

# 傾斜機能材料を用いた切削工具の開発 - コーテッド工具との比較 -

金沢大学大学院 大久保 貴史, 平尾 政利, 浅川 直紀

## Development of Cutting Tool Using Functionally Graded Material -Comparison with Coated Cutting Tool-

Kanazawa Univ. Graduate School Takashi OHKUBO, Masatoshi HIRAO and Naoki ASAKAWA

This paper reports that comparison of cutting performance between cutting tools made of functionally graded materials and coated tools. A functionally graded material is composed of two different types of materials having the internal compositions with changed gradually from a side to the other side. We produced tools with functionally graded materials consisting of two different materials; a ceramic material with high thermal resistance and a metallic material with excellent fracture resistance. The tools have high thermal resistance on one side and excellent fracture resistance on the other side. For the tools and commercial coated tools, both high-speed and intermittent cutting test were conducted to evaluate the cutting adaptability of the tools.

### 1. 緒言

近年, 切削加工分野では加工コスト低減のため, 切削速度が高速化する傾向に加え, 熱処理材の直接加工, 環境問題への配慮からドライ加工に移行するにつれ, 切削温度はより高温化する傾向にある。

こうした背景のもと, 高速・高効率加工を実現するためには耐摩耗性に優れた工具材種が求められる。また, 加工能率の向上や加工コストの低減には, 切削加工の自動化や無人化が不可欠である。そのため切削工具には耐摩耗性だけでなく, 耐欠損性にも優れることが必須である。すなわち, 高速切削でも工具摩耗が生じにくく, 断続切削や取り代が変動する不安定な黒皮切削でも切れ刃の信頼性が高く, 長い工具寿命を有する汎用性の高い工具が要求される。

そこで本研究では, 図1に示すような材料内部の組成を意図的かつ連続的に変化させることにより, 表裏で材料特性が異なる傾斜機能材料(FGM:Functionally Graded Materials)の概念に着目した。工具切削面では耐熱性・耐摩耗性に優れたセラミックス材料と靱性に優れた超硬合金の複合材料を配し, 超硬合金母材に向かって段階的に傾斜させることで耐摩耗性と耐欠損性の相反する特性を有する新しい切削工具の開発を試みた。本報では連続及び断続切削実験を行い切削性能を評価し, 同時に傾斜機能材料工具と同様の目的を持つコーテッド工具との比較を行ったので報告する。

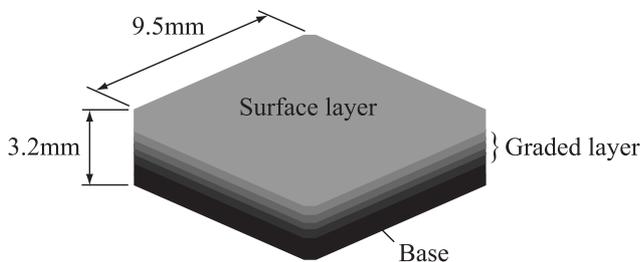


Fig.1 Model of FGM tool

### 2. 実験装置および方法

傾斜機能材料工具の作製に際し, 原料材料はセラミックス材料の中で最も汎用性の高い酸化アルミニウム ( $Al_2O_3$ ) と超硬合金 (Carbide) を用い, SPS 装置 (住友石炭鉱業株式会社, SPS-511S, SPS: Spark Plasma Sintering) にて焼結を行った。各材料を混合または単体で炭素型 (内径15mm) に段階的に充填

後, 焼結する。その後, 焼結体の表裏面を平面研削盤で研削し, ファインカッタを用いて, 一辺9.5mm, 厚さ3.2mmの工具形状に成形した。本研究での焼結条件と作製した工具の組成を表1, 表2にそれぞれ示す。表2に示したように表面層の組成を [50%  $Al_2O_3$ :50% Carbide] とすることで, セラミックスと超硬合金の中間の性質を工具に付与させ, 連続切削と断続切削の両方に対応できることを目的としている。

工具の性能評価のための連続及び断続切削実験には CNC 旋盤 (ヤマザキマザック株式会社, QTN 200-II MY) を用いて, 表3に示す切削条件でドライ切削を行った。比較対象として, 市販の超硬合金とセラミックスの工具及びコーテッド工具を使用し, 被削材には直径78mm, 長さ300mmのS45Cを用いた。なお, 断続切削実験時は溝幅10mmの4ツ溝加工を施したものを使用した。

また, 切削実験中は摩耗測定機器 (株式会社キーエンス, VHX-100) を用いて, 工具の逃げ面摩耗量およびすくい面摩耗量を測定し, 工具寿命 (チップングまたは欠損, 逃げ面摩耗幅が0.2mm (連続切削実験時)) に至るまで切削実験を行った。

Table1 Sintering condition

Powder	Carbide, $Al_2O_3$
Sintering temperature	1200~1300
Load Pressure	50MPa
Preservation time	10min
Atmosphere	Vacuum(5~8Pa)

Table2 Tool composition

Surface layer	50% $Al_2O_3$ : 50% Carbide
Graded layer	40% $Al_2O_3$ : 60% Carbide
	30% $Al_2O_3$ : 70% Carbide
	20% $Al_2O_3$ : 80% Carbide
	10% $Al_2O_3$ : 90% Carbide
Base	100% Carbide

Table3 Cutting condition

Condition	Continuous	Intermittent
Material	S45C	S45C
Cutting speed	400m/min	200m/min
Depth of cut	2.0mm	2.0mm
Feed	0.2mm/rev	0.1mm/rev

3. 連続切削実験

連続切削時における各工具の逃げ面摩耗曲線を図2に、工具寿命に至ったときの逃げ面とすくい面の様子を図3にそれぞれ示す。超硬合金工具は、切削開始後すぐに逃げ面が大きく摩耗し15秒後には欠損した。傾斜機能材料工具も同様に90秒で刃先にチッピングが発生したため切削を中止した。高温硬さに劣位である超硬合金の特性が顕著に示された結果となり、両工具は切削速度400m/minという高速ドライ加工には適さない。次に耐摩耗性に優れるセラミックス工具は、逃げ面の摩耗の進行が遅いが、切削時間270秒にて大きく欠損した。一方、コーテッド工具は切削時間500秒を超えても工具が破損することなく高温状態でも耐摩耗性に優れる結果となった。なお、工具別のすくい面摩耗の進行も逃げ面のときと同様コーテッド工具が優れる結果となった。

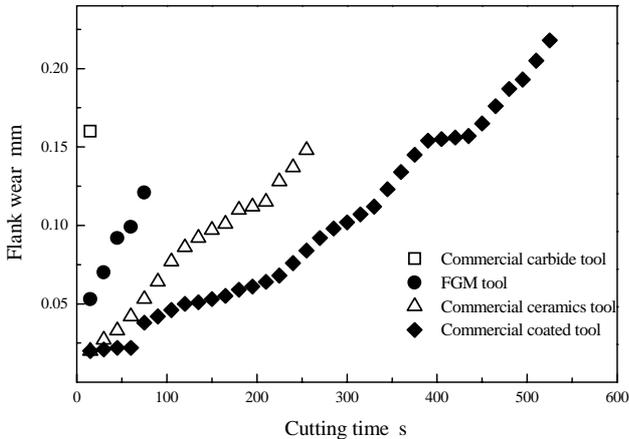


Fig.2 Wear curve (continuous)

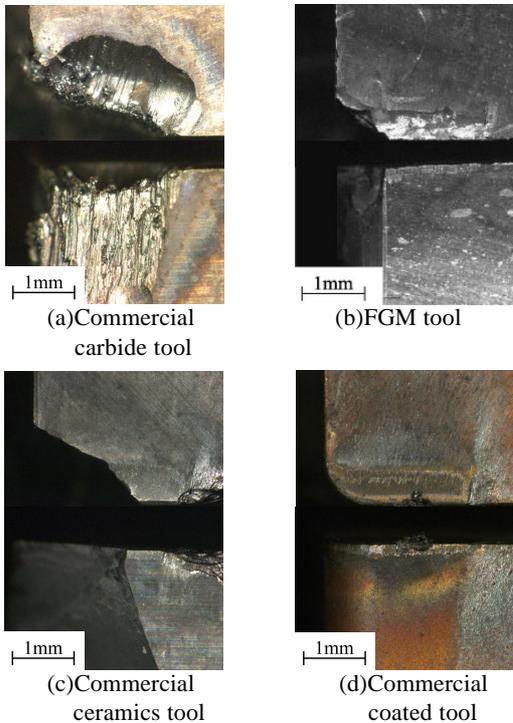


Fig.3 Tool wear (continuous)

4. 断続切削実験

断続切削時において、各工具が寿命に至るまでの衝突回数を図4に、寿命に至ったときの逃げ面とすくい面の様子を図5にそれぞれ示す。コーテッド工具は衝突回数41000回と長寿命で、表面のコーティングは衝撃を受けても剥離すること

はなく良好な切削面が得られた。また、超硬合金工具は衝突回数13000回のところでチッピングが発生し、切削を中止した。超硬合金は耐欠損性に優れる材料であるため断続切削加工に適する結果となったが、逃げ面・すくい面の摩耗は大きく進行した。一方、セラミックス工具は断続切削開始直後の衝突回数600回で刃先が大きく欠損し、低靱性を証明する結果となった。本研究にて作製した傾斜機能材料工具は、衝突回数8000回を超えたところでチッピングが発生したが、表面層に含まれている酸化アルミニウムにより逃げ面・すくい面摩耗は超硬合金工具に比べて摩耗の進行が遅く、コーテッド工具とほぼ同様の値となった。

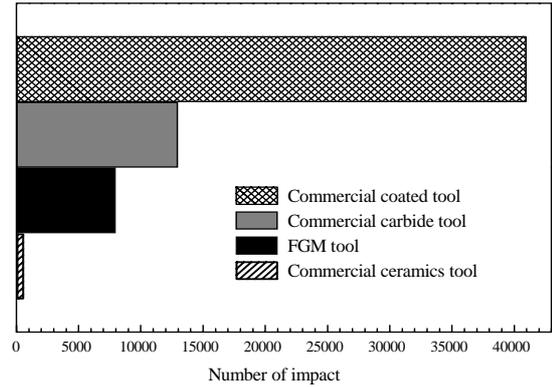


Fig.4 Toughness

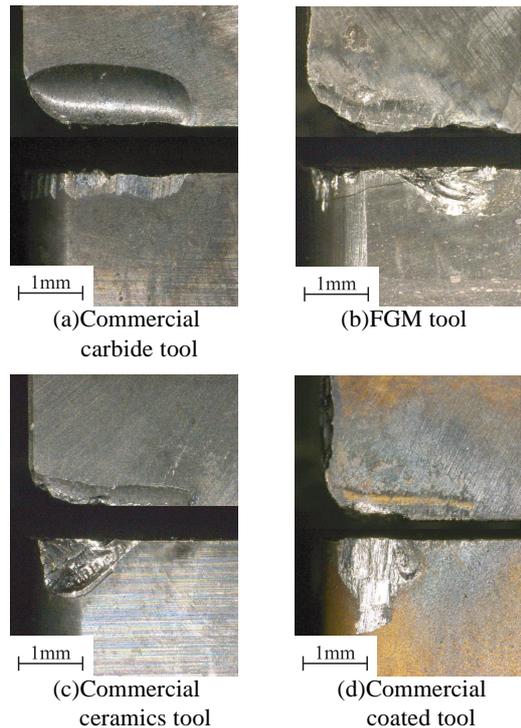


Fig.5 Tool wear (intermittent)

5. 結言

傾斜機能材料を用いた切削工具の開発において、連続及び断続切削実験を行った結果、以下の知見が得られた。

- (1)超硬合金工具の特徴である耐欠損性とセラミックス工具の特徴である耐摩耗性の両方の特性を有する工具の作製に成功した。
- (2)しかし、実際の生産現場で多用されているコーテッド工具と比較した結果、傾斜機能材料工具は耐摩耗性・耐欠損性共に劣る結果となった。