

# MQL 方式による高速エンドミル加工 (第3報) 切削温度と工具損耗特性

金沢大学 細川 晃, 金沢大院 南部 彰, 金沢大学 田中隆太郎, 山田啓司, 上田隆司

Studies on MQL in High-Speed Endmilling  
—(3rd Report) Cutting temperature and tool wear—

Akira HOSOKAWA\*, Akira NAMBU\*\*, Ryutaro TANAKA\*, Keiji YAMADA\*, Takashi UEDA\*

\* Kanazawa University, \*\* Graduate School of Natural Science and Technology

Cutting temperature and tool wear in high-speed endmilling are measured for dry and MQL machining. A fiber optic two-color pyrometer is used in temperature measurement. When a carbon steel is cut at the cutting speed of 400 m/min, temperature at tool flank of a TiAlN-coated carbide tool is approximately 40~50°C lower than that of a non-coated carbide tool regardless of cutting fluids. Width of a flank wear at boundary between tool and work is greater than that at tip of the cutting edge. MQL machining is more effective in suppression of tool wear for TiAlN-coated tool.

### 1. はじめに

近年、環境保護の観点から、切削油剤の使用量を極力抑え、微細なオイルミストにして圧縮空気とともに切削領域に供給するMQL加工法が注目されている。既報では高速エンドミル加工にMQLを適用し、ミスト粒径、ミスト流量、ミスト供給位置が工具逃げ面温度に及ぼす影響について検討した<sup>1)2)</sup>。

本報では、その第3段階として、超硬工具およびコーティング工具における切削温度と工具損耗量を測定し、オイルミスト供給が工具損耗形態に及ぼす影響について検討している。

### 2. 実験方法

実験は図1に示すように、TAエンドミル(超硬P30, TiAlN被覆)を用いて炭素鋼S45Cの側面加工を行い、切削抵抗と工具逃げ面温度を測定した。切削抵抗の測定には圧電センサを組み込んだ3軸切削動力計を使用した。実験条件を表1に示す。オイルミストの影響をみるため、高切削速度で実験している。

切削温度の測定は光ファイバ型InAs/InSb-2色温度計を用いて行った。すなわち、工作物にかけた貫通穴(φ1.1 mm)に光ファイバ( $d_c=300 \mu\text{m}$ )を挿入して切削時の工具逃げ面温度を測定する方法である。また、オイルミスト供給方法はノズル位置を図1に示すような2つの方法で行った。方法①はノズルを工作物から $\zeta=30^\circ$ 傾斜させ切削点に供給する方法であり、方法②は切削点から $\zeta=150^\circ$ 回転した位置にノズルを設置し、切削直前の工

具逃げ面にオイルミストを供給する方法である。

### 3. 実験結果

#### 3.1 工具逃げ面温度

図2に2種類の工具材種について、逃げ面温度に及ぼすオイルミストの供給効果を示す。図にみるように、同一切削条件において、超硬工具に比較してTiAlNコーティング工具の切削温度が40~50°C低くなっている。今回に実験では、両工具とも乾式に比較してオイルミストの供給によって20~30°Cの低下であることから、コーティング膜の効果が大きいことがわかる。高硬度で耐熱性が大きいTiAlN膜で切削温度が低くなることから、工具摩量の抑制効果がより顕著になることが推察される。

#### 3.2 工具摩耗

##### 1) 逃げ面摩耗幅の測定法

本研究では、逃げ面摩耗は外周刃と底刃にて評価するが、外

Table 1 Experimental conditions

Machine tool	Throw-away type endmill Diameter $D = 25 \text{ mm}$ Axial rake $\gamma_a = +7^\circ$ , Radial rake $\gamma_r = -4^\circ$ Tip: Cemented carbide (JIS P30) TiAlN-coated cemented carbide
Workpiece	Carbon steel (JIS S45C)
Cutting speed	$v = 400 \text{ m/min}$ ( $N = 5090 \text{ rpm}$ )
Feed per tooth	$f = 0.05 \text{ mm/tooth}$ ( $C = 255 \text{ mm/min}$ )
Radial depth of cut	$R_d = 0.2 \text{ mm}$
Axial depth of cut	$A_d = 10 \text{ mm}$
Cutting formula	Downcut
Coolant	Dry, Airblow, Oilmist

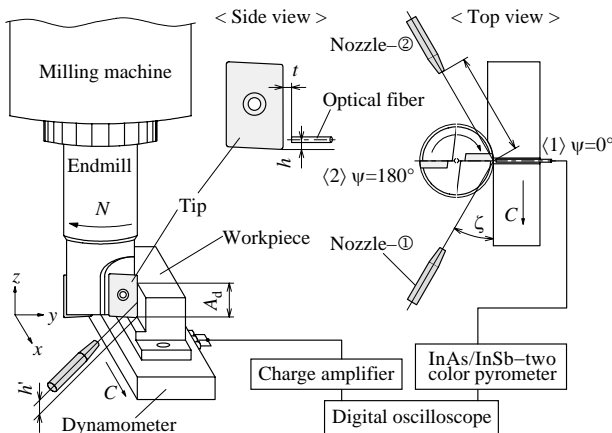


Fig.1 Experimental setup

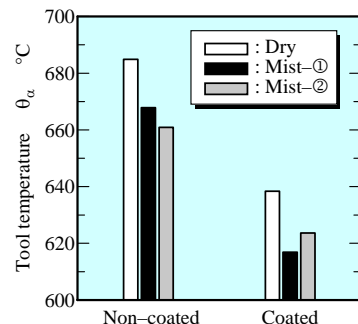


Fig.2 Tool temperature for two types of cutting tool

周刃逃げ面については、図3に示すように、先端部、中央部および工作物との境界部(先端より軸方向切り込みの部分)の3ヶ所を測定した。これは、工作物と干渉する部分に沿って摩耗にかたよりが生じ、一ヶ所の評価では不十分であるからである。

2)超硬工具の摩耗特性

図4は超硬工具先端部における切削距離と逃げ面摩耗の関係を示したものである。図より、切削距離 $L_c$ が40 mまでの初期段階ではオイルミストの効果があて乾式に比べて摩耗が小さいが、それ以降では効果がみられない。特に、方法②では摩耗が増大し、 $L_c=124$  mでチッピングが生じている。この理由は明確ではないが、乾式に比べMQL加工で発生した切りくずの硬度が高いことから、切りくずの生成状態が異なることが考えられる。

図5は外周刃逃げ面先端部の摩耗の様子を乾式とMQLで比較したものである。図にみるように、Mist-②で摩耗幅が大きいことが確認できる。

3)TiAlN-コーティング超硬工具の摩耗特性

図6はTiAlN-コーティング超硬工具における切削距離と逃げ面摩耗の関係を示したもので、切れ刃先端部(○●◎)と境界部(□■▣)の結果を示している。まず、切れ刃先端部について超硬工具と比較すると、切削開始のごく初期を除いて摩耗速度が小さくなっていくことがわかる。また、乾式に比べてオイルミストの供給によって摩耗が抑制されていることも確認できる。

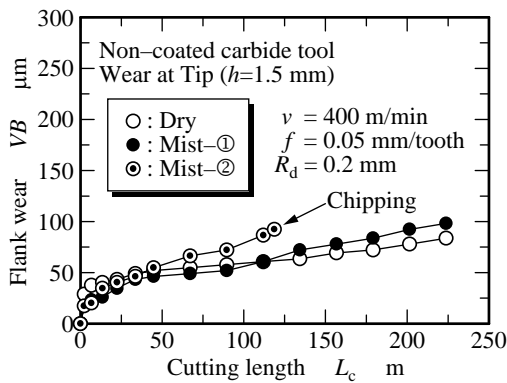
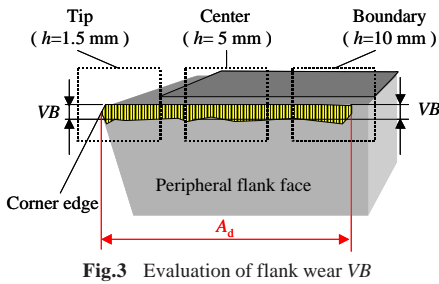


Fig.4 Change of flank wear with cutting length for carbide tool

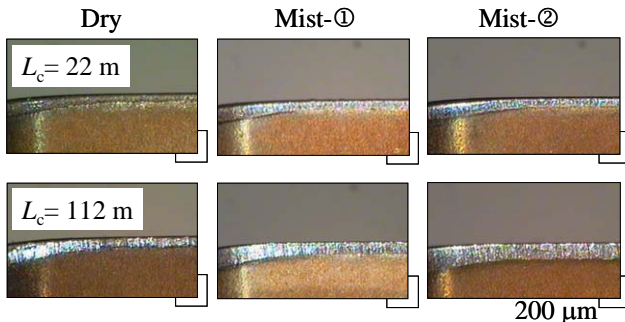


Fig.5 Photographs of typical flank wear of carbide tool

一方、境界部をみると、先端部に比較して大幅に摩耗が生じていることがわかる。図は省略するが、切れ刃外周刃逃げ面の温度分布は摩耗量に応じて変化しており、逃げ面温度とある程度の相関があるものと考えられる。ところで、図6から特徴的なことは、方法②で $L_c=150$  m付近から急激に摩耗が進行している。これは、局部的にコーティング膜がはがれ、超硬母材が露出した段階で摩耗が進行したためであり、図4の傾向と一致しているといえる。本実験はミストの効果調べるため400 m/minと高切削速度で加工したため摩耗量が大きくなっているが、適切な条件下ではオイルミストの供給は摩耗を抑制する効果があるものと考えられる。なお、仕上げ面粗さはオイルミストの供給によっておよそ $R_a=1$  μmから $R_a=0.3$  μmに良化した。

図7は境界部の摩耗状態を示した写真である。Mist-①の摩耗幅が小さく、ミストの効果があてていることが確認できる。

4. おわりに

高速エンドミル加工において、オイルミストの供給が工具逃げ面温度と工具損耗に及ぼす影響を検討し、以下の結果を得た。

- (1) 超硬に比べTiAlNコーティング工具の切削温度は40~50°C低く、オイルミストの供給によって20~30°C低下する。
- (2) 適切な条件下では、オイルミストの供給はTiAlN-コーティング超硬工具の摩耗を抑制する効果がある。

参考文献

- 1) 細川他, 2002年度JSPE秋季大会論文集, (2002) 494.
- 2) 細川他, 2003年度JSPE秋季大会論文集, (2003) 379.

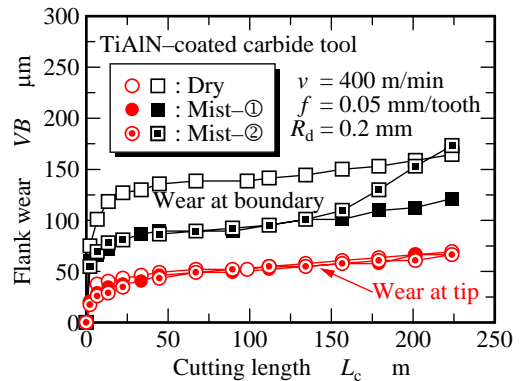


Fig.6 Change of flank wear with cutting length for TiAlN-coated carbide tool

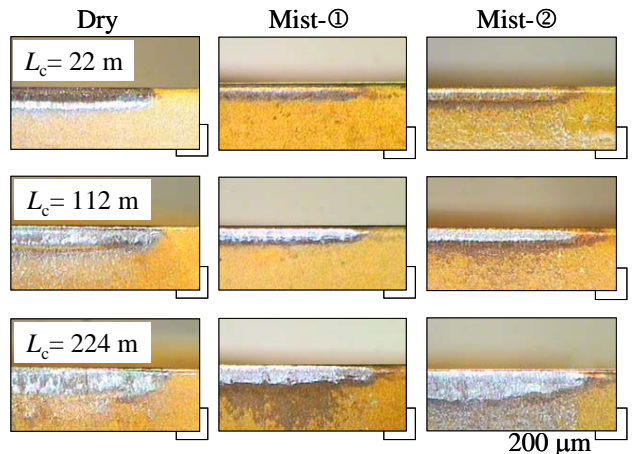


Fig.7 Photographs of typical flank wear of TiAlN-coated carbide tool