



ダイヤコート超硬エンドミルによる超硬合金の切削加工*

—微小送り条件下における切削機構の基礎的検討—

渡邊英人** 岡田将人*** 吉田昭宏† 古本達明*** 浅川直紀***

Cutting of Cemented Carbide with Diamond Coated Carbide End Mill
- Fundamental Study on Cutting Mechanism under Fine Feed Rate -

Hidehito WATANABE, Masato OKADA, Akihiro YOSHIDA, Tatsuaki FURUMOTO and Naoki ASAKAWA

This paper deals with the cutting mechanism against cemented carbide by using a diamond coated carbide end mill. The influence of tool wear, cutting force, and machined groove integrity on the cutting of cemented carbide was investigated experimentally. The ball end mill with a diameter of 6 mm was applied under the condition of air-blow supply. As results, the coated diamond film on the rake face was immediately flaked when the grooving length was less than 20 mm. However, the cutting force was decreased by flaking the coated film, and the stable cutting was achieved without any damage to the base material of ball end mill until the grooving length was 800 mm.

Key words: diamond coated carbide end mill, cemented carbide, wear behavior, flaking, cutting force

1. 緒 言

超硬合金は金型材料として極めて高い硬度を有しており、鉄系材料に代わり、その適用が広まりつつある。しかしながら、超硬合金は難削材であるため除去加工が難しく、放電加工と手磨きによる仕上げ加工が併用されているのが現状である。放電加工は加工後表面にマイクロクラックが生じる恐れがある。また手磨きによる仕上げ加工は、品質の不安定化とコストの増加を招く。そこで、加工効率と加工品質の両者を向上する対策として、切削加工により超硬合金の形状を直彫り加工する手法が注目されている。これまで、超硬合金の切削にcBNやPCD工具を使用した報告がなされているが、いずれも非常に高価であり、放電加工で形状を創製した後の仕上げ加工での適用など用途が限定されているのが現状である。

そこで本研究では、超硬合金の直彫り加工にダイヤモンドコート超硬エンドミルを適用する。これまでに、本工具を直彫り加工に適用した場合、微小送り条件下で高い耐久性が得られたことが報告されている²⁾。そこで微小送り条件下での切削機構について、工具摩耗形態ならびに切削抵抗、加工溝形状に着目し検討したので報告する。

2. 実験方法

主な実験条件を表1に示す。切削加工には3軸立型マシニングセンタ(FX-1, ㈱松浦機械製作所)を用い、超硬合金の平板に対し溝加工を行った。工具には直径6mmのボールエンドミルを用いた。工具摩耗試験では工具回転数 $N=20000\text{rpm}$ としたが、切削抵抗測定では切削動力計(9257B, Kistler)の応答特性を考慮し $N=5000\text{rpm}$ とした。軸方向切込みは $A_d=0.2\text{mm}$ とし、送りは $f=5\mu\text{m/tooth}$ とした。

* 原稿受付 平成26年2月19日

掲載決定 平成26年3月18日

** 正会員 ユニオンツール㈱ (長岡市撰田屋町字外川 2706-6)

*** 正会員 金沢大学理工研究域 (金沢市角間町)

† 学生会員 金沢大学大学院自然科学研究科 (金沢市角間町)

3. 実験結果

3.1 工具摩耗形態

図1に未使用時、加工溝長さ $l_g=20$, 800 mmにおける工具先端部すくい面のSEM画像を示す。切削開始直後の $l_g=20$ mmの時点で刃先にコーティング膜の剥離(膜剥離)が認められたが、その後は剥離領域の増加が若干認められるものの $l_g=800\text{mm}$ に至っても、刃先形態に大きな変化がみられなかった。またA, B部の拡大画像からわかるように、すくい面の膜剥離により、すくい面に露出した工具母材と外周刃逃げ面上に残存したコーティング膜断面が確認できた。

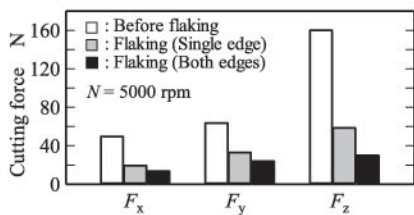
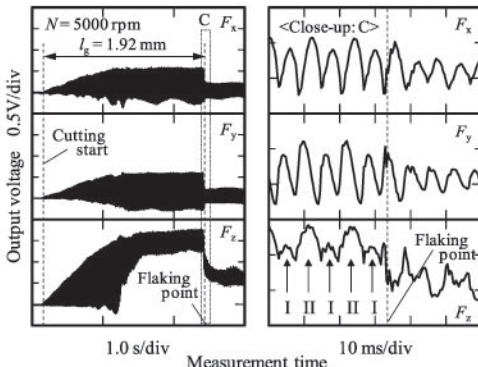
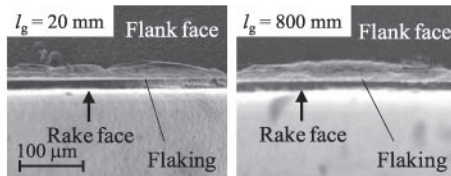
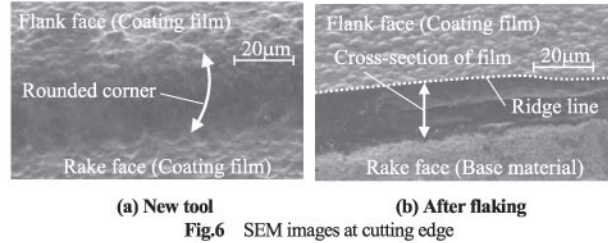
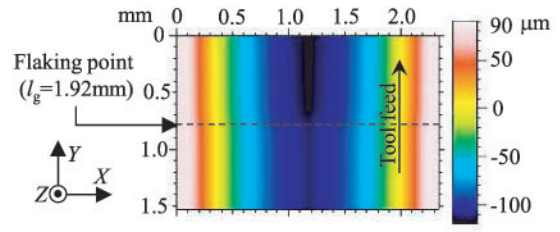
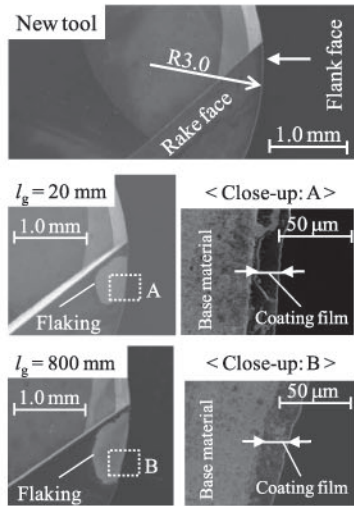
図2に $l_g=20$, 800mmの逃げ面側のSEM画像を示す。逃げ面でもすくい面と同様に膜剥離が認められたが、その幅は最大で40 μm 程度であり、すくい面側に比べて小さかった。なお、複数回の実験で膜剥離は $l_g=0\sim 20\text{mm}$ で片刃に、 $l_g=20\sim 60\text{mm}$ でもう片方の刃にも同様の形態で生じることを確認した。

3.2 切削抵抗

図3に切削開始直後($l_g=0\sim 2.5\text{mm}$)の動力計からの出力波形を示す。いずれの方向成分でも $l_g=1.92\text{mm}$ において急激な抵抗の減少(C部)が確認できた。C部波形拡大図より、2刃のうち、高い切削抵抗を示していた刃先(拡大図中IIの刃)による切削時に、この変化が生じた。なお、もう片刃に剥離が認められた $l_g=20\sim 60\text{mm}$ においても同様に抵抗の減少が認められた。これらのことから、切削抵抗の減少は前節で述べたコーティング膜の

Table 1 Experimental conditions

| | |
|--------------------|--|
| Cutting tool | Solid type R3 ball endmill (2 flutes) Axial rake angle $\gamma_a = 0^\circ$ Radial rake angle $\gamma_r = 0^\circ$ Base material: Cemented carbide (JIS K10) Coating material: Diamond |
| Workpiece | Cemented carbide JIS V30, 90HRA (W: 80-90 wt%, Co: 9-13 wt%) |
| Spindle revolution | $N = 5000, 20000 \text{ rpm}$ |
| Feed rate | $f = 5 \mu\text{m/tooth}$ |
| Axial depth of cut | $A_d = 0.2 \text{ mm}$ |
| Lubrication | Air blow (Dry) |



剥離に起因するものと考えられる。図4に $l_g=0\sim 60\text{mm}$ における2刃の膜剥離による抵抗減少前後の切削抵抗を示す。切削抵抗は2刃の平均値とした。両刃の膜剥離により F_z においては剥離前に比べ20%程度となった。

3.3 加工溝形状

膜剥離による加工溝形状への影響を検討するため、切削抵抗の変化が認められた $l_g=1.92\text{mm}$ 時点で工具中心部が位置していた加工溝部の3次元形状測定結果を図5に示す。 $l_g=1.92\text{mm}$ で膜剥離が生じたことで、加工溝幅と深さに若干の増加が認められ

る。このことから、前節で切削抵抗が減少したのは、膜剥離により除去体積が減少したためでなく、工具の比切削抵抗が減少したためと考えられる。また、 $l_g=800\text{mm}$ の加工溝形状も $l_g=1.92\text{mm}$ の膜剥離直後と同様の形状を示しており膜剥離後も継続的に安定した切削が行われたことを確認した。

4. 考 察

図6(a), (b)に未使用ならびに膜剥離直後の刃先稜線部SEM画像を示す。膜剥離が生じることで逃げ面上に残存したコーティング膜の断面稜線部に鋭利な刃先が発現し(図6(b))、これが切れ刃となることで、 $l_g=800\text{mm}$ まで安定した切削性能が得られたと考える。また、膜剥離以前はコーティング処理により刃先が丸みを有しており(図6(a))、これが剥離前の大きな切削抵抗を生じさせて工具の倒れ等により加工溝幅(深さ)の低下に結びついたといえる。なお、図6(b)よりコーティング膜厚は $20\mu\text{m}$ 程度であることがわかる。 $l_g=800\text{mm}$ においても超合金である工具母材に摩耗が認められなかったのは、一刃あたりの送り $f=5\mu\text{m/tooth}$ がコーティング膜厚より小さいために、被削材との直接的な接触がなかったためといえる。このため、膜剥離で出現する膜断面厚さより一刃あたりの送りを小さくし、膜断面のみを切削に関与させることで、超合金を母材とした工具でも安定した切削が得られる。またこの場合、逃げ面におけるコーティング膜と母材との密着強度が、工具の耐久性に直結するといえる。

5. 結 言

- (1) 切削開始直後からすくい面上に大きなコーティング膜の剥離が生じ、逃げ面上にのみコーティング膜が残存することで、刃先稜線部に鋭利な膜断面の稜線が発現した。
- (2) 膜剥離が刃先に生じるごとに切削抵抗が減少するが、除去体積は減少しておらず比切削抵抗が減少した。
- (3) 一刃あたりの送り量をコーティング膜厚より微小とすることで、膜断面のみが切削に関与し、高い耐久性が得られた。

参 考 文 献

- 1) C. Nath et. al., A study on the effect of tool nose radius in ultrasonic elliptical vibration cutting of tungsten carbide, J. Mater. Process. Technol. **209**, (2009) 5830.
- 2) 渡邊英人, ダイヤモンドコートエンドミルによる超合金の切削加工, 型技術, **28**, 6, (2013) 54.