

セラミック切削工具

(1953年～現在)

切削工具は、金属を切削加工する時に使用する工具であり、超硬合金、サーメット、セラミックス材料が用いられている。使用環境は、相手材料（主に金属）と接触しながら削り取るために極めて過酷であり、高い応力と高温に曝され、激しい摩擦摩耗（化学反応も）を受ける。このため、セラミックスが持つ優れた材料特性（高硬度・耐熱性・耐摩耗性）が古くより注目され、1950年代にアルミナセラミックスが使用されたのが始まりとされる。アルミナ系と窒化珪素系のセラミックスが代表的な製品である。材料そのものの特性が製品の良し悪しを決定するため、複合化技術や加圧焼結などの特殊な製法が適用されている。材料の進歩とともに発展してきた典型的なセラミック製品のひとつである。

1. 製品適用分野

旋削および転削も含む機械加工用の切削工具

2. 適用分野の背景

切削工具は、高温・高応力下の厳しい環境で用いられるため、材料として次のような特性が要求される。

- (1) 高硬度、特に高温での硬度が高いこと
- (2) 化学的に安定で、被削材と反応を生じないこと
- (3) 機械的応力、特に耐欠損性と耐熱衝撃性に優れること

これらの要求特性から、セラミックスは極めて有望な候補材料と考えられ、古くは1930年代から開発が検討され、超硬工具に遅れること10年余の1938年に市販されたのが最初とされる。しかし、開発当初、セラミック工具は靱性が低く抗折力が300MPa程度と低かったことから、切削中に突発的な破損が起こることが多く、その適用は広がらない状況であった。その中で、原料の高純度化技術や焼結技術の発達により機械的特性が大幅に改善され、アルミナセラミックから窒化珪素セラミックまで利用されるようになった。特に、日本においては研

究開発が活発に行われ、ホットプレス焼結法^{注1)}、ガス圧焼結法、熱間静水圧焼結法(HIP法)^{注2)}など新しい焼結技術が導入され、更には成分の探索や組織制御技術の開発により普及率は大きく向上した。また、使用される機械においても、高い剛性を持つ工作機械が開発され、切削速度が向上してきたことも重なり、セラミック工具の適用分野

は広がりを見せ、自動車産業の鋳鉄を始めとして耐熱合金を使用する航空機産業分野までも広がっている。現在では、環境対策として注目されているドライ切削やミスト切削にも適用が期待されている。

3. 製品の分類と特徴

現在市販されているセラミック工具を材料で分類すると①アルミナ系材料、②アルミナ-炭化物複合材料、③窒化珪素材料、④サイアロン材料 などがある。

この他にも、サーメット（セラミックとメタルの中間の性質の工具）と立方晶窒化ホウ素(cBN)およびダイヤモンド工具もあるが、製法上の違いもあるためここでは省略する。上記製品の代表的な材料特性を表1に、適用される被削材の系列を表2に示す。アルミナ系は、アルミナ粉に少量のマグネシアやジルコニアなどの添加剤を加えて焼結され、化学安定性が高く優れた耐摩耗性を有している。普通焼結されたものもあるが、近年ではHIP焼結を適用するものが多く、白色を呈するため白セラミックとも呼ばれ、比較的に安価な工具である。これに対して、炭化物を複合添加した

見学可能：

ノリタケの森
愛知県名古屋市
http://www.noritake.co.jp

JFCC 展示室
愛知県名古屋市
http://jfcc.or.jp

Key-words：アルミナセラミック、窒化珪素、サイアロン、切削工具

注1 セラミックスを焼結させる技術の一つであり、一軸方向にカーボンなどの治具により加圧して焼結する方法。加圧方向に異方性を有しており形状上な制約もある。切断により製品とするため高価となる。

注2 セラミックスを緻密化させる焼結技術の一つであり、千気圧を越える圧力にて焼結を促進させる手法。ガスによる加圧のため等方的であることが特徴であり、形状における制約がない。圧力が数百気圧の場合をガス圧焼結法(GPS法)と呼び、圧力よりも分解を抑制する効果を利用する焼結方法である。



図1 セラミック工具とホルダー

セラミック工具の代表例(左)。切削条件などにより材種と形状が選択される。加工する際は、セラミック工具を専用のホルダーに取付けて使用する。(右)

表1 各種セラミックス工具の特性値 (代表例)

特性	アルミナ系	アルミナー 炭化物複合系	窒化珪素系	サイアロン系
硬さ (GPa)	18-20	20-22	16-17	17-20
強度 (MPa)	700-1000	800-1200	1000-1200	800-1200
破壊靱性値 (MPam ^{0.5})	3-4	4-6	5-7	4-6
熱膨張係数 (10 ⁻⁶ /°C)	8	7-8	3-4	3-4

表2 セラミックス工具の適用用途例

被削材	ダイヤモンド	cBN	セラミック			
			アルミナ	アルミナ 炭化物複合系	窒化珪素	サイアロン
鋳鉄		○	○	○	○	○
非鉄金属、アルミ合金	○					
耐熱合金			○	○	○	○
高硬度材(焼入れ鋼、チルド鋳鉄)		○	○	○		

アルミナー炭化物材料は、焼結性がアルミナ系に比べて劣るため、ホットプレスやHIP焼結が利用され、高価となる。その色から黒セラミックとも呼ばれる。炭化物としては炭化チタンを利用するものが一般であるが、その他炭化モリブデン、窒化チタン、炭化タンタル、炭窒化チタン、炭化珪素などを添加する場合もある。複合化により、材料硬度と強度などが向上し、難削材の加工に対応できる。窒化珪素とサイアロンセラミックスは、ともに針状の形状を有する結晶粒子を有

していることが特徴であり、熱膨張係数も小さいために耐熱衝撃性が必要とされる用途に使用される。欠点として、窒化珪素の主成分であるシリコンが鋼と反応しやすいため、特定の切削条件において摩耗が大きい場合があり、表面にアルミナを被覆させて性能を向上させたものも製品化されている。サイアロンは、窒化珪素粒子にアルミナ成分を固溶させたもので、耐熱性が高いことと耐化学摩耗に優れることから、耐熱合金の加工に用いられる。

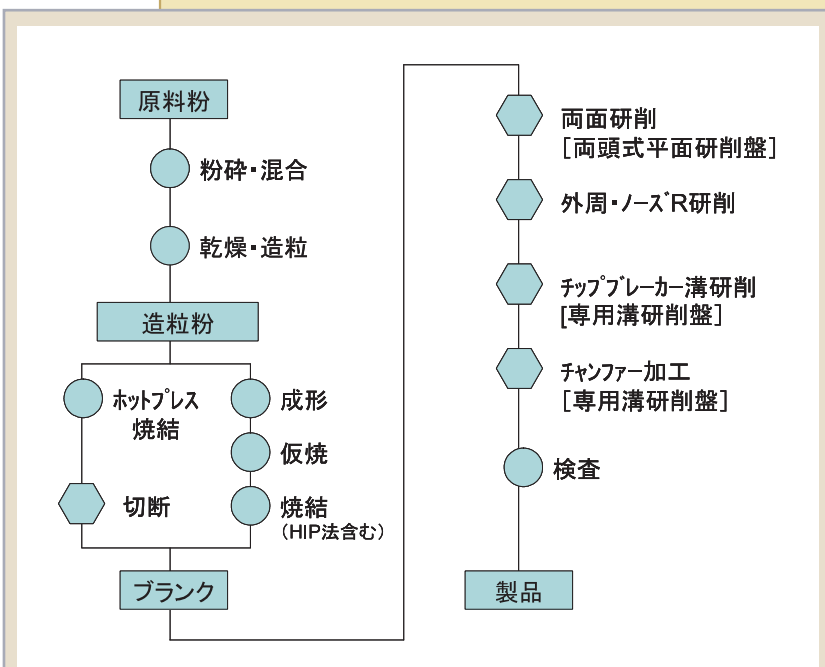


図2 セラミックス工具の製造プロセス

各種原料粉末を調合後、スプレーにより乾燥・造粒する。プレス成形（ホットプレスでは粉末のまま使用）により所定の形状に加工し、焼結させる。加圧を利用することでほぼ完全に緻密化させることが重要。

4. 製法

切削工具は、材料の進歩とともに発展してきたと言って良いほど、その製法が重要となる。高純度で微細なセラミックス粉末を使用し、余分な添加物は極力排除して焼結することが求められる。焼結手法とその条件の工夫によって所望の特性が得られる。ポアや組織むら等の欠陥がない完全緻密体を焼結させる工夫が重要となる。図2に現在行われているセラミック工具の製造フローを示す。1500°Cを超える高温で焼結されるのが普通である。開発当初、量産性と形状付与が容易な普通焼結法で製造されたが、現在では究極の特性を得るためにホットプレスやガス圧焼結法、HIP焼結法が採用されている。ホットプレスは、カーボンなどの治具を用いて機械的圧力を直接試料に与え焼結を促進させる優れた焼結方法

である。一軸方向での加圧方法であるため、異方性が生じることがあり、注意が必要である。数百気圧レベルのガス圧を利用して焼結を促進させるガス圧焼結法は、主として窒化珪素に対して実施されている。これと類似の手法であるHIP焼結法は、圧力が更に高く、数千気圧の圧力を利用して完全に緻密化させる手法であり、微細で均質な焼結体が得られる方法としてセラミック工具の製造において広く利用されている。両方法ともに等方的で異方性問題が発生しない手法である。

5. 将来展望

これまで、セラミック工具は高能率加工とりわけ高速かつドライ加工において利用され、エネルギー消費の観点から活用されてきた。産業界において、今後も環境負荷の問題は重要であり、例えば自動車産業や航空機産業では軽量で丈夫な新素材が求められてきてい

る。これは、加工の面で見ると難削材料になる傾向にあり、これら新素材を高速で高効率に加工する工具が必要となってくると考えられている。耐熱・耐摩耗性に優れたセラミック工具は、この難削材料を加工する工具として可能性を有しており、今後もドライ切削やミスト切削などの分野で適用が広がることが期待される。

文 献

- 1) ファインセラミックス利用技術集成 サイエンスフォーラム, 315頁(1982)
- 4) 坂野久夫, ニューセラミックス, パワー社, 129頁(1995)
- 3) 浦島和浩, 粉体粉末冶金技術戦略マップ, 粉体粉末冶金協会(2007)

[連絡先] 浦島 和浩
日本特殊陶業(株) セラミック関連事業本部・
機械工具事業部・技術部
〒485-8510 愛知県小牧市大字岩崎 2808