



# レアメタル使用量を低減した 超硬工具の開発

石田友幸\*・森口秀樹・池ヶ谷明彦

Development of Cemented Carbide Tools of Reduced Rare Metal Usage — by Tomoyuki Ishida, Hideki Moriguchi and Akihiko Ikegaya — Hard materials for cutting tools include cemented carbides (WC-Co) and cermets (TiCN-Co/Ni). Tungsten, the main component (about 80 vol%) of cemented carbides, is subject to supply risks. On the other hand, titanium, the main component (about 70 vol%) of cermets, is at a much lower risk than tungsten. This work evaluates a composite structure of cemented carbide and cermet to reduce tungsten usage while maintaining the performance of the cutting tool. Composite structural materials are generally prone to cracking, deformation and breakage caused by the difference in shrinkage characteristics during sintering, the difference in the coefficient of thermal expansion, and the transfer (migration) of a binder phase in the liquid state. We have overcome these challenges and succeeded in producing composite structural tools that show equivalent properties of cemented carbide in wear resistance and breakage resistance.

Keywords: cemented carbide, cermet, cutting tool, resource saving, rare metal

## 1. 緒言

WCを主硬質相としCoを結合相とする超硬合金は、硬度、強度、鉄との反応性など切削工具に必要な様々な特性を高いレベルで兼ね備えた材料であり、コーテッド超硬も含めると工具市場の約75%を占めている。また、新興国市場の拡大により超硬工具の生産量も拡大を続けており、それに伴いタングステンの消費量も増加を続けている。一方で図1に示すように、タングstenは地域偏在性が高く、中国一国が埋蔵量では60%、生産量では76%を占めている<sup>(1)</sup>。

ている。また鉨石での輸出を禁止し、WC粉末の中間原料であるAPT（パラタングsten酸アンモニウム）、WC粉末、さらには超硬合金といった付加価値の高い形でタングstenを出荷するような動きを推し進めている。このような事情から図2に示すようにタングsten価格は高騰を続けており、供給リスクが非常に高いレアメタルである。

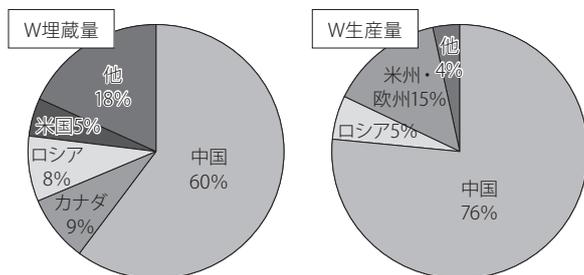


図1 W鉨石の埋蔵量と生産量

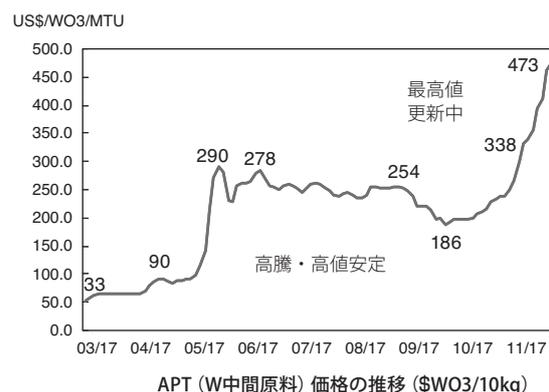


図2 APT (タングsten原料) 価格推移

中国ではレアアースと同様に、レアメタルであるタングstenでも政府主導での供給制限や関税の引き上げを行っ

しかも、タングstenは日本の自動車、建機、鉄鋼、航空機、電子部品など幅広い産業の製造を支える切削工具の

基盤原料であることから、日本政府はタングステンをインジウム、ディスプロシウムと並ぶ重要レアメタルの内一つと位置づけ、省使用化、代替材料開発を進めるための府省連携国家プロジェクトを2007年に開始した。当社はこの希少金属代替材料開発プロジェクト（07：経済産業省、08～11：(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)）に参画し、タングステン使用量削減の中間目標である15%削減を上回る20%削減した工具で従来の超硬合金工具と同等の切削性能を達成することに成功した<sup>(2)</sup>。本報では本省W工具の開発内容とその性能について述べる。

## 2. 開発目標

超硬合金以外の代表的な切削工具として、Ti (C, N) を主原料とするサーメットが挙げられる。チタンはタングステンと比較すると埋蔵量、地域偏在性の観点から供給リスクが小さい資源と言える。超硬合金とサーメットの特性を比較した結果を表1に、それぞれの組織を写真1に示す。

表1 超硬合金とサーメットの特性比較

		超硬	サーメット
熱伝導率	w/m・°C	105	> 33
線膨張係数	×10 <sup>-6</sup> /°C	4.5	< 7.5
破壊靱性	MPa・m <sup>1/2</sup>	8	> 6.5
ヤング率	GPa	620	> 420
密度	g/cm <sup>3</sup>	15.0	< 6.1
原料価格	円/cm <sup>3</sup>	69	> 26

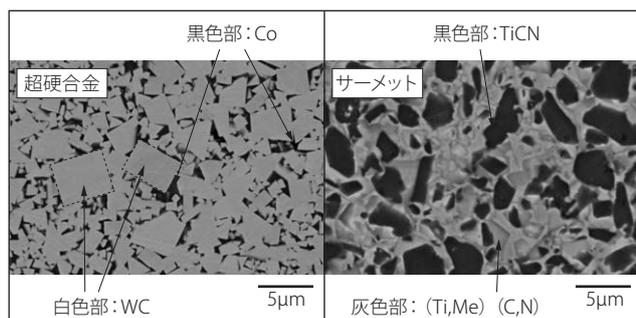


写真1 超硬合金とサーメットの組織SEM

サーメットは超硬合金と比較して、熱伝導率が低い、熱膨張係数が大きいなど高速・高能率加工に伴い、より高温となる切削環境に対して熱特性的に不利な点が多い。また、一般的にサーメットは高硬度であるが靱性が低く、その適用可能領域は特定の切削条件に限られているのが現状であ

り、超硬合金を用いている全ての領域を代替するのは難しい。そこで我々は、性能を超硬合金と同等に保ちつつ、タングステン使用量を低減できる切削工具の開発を進めた。

タングステンの削減率目標は、国プロ参画時に経済産業省より設定された2009年度中間時点で15%、2011年度最終で30%とした。この目標値は、国プロ開始年である07年からタングステンの供給量が増えない場合であっても2011年の需要増に対応できるよう設定されたものである。

## 3. 省W工具コンセプト

タングステンの使用量を減らしながら超硬合金工具と同等性能を達成する方法として、超硬合金とサーメットの複合化を検討した。切削に寄与する刃先部は超硬合金のままにして耐摩耗性、耐欠損性を維持し、それ以外の部分は焼結温度や収縮特性が比較的超硬合金に近く、切削応力による変形に耐える強度を持つW添加量を増加させたサーメットとすることで、削減率目標を満たす省W工具が開発できると考えた。超硬合金とサーメットを複合化した工具を製造する上で、製造プロセスとして切屑処理に必須の三次元チップブレイカーを付与できることが重要となる。三次元チップブレイカーとは、写真2に示すような切削工具表面の複雑な凹凸形状のことであり、これが切屑を分断することで長く伸びた切屑が設備の自動運転や被削材に悪影響を与えるのを防いでいる。

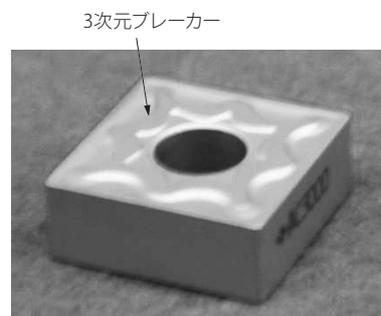


写真2 超硬工具写真(3次元ブレイカー)

複合化手法として、焼結体同士の接合やホットプレスなどの型焼結、射出成型など様々なプロセスを検討したが、コストや量産性の観点で問題点を有していた。そこで粉末をプレス機で複合成型した後に焼結する方法がコスト、量産性に優れる現行プロセスから大きく逸脱することなく適していると判断し、開発を進めた。

#### 4. 省W工具開発上の課題

超硬工具は粉末を所定の形状にプレス成型し1400℃程度の高温で焼結することで作製する。この際、一般的な超硬合金は結合金属であるCoが溶融しながらWCの隙間を埋めていくことで約18%の線収縮を伴いながら緻密化する<sup>(3)</sup>。このように大きく収縮する異種材料同士を複合化する場合、**写真3**に示すような剥離、変形といった形状の変化が大きな問題となる。また液相焼結プロセスであることから、**写真4**に示すように異種材料間で焼結中に結合相の移動が起こり性能が変化することも課題となる<sup>(4)</sup>。

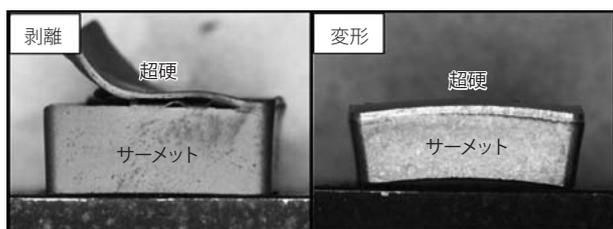


写真3 変形・剥離外観

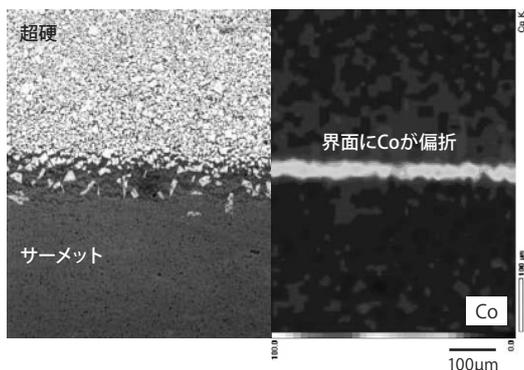


写真4 結合相移動

#### 5. 課題解決方法

剥離、変形に対しては超硬合金とサーメットの収縮特性差が大きく影響していると考え、それぞれの熱収縮特性を評価、比較することで剥離原因、変形メカニズムを調査した。超硬合金とサーメットの熱収縮特性評価結果を**図3**に示す。

収縮特性における大きな差異として、超硬合金に対してサーメットは①固相収縮域である800～1100℃付近での収縮量が小さい、②収縮が完了するタイミングが遅い、③収縮率が大きい、という3点の違いが挙げられる。これらの差異が剥離、変形に与える影響を把握するため、複合成

型したプレス体を800、1000、1200℃の各温度で焼結し、途中段階での状態を確認した。それぞれの写真を**写真5**に示す。

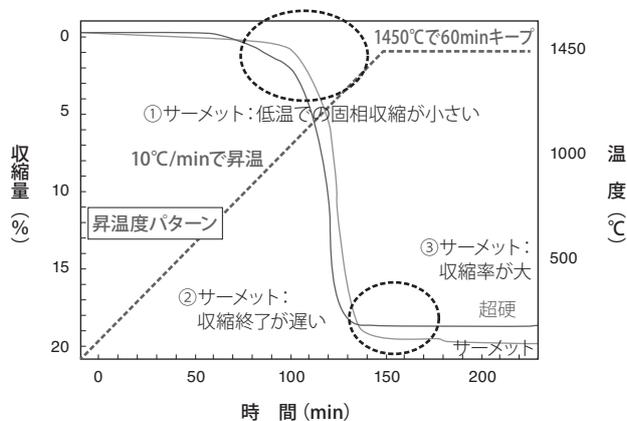


図3 超硬合金とサーメットの収縮特性比較結果

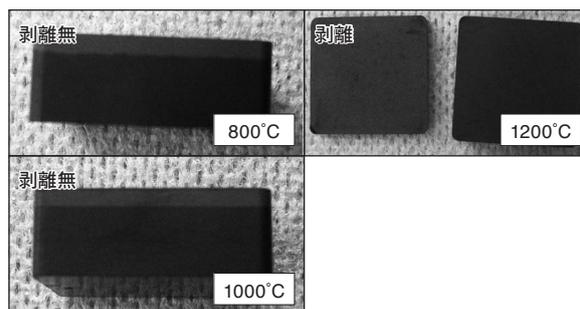


写真5 低温焼結時の試料外観写真

800℃、1000℃では剥離、変形共に見られないのに対し、1200℃では超硬合金とサーメットの界面で剥離が生じた。このことから、剥離原因として①固相収縮域での収縮量差が大きく影響していることが判明した。

この固相収縮域での収縮量差に影響を与える因子を調査した結果、WC添加量の影響が大きいと推定できた為、WC添加量を変化させたサーメットを作製し、剥離の抑制が可能な組成を調査した。その結果、WC添加量が10vol%では超硬合金とサーメット界面に大きな剥離が生じるのに対し15vol%では剥離はわずかで、20vol%以上の添加で完全に剥離を抑制できることがわかった。変形を抑制する方法として、サーメットの組成や添加原料粒度、成型助剤の添加量などを収縮特性との関係を調査しながら検討、最適化し、収縮特性差の抑制を行なうことで**写真6**

に示すような剥離無く、変形を抑制した複合焼結体を得ることに成功した。結合相移動は、結合相の熔融温度と濡れ性の制御により抑制に成功した。

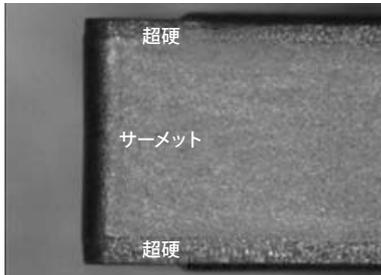


写真6 良好接合体側面

## 6. 切削性能

タングステンを20%削減した組成で、ISO型番CNMG120408形状の複合構造工具を作製し、PVD法でTiAlN膜を5μm被覆した後に鋼材の切削性能評価を行った。超硬合金単層、サーメット単層、複合構造工具の3種を準備し、連続切削で耐摩耗性、断続切削で耐欠損性をそれぞれ評価した。耐摩耗性試験はSCM435丸材を用い切削速度：

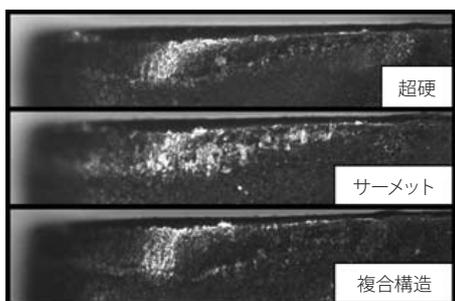
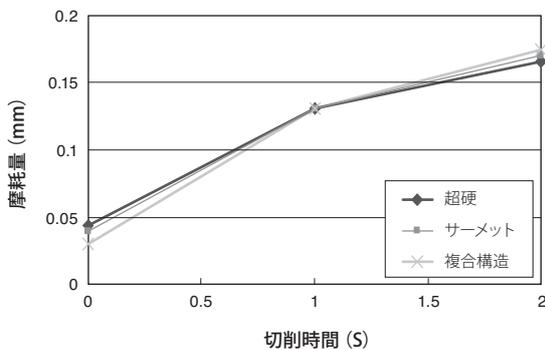


図4 耐摩耗性試験結果

220m/min、送り速度：0.3mm/rev、切り込み量：1.5mmの条件で湿式旋削して評価した。結果を図4に示す。

超硬合金単層、サーメット単層（複合構造工具の中間層に用いたサーメットと同組成の合金）に対して省W工具でも同等の摩耗量となっており、複合構造工具は従来の超硬合金工具と同等の耐摩耗性を有することを確認できた。耐欠損性試験はSCM435溝材を用い、切削速度：60m/min、送り速度：0.5mm/rev、切り込み量：2mmでそれぞれ4コーナーずつ乾式旋削して評価した。結果を図5に示す。

サーメット単層では4コーナー共に3秒以内で欠損したのに対し、超硬合金単層と複合構造工具では共に2コーナーで欠損無く30秒の切削を完了できており、複合構造工具は従来の超硬合金工具と同等の耐欠損性を有することを確認できた。

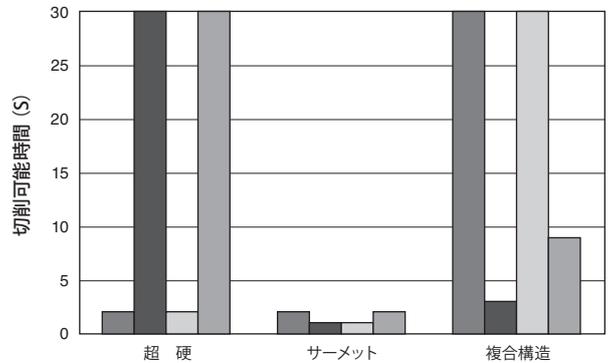


図5 耐欠損性試験結果

## 7. 結 言

超硬合金とサーメットを複合構造化することでタングステン使用量を20%削減した省タングステン工具を作製し、超硬合金工具と同等の耐摩耗性、耐欠損性を示すことが確認でき、中間目標を達成できた。2011年度末に終了する国プロではタングステン使用量30%を最終目標として掲げていることから、残り1年でこの目標を達成すると共に、量産性の確認、幅広い切削条件での性能ポテンシャルの評価を行なっていく。

## 8. 謝 辞

本研究は経済産業省(07)・NEDO(08～)主管の国家プロジェクトである「希少金属代替材料技術開発」「超硬工具向けタングステン使用量低減技術開発」の一環として行われたものである。

## 用語集

---

### PVD

Physical Vapor Deposition (物理気相成長) : 物理的な手法により薄膜を堆積させる成膜方法。

### 参考文献

---

- (1) JOGMEC 金属資源レポート91、「レアメタルシリーズ2009クロムおよびタングステンの需要・供給・価格動向等」
  - (2) Tomoyuki Ishida, Hideki Moriguchi, Akihiko Ikegaya, "Fabrication of composite structural material of cemented carbides and cermets", Proceedings of PM2010. florence, Italy, 2010-10-10/10-14, European powder metallurgy association
  - (3) Suzuki H et al. Cemented carbides and sintered hard materials. Tokyo: Maruzen (1986)
  - (4) P.Fan, Z.Z.Fang & H.Y.Sohn: Acta Mater. 2007, v55, p3111
- 

### 執筆者

---

石田 友幸\* : エレクトロニクス・材料研究所  
超硬、cBN 製切削工具における  
省W 技術開発に従事



森口 秀樹 : エレクトロニクス・材料研究所 グループ長  
博士 (工学)

池ヶ谷明彦 : エレクトロニクス・材料研究所 技師長

---

\* 主執筆者