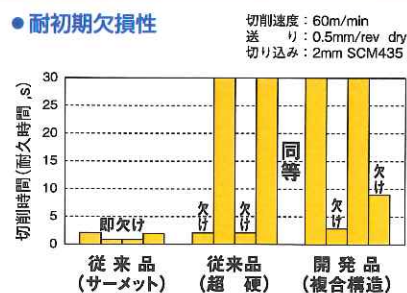
写真左はPVDコーティング、右はCVDコーティングを施したもの。

●複合構造チップの切削性能試験結果

●耐摩耗性



●耐初期欠損性



耐初期欠損性は刃の欠けやすさをみるもので、低速切削で抵抗値を大きくし、刃が欠けやすい条件で4回テストしたところ、サーメットは数秒ですべて欠け、開発品は超硬チップと同等の耐久性がみられた。

(資料提供: 住友電気工業(株))

れら全てへの適用が考えられおり、汎用的に使用されるには製造コストを低く抑えることが重要となる。タングステン使用量の低減で原料価格が抑えられる他、現状の製造コストと同等となる焼結技術の開発が進んでおり、今後の実用化が期待される。

一方、焼入鋼の仕上げ切削は特殊で、焼入で表面が硬化するため、これまでは研削加工が行われていたが、近年、硬度の高いcBN（立方晶窒化ホウ素）等を利用することで切削加工が行われるようになってきている。この焼入鋼等の仕上げ工程に使用されるチップについても同グループでは研究開発を行っている。

このチップは刃先部分にcBNやダイヤモンド焼結体を用いて、基材には超硬合金が使用されている。硬く脆い焼入鋼は切り屑が切り離されやすいため、チップブレーカは不要である。チップブレーカが不要なため、上下面も含め、まるごと基材部分をサーメットに置き換えようという試みである。

通常はcBN焼結体と超硬合金はろう付け接合されるが、サーメットは熱電導性が低く熱がこもりやすいため、ろう付けができない。そこで熱による影響を抑えるため、瞬時に接合可能な接合技術を開発した。試作チップの切削性能は従来品と同等で、その質量は約半分、タングステン使用量は30%削減している。

タングステン代替をめざすサーメットの開発

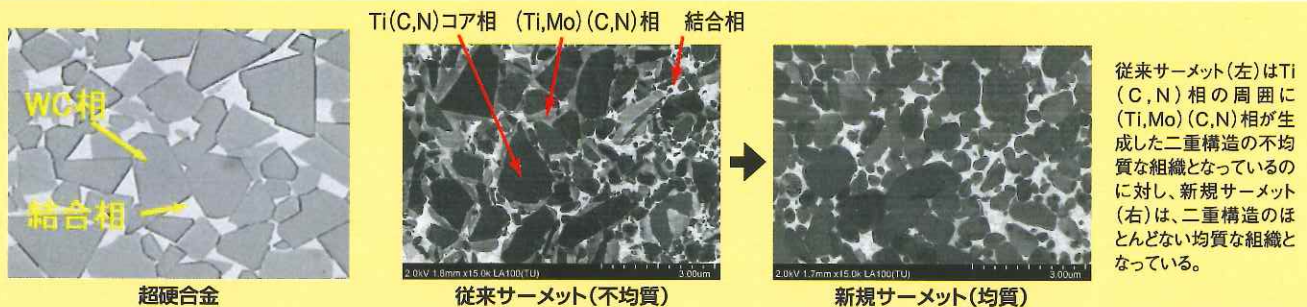
一方、タングステン代替をめざす研究も進んでいる。超硬合金の代替材料として期待が寄せられているサーメットの標準成分系は、Ti(C,N)-WC-TaC-Mo₂C-Ni-Coで、WC含有率（mass%）は5～20%である。

すでにサーメットは切削工具として使用されており、日本では

■サーメットと超硬合金の主な材料特性

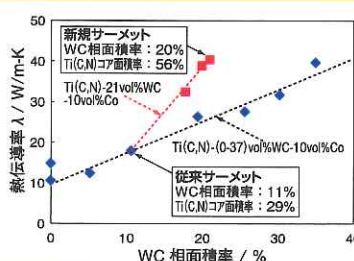
		粒径 mm	硬さ Hv	抗折力 (室温) GPa	KIC MNm ^{-3/2}	抗折力 (1000℃) GPa	クリープ 変形抵抗 (相対比較)	熱衝撃抵抗 (相対比較)	熱伝導率 W/mK
サーメット	TiC系	1.5 ~ 2.2	1180 ~ 1280	2.2 ~ 2.4	13 ~ 15	0.6 ~ 0.7	1	1	10
	Ti(C _{0.7} ,N _{0.3})系	0.8 ~ 1.3	1300 ~ 1410	2.7 ~ 3.4	10 ~ 12	0.65 ~ 0.75	0.3	1.5	15
	Ti(C _{0.5} ,N _{0.5})系	0.6 ~ 0.9	1400 ~ 1480	2.8 ~ 3.2	9 ~ 11	0.7 ~ 0.85	0.1	1.6	18
超硬合金	WC-10%Co	1.0 ~ 2.0	1200 ~ 1300	3.0 ~ 3.8	13 ~ 20	0.6 ~ 0.8	1.1	8	80

■超硬工具のタングステン代替材料開発



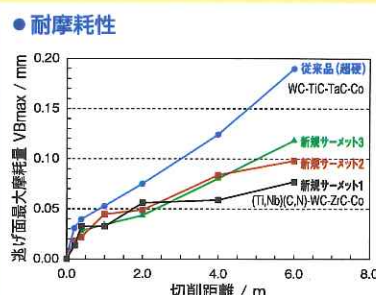
従来サーメット(左)はTi(C,N)相の周囲に(Ti,Mo)(C,N)相が生成した二重構造の不均質な組織となっているのに対し、新規サーメット(右)は、二重構造のほとんどない均質な組織となっている。

●高熱伝導サーメット



チップは摩擦熱で高温にさらされるため放熱性が求められるが、組織制御によってTi(C,N)コアの面積とWCの面積を大きくすることで、同じW添加量でも、40W/mKまで熱伝導率を高めることができた。

●新規サーメットの切削性能試験結果



<切削条件> フライス加工
切削速度：200m/min
送り：0.25mm/t
切り込み：2mm
被削材料：S55C

摩耗量は超硬合金に比べ、新規サーメットの方が少なかった。



超硬合金



新規サーメット

●耐摩耗性

試験試料	超硬合金	新規サーメット		
WC量 (vol%)	58	21	21	10
結合相量 (vol%)	11.3	12	14	12
Hv	1552	1540	1486	1654
K _{IC}	11.1	8.7	9.4	8.2

(資料提供：(財)ファインセラミックスセンター、(株)ダンガロイ、富士ダイス(株))



ダイス

プラグ

切削工具全体の約15%を占めている。しかし韌性、熱衝撃抵抗、熱伝導率で超硬合金に劣り、軽切削での使用にとどまっている。いわば超硬合金に次ぐ二番手の存在だ。1920年代に超硬合金が登場してから、長年にわたって工具材料が探求されてきたものの、いまだ超硬合金を凌ぐ材料は現れていない。この抜群に優れる超硬合金の性能に少しでも近づけ、中・軽切削でのサーメット適用を広げようというのが代替材料研究の考え方である。

通常、サーメットは混合粉末を焼結するが、現在の方法では混合が不十分なため、不均質な組織となり、これが特性の低下やバラツキに繋がる。そこで、(財)ファインセラミックスセンターを中心とする研究グループ*は、あらかじめ成分調整した固溶体粉末を焼結することで、均質な組織を得ることに成功した(前ページ組織写真参照)。これにより従来に比べ高い熱伝導率、破壊韌性を持つサーメットを開発することができた。新規サーメットの切削性能を調べたところ(前ページ試験結果参照)、耐摩耗性は従来品に比べ良好であった。材料設計にあたっては、焼結時の金属液相の組織変化を予測するシミュレーション技術を確立するなど、材料設計の基盤となる手法を開発し、サーメットの組織制御を可能とした。

また、サーメットのもう一つの課題はコーティング技術の確立である。通常、超硬合金チップは表面にCVDやPVD法で、Ti(C,N)やアルミナ等をコーティングしているが、サーメットにCVD

コーティングのような高温で表面処理を行うと、チップの性能が劣化するため、現状サーメットはCVDコーティング無しで使用されている。今後のサーメットの適用拡大には、耐久性の向上が必要であり、低温で成膜可能なレーザーCVD法を用いたコーティング技術が開発されている。

さらに同研究では、切削工具だけでなく、金型等の耐摩耗工具におけるサーメット代替も研究している。耐摩耗工具に使用されている超硬合金のWC含有率(mass%)は80~90%と高い。この耐摩耗工具でのサーメットへの代替は初めての試みとなる。大型焼結体の製造など、難易度の高い技術開発が必要とされ、これまでに大型部品焼結のための粉末成形技術の開発等が行われている。

現在、タングステン是中国一国の政策に供給が左右されるリスクを抱えているが、タングステンに代わる材料技術を保有することは、今後の価格上昇や輸出制限の抑止力となる可能性を秘めている。そのため、タングステンの使用量低減、代替材料の開発、そしてこれらの実用化は重要な意味を持つ。

日本では、次々と優れた鉄鋼材料が生まれ、また高性能な工作機械が登場し、これに対応すべく新しい工具材料が開発されてきたが、被加工材、工作機械の性能向上が著しいために、工具にはより高い特性が要求されている。そのため新しい工具材料の実用化には、省タングステンあるいは代替を図りながら、いかに工具の性能を追求していくかが、重要となるだろう。

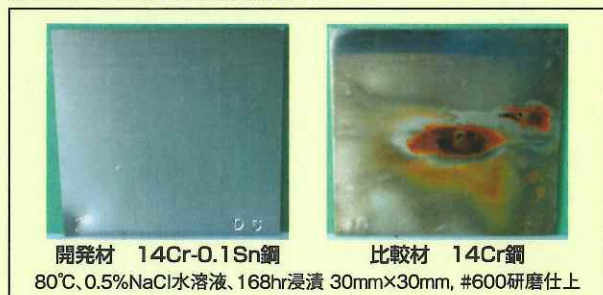
*NEDO「超硬工具向けタングステン代替材料開発」(2007~2011年度):
参加機関は(財)ファインセラミックスセンター、(独)産業技術総合研究所、
(株)タンガロイ、富士ダイス(株)、東北大学

●取材協力 (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構、(独)産業技術総合研究所、
住友電気工業(株)、(財)ファインセラミックスセンター、新日鐵住金ステンレス(株)
●文 藤井美穂

レアメタルの大幅削減を達成したステンレス鋼

レアメタルの需給ひっ迫は鉄鋼業界でも大きな問題であり、各社はレアメタル代替材料の開発やレアメタル使用量を低減した製品開発に積極的に取り組んでいる。

例えば、微量の錫を添加することで、レアメタルであるニッケル、クロムの使用量を大幅に削減したステンレス鋼板が開発されている。ブリキをはじめ錫の耐食作用はよく知られているが、普通鋼では製造性を阻害するため錫は添加しないことが常識と耐食性におよぼす錫添加の効果

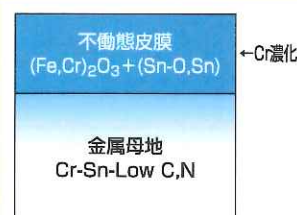


なっている。しかし普通鋼と異なり、クロム系ステンレス鋼では錫の阻害作用が極めて小さいことがわかり、この開発では錫を活用することとした。錫添加により開発された高純度フェライト(クロム)系ステンレス鋼は、ニッケル、モリブデンは不使用、クロム含有量を17%から14%まで約2割削減して

も、17%Cr鋼と同等の耐食性を発揮する。さらに、同技術の錫添加量を増やし、耐食性をより向上させた製品も開発されている。耐食性はステンレス鋼の代表鋼種であるSUS304に相当し、クロムやニッケルの含有量は4割削減された。

新たに開発されたステンレス鋼は加工性が良く、価格安定性にも優れていることから、幅広い用途での使用が期待されている。

(資料提供: 新日鐵住金ステンレス(株))



錫添加による耐食性向上の図(推定)

Snは、不働態皮膜の中に酸化物および金属状態で存在し、不働態皮膜の保護性と安定性を高め、また不働態被膜の再生能力にも寄与しているものと考えられている