

工具用超硬材料の進化の歴史 ～超硬合金とサーメット～

History of the Development of Cemented Carbide and Cermets

津田 圭一
Keiichi Tsuda

1928年に当社ではじめて線引きダイス用として製品化された超硬合金はその後、切削工具用材質として大きく進化を遂げてきた。鋼切削に適合するようにチタン炭化物を添加する技術に始まり、コーティング母材として高靱性を発揮させるためのエース層超硬母材技術、ユーザーニーズである高能率加工に応えるZr添加超硬母材技術へと進化している。またジェットエンジン材料の開発から生まれたチタン系硬質相を主成分とするサーメット工具は被削材である鋼との反応性が低く、美しい仕上げ面が得られることから、切削工具の材質の1つとして独自の進化をしてきた。そもそも靱性に課題のあったサーメットは、窒素添加技術により合金強度を飛躍的に向上させ、またその後開発された表面硬化技術により耐摩耗性と靱性の両立を図ることで切削性能の向上を果たしてきた。本報ではイゲタロイ®における超硬合金、サーメットの進化の歴史について述べる。

Cemented carbide was first commercialized by our company in 1928 for use in wire drawing dies. It has since been developed as a base material for cutting tools. First, titanium carbide was added to make the tools suitable for steel cutting, and then the ACE layer technology was developed in order to toughen the cemented carbide substrate. Zirconium was added to cemented carbide substrates in response to user requests for efficient machining. Meanwhile, cermets, base materials that consist of hard titanium phases and were originally created for use in jet engines, were developed for cutting tools because of their low reactivity with steel and fine cutting surfaces. Although toughness was an issue with cermets, it was solved by nitrogen doping. The subsequently developed surface hardening technology further improved their toughness and wear resistance, and thereby cutting performance. This paper details the history of the development of Igetalloy cemented carbide and cermets.

キーワード：イゲタロイ®、超硬合金、サーメット、切削工具

1. 緒 言

切削工具用の材質は切削加工速度とともに進化してきた。1900年初頭に高速度鋼（ハイス）工具が登場したが、超硬合金は図1に示すようにハイスよりも高速加工が可能であり、

現在切削工具用材質の主流を占めている。1970年代後半にはアルミナやチタン化合物を被覆したコーティング超硬工具が開発され、さらに高速加工が可能となった。一方で、超硬合金とは別にジェットエンジン材料の開発から生まれたチタン系硬質相を主成分とするサーメット工具は、被削材である鋼との反応性が低く美しい仕上げ面が得られることから、切削工具の材質の1つとして独自の進化をしてきた。図2に現在

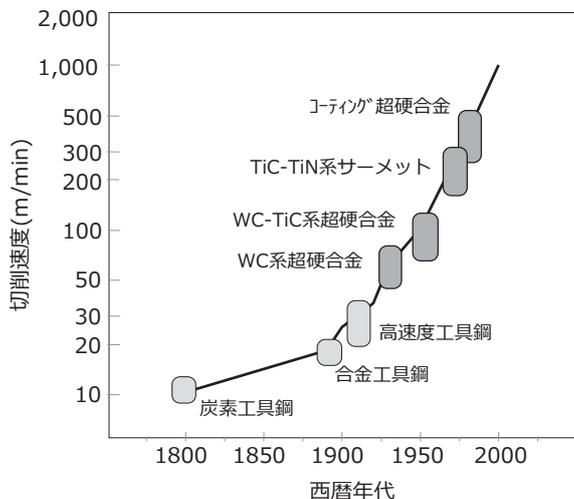


図1 工具材種と切削速度の推移

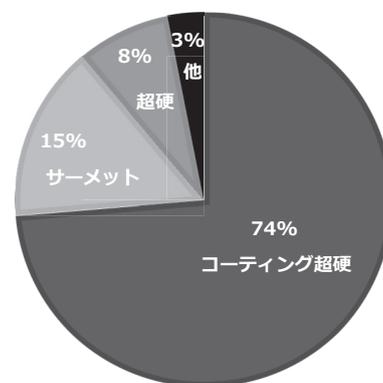


図2 刃先交換型チップの材質比率

の切削工具（刃先交換型チップ）の材質比率を示す。本報では超硬合金ならびにサーメットの進化と歴史について述べる。

2. 超硬合金の歴史

超硬合金はタングステンカーバイド (WC) を硬質相としコバルト (Co) を結合相とした複合材料であり、1923年にオスラムランプ社で開発され、1927年にドイツ クルップ社で「WIDIA」という商品名称で切削工具として発売された。高速度鋼 (ハイス) 工具の鋼加工時の切削速度が20~40m/minだったのに対し、超硬工具は100~150m/minと約4倍の切削速度となり切削加工の革新をもたらした。

当社では1928年に**写真1**に示す初イゲタロイ®となる超硬合金製線引きダイスの試作に成功し、1931年には**写真2**に示す切削工具用超硬バイトの商品化を果たし、その後時代のニーズに応える形で超硬合金は進化を遂げてきている。



写真1 超硬合金製線引きダイス



写真2 超硬切削バイト

3. イゲタロイ®超硬合金の進化

鋼切削加工における加工能率を高めるために超硬合金にチタンカーバイド (TiC) を添加する研究開発が進められた。当時の超硬合金は工具すくい面での切くず擦過によるクレータ摩耗が、工具寿命を左右する大きな課題であった。TiCを添

加することでクレータ摩耗は大幅に改善できたことから、1936年にTiC添加超硬合金が商品化されている。その後TiCの他にタンタルカーバイド (TaC) やモリブデンカーバイド (Mo₂C)、クロムカーバイド (Cr₃C₂)、バナジウムカーバイド (VC) 等の添加による研究開発が進められ、クレータ摩耗発生機構に関する詳細な研究が入江らによってなされ、さらなる高性能化が進む⁽¹⁾。

時代のニーズに応えるべく多くの切削工具用材種が商品化され、1930年代には鋼用としてS1、S2、鋳鉄用としてG1、G2の4種類だった材質が1965年には26種類に増加していた。生産性向上のために、より高性能な切削工具材種を求めるユーザーニーズに応えた結果であるものの、ユーザーにとっては工具材種を選定するのに混乱を招く原因でもあり、この時代から幅広い切削条件をカバーする工具材種の開発が始まった。その皮切りが鋳鉄材質用G10Eである。従来鋳鉄用材質はWC-Coの単純組成であったが、G10EはTaCを微量添加することでJIS規格のK10、K20グレード*¹を完全に包含する画期的な材質で、2015年の現在でも現役材種として活躍している⁽²⁾。一方、鋼用材質でもこの材質統合の考え方は展開され、1966年にはST20Eが発売されている。ST20EはJIS規格のP10、P20グレード*²を包含する性能を発揮するが、そのためには切削工具に求められる耐摩耗性（耐クレータ性も含む）と耐欠損性の相反する2つの要素を同時に満足させる必要があった。ST20Eの特長は合金組織にあり、(Ti, Ta, W) C相の複炭窒化物を微細化し主硬質相であるWC粒度を大きくすることで狙いとする性能を達成させている⁽³⁾。

1976年にはさらなる耐摩耗性向上を狙ったTiCセラミックス被膜をコーティングした鋼旋削用材種エースコート® AC720を世の中に送り出している。このAC720はコーティング被膜により格段に耐摩耗性を向上させるだけではなく、超硬母材にもエース層技術と言う新たな技術が採用されている。鋼旋削用材種はコーティング膜が摩耗した場合でも耐摩耗性をある程度維持させるためにTiC硬質相を添加したWC-TiC-Co組成 (P種) を採用しているが、この組成はWC-Co (K種) に比べて耐欠損性が低い。また高硬度セラミックス被膜が最表面にあることからさらに耐欠損性は悪化する。そこで焼結技術を駆使し、母材表面数ミクロンはK種超硬、その直下はP種超硬という傾斜構造超硬母材の開発に成功し、AC720コーティング母材として採用した。これがエース層技術である。**図3**にエース層のある母材とない母材の亀裂の進展具合を示した写真を示す。エース層の存在により亀裂進展が食い止められていることがわかる。このエース層技術はその後鋼旋削用コーティング母材のスタンダード技術となり、当社最新材質はもとより競合他社最新材質も採用している画期的な技術である⁽⁴⁾。

1984年には鋼フライス用材質として窒素含有超硬A30Nが開発される。超硬合金に窒素含有成分 (TiW-TaCN) を添加すると**図4**に示すように窒素を含まない場合に比べて窒素含

有硬質成分が微粒分散化し高い抗折強度^{*3}を発揮させる。合金表面に窒素分解に伴う特殊層が生成しやすくなる課題があったが、焼結条件、組成の最適化により特殊層の生成を防ぎ、窒素添加による複炭化物の微粒分散効果を発揮させることにより、耐摩耗性と耐欠損性を両立させることに成功している⁽⁵⁾。

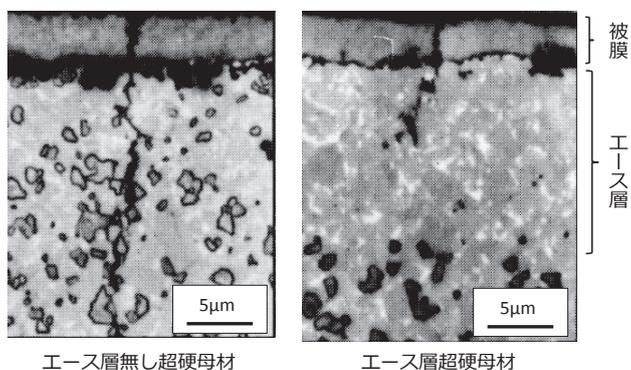


図3 エース層有無による亀裂進展状態

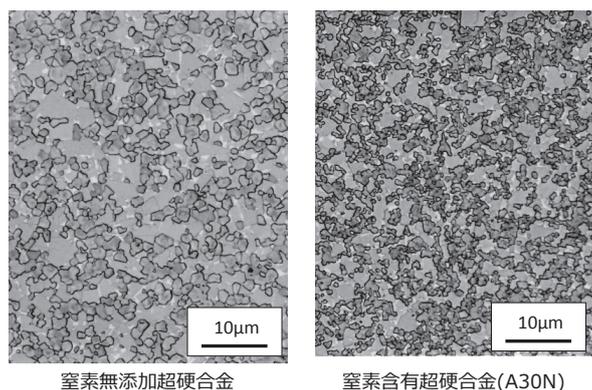


図4 窒素含有有無による超硬合金の組織比較

1994年には鋼旋削用材質AC2000用にZr添加母材が開発される。この時代になると鋼旋削加工条件が高速・高送りとなり、切削工具刃先の塑性変形性が問題となっていた。切削工具の刃先の温度環境は1000℃近くになるため、この高温環境下での超硬母材の硬度や強度が重要となってくる。それまでの鋼旋削用コーティング母材には鋼との反応性が低いTiCやTiNが添加されてきた。我々はTiCやTiNの代わりにZrCやZrNに注目し、開発を進めた。ZrCやZrNを超硬合金中に添加するとZrが金属結合相であるCoに微量固溶して一種の固溶強化を示し、図5に示す如く高温下での硬度が高く、またCo粒界でのCo偏析が抑制されることから図6に示すように高温強度が改善される。しかし、Zrは

酸素の結びつきが強くZrO₂が生成しやすい。健全な焼結性を得るために添加量の最適化や焼結技術高度化によりその課題を解決することで、AC2000は優れた耐塑性変形性を発揮した⁽⁶⁾。このZr添加技術は、AC2000の後継材質であるAC820Pにも受け継がれている。

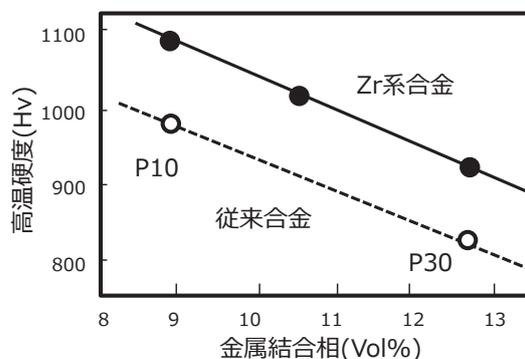


図5 Zr入り超硬合金の高温硬度

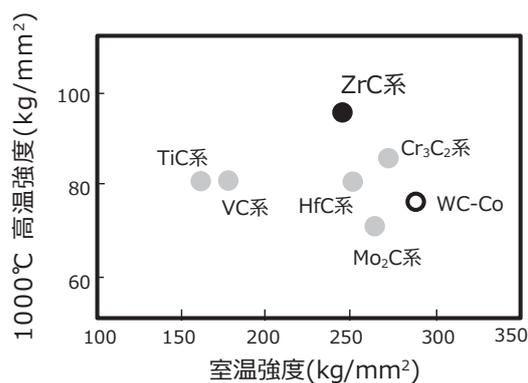


図6 Zr入り超硬合金の高温強度

4. サーメットの歴史

1923年に超硬合金が誕生してから10年も経過しないうちにWC以外の炭化物を主原料とした硬質材料が開発され、1930年には米国においてTaC-Ni合金がRametという商品名でFan Steel社から市販されている。ただこれらの材料は超硬合金に比べて靱性が劣っていたことから、広く普及することはなかった。その後第二次世界大戦後のジェットエンジン材料開発の発展に伴い1950年以降セラミクス (Ceramics) と金属 (Metal) による複合材料サーメット (Cermet: Ceramics + Metal) の研究開発が活発となる。ジェットエンジン材料には靱性問題で採用には至らなかったが、切削工具用途への研究開発は継続され、超硬合金に比べて鋼との反応性が非常に低い美しい仕上げ面が得られる

ことから、仕上げ加工用材種として進化を遂げてきた。

5. イゲタロイ® サーマットの進化

切削工具用にサーメットが世の中に登場したのは、1956年に米国フォード社HumenikらがTiC-Ni合金にMoを添加することで硬質相と金属結合相の濡れ性を改善したものが最初だと言われている。当社では1972年に米国フォード社との技術提携も行い、TiC-Mo-Ni合金であるタイカット®S、2S、3Sを商品化している。しかしながら耐熱疲労靱性或耐塑性変形性の課題があった。また当時切削工具はロウ付けバイト*4が主流でサーメットはロウ付け特性が良くなかったこともあり、この点も普及を妨げたと考えられる。

1976年に窒素(N)を添加したサーメットT12Aが開発され、これらの課題は大きく改善された。T12Aは窒素無添加サーメットに比べてはるかに高い靱性を有していた。図7に示すように従来のN無添加サーメット(タイカット®S)の硬質相粒径が4~5μmだったのに対し、窒素入りT12Aの硬質相粒径は1μm程度と微粒となっている。その結果、表1に示した合金物性のとおり抗折強度はもとより硬度も高くなっている。また、熱拡散率も向上していることにより、耐熱疲労靱性も大幅に改善された。図8にT12Aの切削加工使用実例を示すが、当時の他社サーメットに対し圧倒的に寿命が長いことがわかる⁽⁷⁾。T12Aはサーメット材質においてエポックメイキングな材質としてその名を知られることとなった。また、この頃にロウ付けバイトから刃先交換型チップが主流になりつつあったことも、普及を後押ししたと思われる。

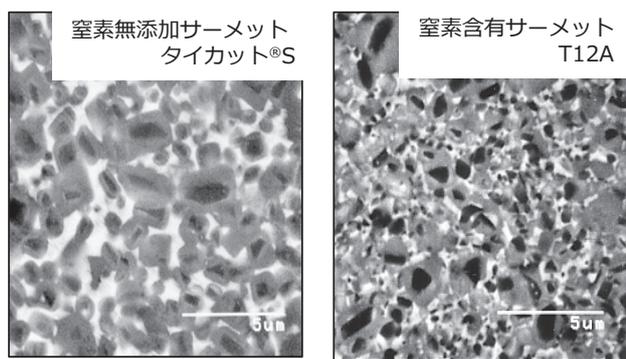


図7 窒素含有有無によるサーメット組織比較

表1 T12Aとタイカット®Sの合金物性

	硬さ (HRA)	抗折力 (kg/mm ²)	熱拡散率 (cm ² /sec)
T12A	92.1	165	0.084
タイカット®S	91.6	130	0.063

加工物：コネクティングロッド
被削材：S55C
切削条件：V=114m/min、d=0.2mm、f=0.12mm/rev.

工具材質	加工数 (ヶ/コーナー)
T12A	1900
他社サーメット	300

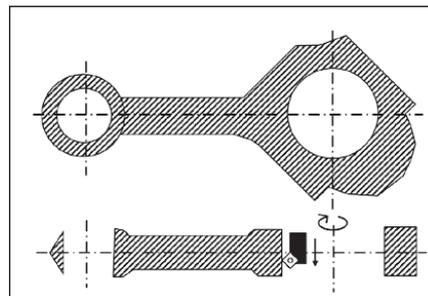


図8 T12Aの切削使用実例

窒素入りサーメットの開発は継続され1988年にはT12Aをさらに微粒化したニュータイカット™T130Aが発売される。T12Aの窒素含有量が2.5wt%だったのに対しT130Aは6.0wt%と2倍以上含む。通常6.0wt%もの窒素を合金に含ませると、合金中に多量のポア(巣)が発生し、強度低下の原因となっていたが、雰囲気焼結技術を駆使することにより、高窒素含有サーメットの製造に成功した。高窒素含有サーメットT130AはT12Aに比べてさらに組織の微粒化が進み、抗折強度も大幅に向上し、より欠損に対する信頼性の高い合金となった⁽⁸⁾。

その後サーメットは合金組成のみならず合金構造に手が加えられ、1993年には表面硬化型サーメットT220Aが製品化される。表面硬化型サーメットは合金表面部の金属結合相量を減らし、合金内部に向けて金属結合を漸増させる傾斜構造をとっている。この傾斜構造により表面部は高耐摩耗性、合金内部は高靱性という機能分担が可能となる。またこの金属結合相の傾斜化により合金表面部と内部の熱膨張率差から合金表面部に圧縮残留応力が発生し、欠損原因となる亀裂の発生を抑制する効果も得られる。この表面硬化型サーメットの技術は1997年に製品化されたT1200A、2010年に製品化されたT1500Aにも受け継がれている。

6. 結 言

1928年から始まったイゲタロイ®の主に切削工具用超硬合金およびサーメットの技術進化について述べてきた。日々進化し続け、1928年当初に比べて格段に性能が向上してきたことをご理解頂けたと思う。鋼旋削用途で言えばコーティング超硬AC820P、サーメットT1500A、鋼フライス用途で言えばACP200が現状のイゲタロイ®切削工具の主力材種

としてユーザーでの生産能率向上に大きく役立っているが、これらの材種も技術の積み重ねで開発されてきたものである。最近の切削工具の主流はコーティング工具であり、超硬合金、サーメットともにコーティング膜とのマッチングが切削工具の性能を左右する重要な技術ポイントとなる。今後もコーティング膜開発および超硬・サーメット母材開発に注力し、時代のニーズに応える切削工具用材質を世の中に送り出すことで、国内、海外の工業界の発展に貢献していく所存である。

用語集

※1 K10、K20グレード

鋳鉄（ねずみ鋳鉄、球状黒鉛鋳鉄、可鍛鋳鉄）用超硬工具材料の分類。

※2 P10、P20グレード

鋼、鋳鋼（オーステナイト系ステンレスを除く）用超硬工具材料の分類。

※3 抗折強度

三点曲げ試験により求められる最大曲げ応力値。

※4 ロウ付けバイト

バイトとチップを銀ロウ付けしたもの。

- ・「イゲタロイ」「エースコート」「タイカット」は住友電気工業㈱の登録商標です。
- ・その他、記載されている会社名、商品名は各社の登録商標または商標です。

参考文献

- (1) 入江監、「超硬バイトのクレータ摩耗について」、住友電気 粉末冶金特集号 (1965)
- (2) 原昭夫、「イゲタロイ新品種G10Eの開発と切削性能について」、住友電気第89号、96 (1965)
- (3) 原昭夫 他、「イゲタロイ新品種ST20Eについて」、住友電気第93号、75 (1966)
- (4) 山本孝春 他、「エースコートシリーズの開発」、住友電気第113号、174 (1978)
- (5) 塚田博 他、「含窒素超硬の開発とフライス用新材質A30Nの実用性能」、住友電気第124号、76 (1984)
- (6) 中堂益男 他、「鋼旋削用工具エースコートAC2000の開発」、住友電気第145号、97 (1994)
- (7) 原昭夫 他、「新サーメットT12Aの性能」、住友電気 粉末冶金特集号、11 (1976)
- (8) 清水靖弘、「高靱性サーメットニュータイカットT110A, T130Aの開発について」、住友電気第133号、133 (1988)

執筆者

津田 圭一 : アドバンストマテリアル研究所
グループ長

