

# 光ファイバ型 2 色温度計を用いたクーラント供給下における工具刃先温度測定 —測定手法の確立と CBN およびダイヤモンド焼結体工具への適用—

金沢大学 ○西本 秀人, 田中隆太郎, 細川 晃, 上田 隆司, 古本 達明

## Measurement of Tool edge Temperature under Coolant Supply using Two-color Pyrometer with Optical fiber -Development of Measurement Method and Application for CBN and Poly Crystalline Diamond tools-

Kanazawa University Hideto NISHIMOTO, Ryutaro TANAKA, Akira HOSOKAWA  
Takashi UEDA and Tatsuaki FURUMOTO

In this study, the method of tool edge temperature using two-color pyrometer in wet cutting is proposed. Using this method, the high pressure air supplied from small hole for an optical fiber prevents coolant from adhering to the optical fiber edge and makes temperature measuring possible. Air pressure never affects tool edge temperature measured using two-color pyrometer. In this way, the tool edge temperature of CBN and Poly Crystalline Diamond (PCD) tool is measured in turning of Ti-6Al-4V. As a result, the tool edge temperature is increases rapidly with the increase of cutting speed. In dry turning of Ti-6Al-4V, PCD tool edge temperature is almost 100°C lower compared with CBN tool edge temperature. Supplying coolant, CBN tool edge temperature is reduced about 70 °C and PCD tool edge temperature is reduced about 340 °C compared with tool edge in dry turning resistivity.

### 1. 諸 言

チタン合金は、軽量で耐熱性や耐食性に優れることからジェットエンジン部品や航空機の機体などに用いられている。しかし熱伝導率が低いことから、切削加工すると工具刃先温度が高くなりやすく、極端に工具寿命が短い。したがって切削加工を行う際には、工具の冷却を主な目的として切削油剤を使用するのが一般的である。そのため、実状に沿ったチタン合金の切削加工メカニズムを考える際には、切削油供給下の切削温度を知ることが重要である。

切削温度の測定には、工具-被削材熱電対法が広く用いられている。しかし、非導電性工具やコーテッド工具の切削温度測定は難しい。これに対して、光ファイバ型2色温度計<sup>1)</sup>を用いれば、非導電性工具やコーテッド工具の切削温度測定も可能である。その一例として赤外線透過するアルミナセラミック工具を用いた湿式旋削において光カプラ型2色温度計による工具-切りくず接触面の温度計測に成功している<sup>2)</sup>。しかし、こちらの方法も限られた工具材種でしか用いることができない。

そこで、本研究では湿式切削において工具材種を選ばない工具刃先温度の測定手法を提案し、炭素鋼の湿式切削における超硬工具の刃先温度測定において手法を確立した。その手法を用いて、チタン合金の切削におけるダイヤモンド焼結体(PCD)工具およびCBN工具の刃先温度測定を試みた。

### 2. 実験装置及び実験方法

表1に実験条件を示す。被削材としてS45C(250HV)を用いて、湿式切削における工具刃先の温度測定方法を確立したのち、Ti-6Al-4V(390HV)の切削における工具刃先温度の測定を行った。Ti-6Al-4Vは熱伝導率が非常に低いために工具刃先温度が高くなりやすい。切削油剤としてエマルジョンタイプのユニソルブルEM-S(新日本石油(株))を30倍希釈して用いた。

Table 1 Experimental conditions

Tool materials	AC700G(TCMW110208) BN700(NU-TCGT110208) DA150(TCMT110204)
Boring head Insert holder	EWN68-150CKB6 ENH6-1
Workpiece	S45C(250HV) Ti-6Al-4V(390HV)
Cutting conditions	
Cutting speed	$V$ 100-400 m/min
Depth of cut	$a$ 0.2 mm
Feed rate	$f$ 0.1 mm/rev
Air pressure	$P$ 0-0.6 MPa
Cutting fluid	Emulsion A1-1 (1:30 in water)
Flow rate	6.0 l/min

図1に温度測定装置を示す。旋削加工を想定し、マシンニングセンタのテーブルに固定された中空丸棒形状の被削材内面をボーリングバイトに装着した工具によって連続切削する。クーラントは被削材上部から15本のノズルを用いて、6.0 l/minで供給される。被削材には外周面と内周面の間にφ1.15mmの小孔が設けられており、加工中に工具刃先がこの穴を通過する際に、刃先から輻射される赤外線を受光ファイバにより受光し、小型InAs/InSb2色温度計に伝送し電圧として出力している。InAs/InSb出力比と温度との関係をあらかじめ調べておき、温度換算する。また、半径方向の加速度を加速度ピックアップにより測定している。

図2に被削材の温度測定用小孔の詳細図を示す。被削材には半径方向にφ5mmとφ1.15mmの穴を段付きにして開け、真鍮製のジグと光ファイバを挿入する。真鍮製のジグを介してエアを光ファイバが挿入された小孔へ流入させながら切削を行うことで、光ファイバ受光領域へのクーラント浸入を防止している。

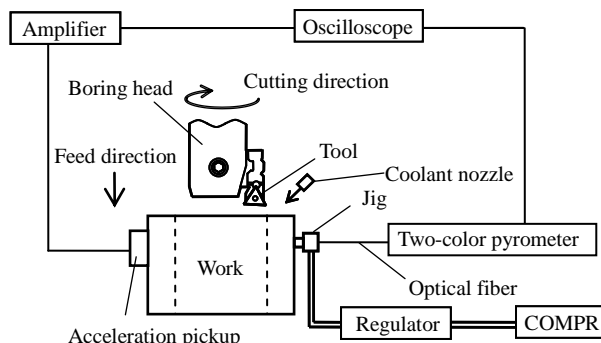


Fig.1 Experimental setup for measurement of temperature

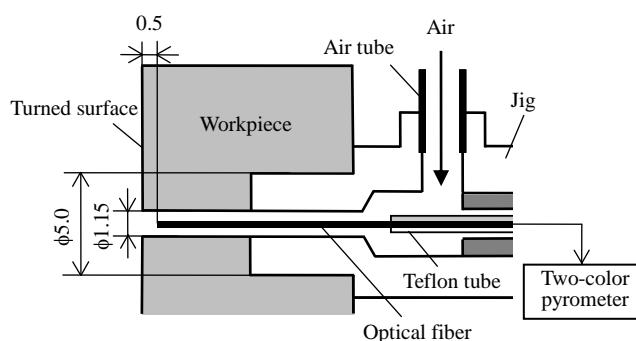


Fig.2 Detail diagram of workpiece subjected to drilling

## 実験結果

### 3.1 湿式切削における工具刃先温度へおよぼすエアの影響

図3(a)にS45C乾式切削における小型2色温度計および加速度ピックアップからの出力信号を示す。工具が一回転するのに必要な時間91ms毎に、加速度ピックアップの出力信号も同周期で出力される。これは光ファイバを挿入した小孔を工具刃先が通過する瞬間に切削が一旦中断され、その後切削が再開されるときわずかに被削材が振動しているためである。測定孔の径は $d=1.15\text{mm}$ 、送りを $f=0.1\text{mm/rev}$ としているので、理論上工具刃先は11回穴を通過する。本研究ではこのピーク値の出力比を温度換算し、その平均値を工具刃先温度とする。

図3(b)に示すように湿式切削において小孔からエアが供給されないとき、温度計に信号が出力されないことが分かる。しかし、図3(c)のように小孔からエアを供給すると温度計の出力信号が得られる。また乾式切削と同様に、2色素子と加速度ピックアップの出力信号が同期しており、ほぼ同時にピーク値をもつため、刃先からの輻射された赤外光を検出できていると考えられる。

図4にS45C湿式切削におけるエア圧力と工具刃先温度との関係を示す。S45Cの乾式切削において工具刃先温度は $550^\circ\text{C}$ を示した。クーラント供給下では $470^\circ\text{C}$ となり、約 $80^\circ\text{C}$ 低下した。また、供給するエア圧力を変化させても工具刃先温度はほぼ一定であった。したがって、このあとの湿式切削における工具刃先温度の測定は $P=0.3\text{MPa}$ のエアを供給して行う。

### 3.2 工具材種が刃先温度におよぼす影響

図5にTi-6Al-4Vを被削材としたときの切削速度と工具刃先温度の関係を示す。工具材にはCBN(BN700)およびPCD(DA150)を用いた。CBN工具を用いた乾式切削において、工具刃先温度は $V=100\text{m/min}$ のとき $680^\circ\text{C}$ を示した。 $V=300\text{m/min}$ になると工具刃先温度は $770^\circ\text{C}$ となり、約 $90^\circ\text{C}$ 上昇した。PCD工具を用いた乾式切削において $V=100\text{m/min}$ のとき工具刃先温度は $570^\circ\text{C}$ を示した。 $V=300\text{m/min}$ になると $650^\circ\text{C}$ となり約 $80^\circ\text{C}$ 上昇した。また、乾式切削におけるPCD工具の刃先温度はCBN工具と比較すると $100^\circ\text{C}$ 程度低い。

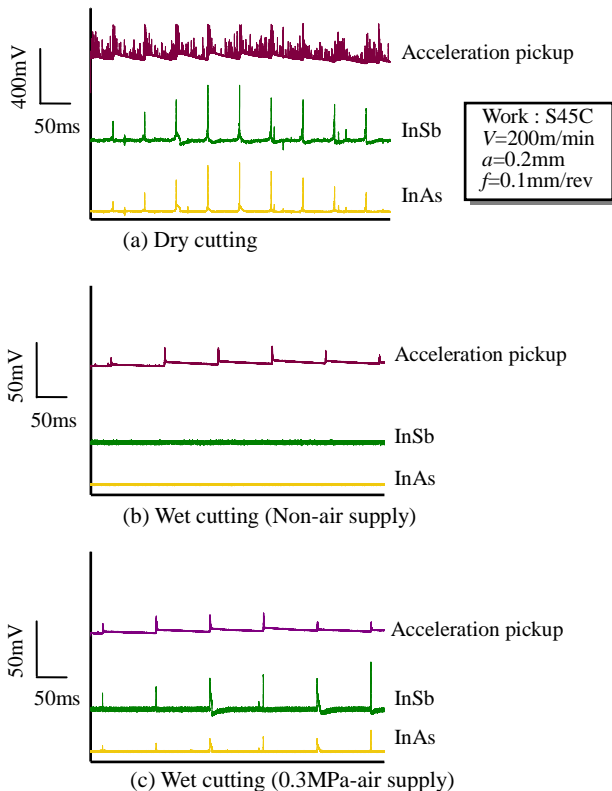


Fig.3 Output signal of two-color pyrometer and acceleration pickup

クーラント供給下で $V=300\text{m/min}$ において切削すると、CBN工具の刃先温度は乾式と比べ $70^\circ\text{C}$ 低下したのに対し、PCD工具の刃先温度は $340^\circ\text{C}$ 程度低下した。 $V=400\text{m/min}$ においてもPCD工具の刃先温度は $430^\circ\text{C}$ 程度であった。また、どちらの工具材においてもクーラントによる温度低下は低速域においてやや大きくなった。

## 4. 結 言

湿式切削における小型2色温度計を用いた工具刃先温度の測定方法を確認し、炭素鋼S45Cおよびチタン合金Ti-6Al-4Vの旋削加工において以下の結論を得た。

- (1) ファイバ挿入用小孔を介してエアを供給することにより、測定対象面へ切削油剤の浸入を防止できる。これにより湿式切削における工具刃先温度の測定が可能となる。また、供給するエア圧力を変化させても工具刃先温度は一定である。
- (2) Ti-6Al-4V乾式切削におけるPCD工具の刃先温度は、CBN工具と比較すると $100^\circ\text{C}$ 程度低い。
- (3) PCD工具を用いてTi-6Al-4Vを切削したときのクーラントによる工具刃先の温度抑制効果がきわめて大きい。

## 謝 辞

本研究を遂行するにあたり、多大なご支援を賜った住友電工ハードメタル株式会社に深謝する。

## 参考文献

- 1) Takashi Ueda, Masahiro Sato, Tadaaki Sugita, Kazuo, Nakayama : Thermal Behaviour of Cutting Grain in Grinding, CIRP Annals, Vol 44/1(1995), 325
- 2) Mahfudz Al Huda, Keiji Yamada, Akira Hosokawa, Takashi Ueda : Investigation of Temperature at Tool-Chip Interface in Turning Using Two-color Pyrometer, Journal of Manufacturing, Science and Engineering, vol.124/2(2002), 200

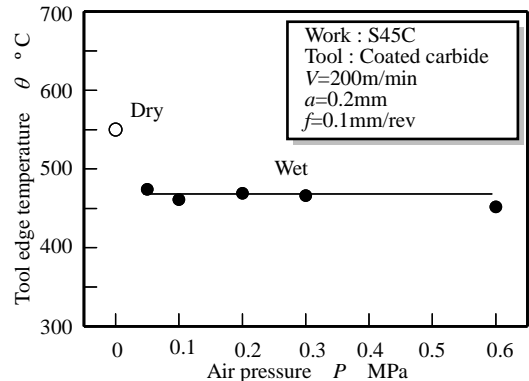


Fig.4 Influence of air pressure on the tool edge temperature

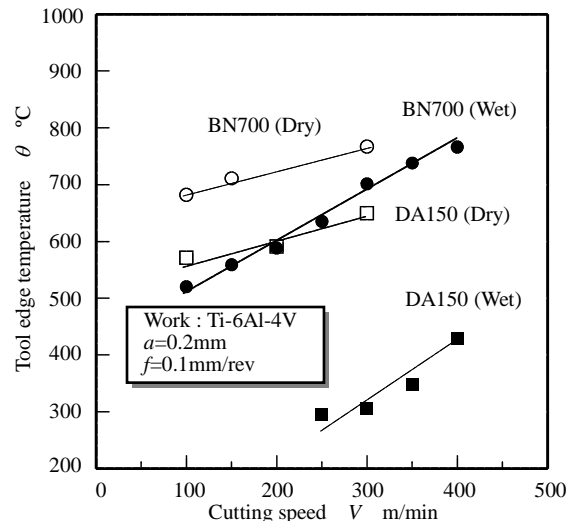


Fig.5 Influence of cutting speed on the tool edge temperature