

## すくい面の摩擦係数が切りくずカール半径に及ぼす影響

○(地独)鳥取県産業技術センター 佐藤崇弘, (株)ゴール 西村雄城

### 要旨

切削加工時の切りくず排出性は、加工品質、工具寿命などに大きく影響する。そこで、切削シミュレーションソフトを用いてすくい面の摩擦係数、切れ刃丸み半径が切りくずカール半径に及ぼす影響を検証した。

### 1. 緒言

切削加工中の切りくずは、工具や工作物に絡みつくと製品に傷が発生したり、切削温度上昇に伴う工具摩耗が促進したりと様々な問題が生じる。そのため、自動ラインにおける切削加工工程において、切りくず制御は重要な課題である。切りくずを排出する加工方法として、旋削加工、エンドミル加工、ドリル加工、ブローチ加工など様々あるが、一般的に切りくずの形状は小さく分断される方が良くとされており、切りくずのカール半径(以下、カール半径)を小さくする工夫がとられている。

そのような中、切りくずのわん曲について1950年代から様々な研究がなされてきた<sup>1)</sup>。また、近年ではすくい面に微小なテクスチャを付与することで、工具-切りくず間の摩擦係数を低減させ切りくず接触長さを減少させる研究<sup>2)</sup>が行われている。これまでの研究から、切りくずのカール半径には、切込み量、切削速度、潤滑剤、切れ刃丸み半径などが影響するとされている。

企業現場でカール半径を小さくする目的で切削条件や工具を選定する場合、影響因子の影響度を明確にする必要がある。そこで本研究では、すくい面の摩擦係数、切れ刃丸み半径の2つを取り上げ、シミュレーションによりカール半径に及ぼす影響を調べた。

### 2. シミュレーションによる切りくず形状の違い

#### 2.1 解析方法

解析は、切削専用シミュレーションソフトとして近年普及している AdvantEdge FEM (Third Wave Systems 社製)を用いて2次元の旋削加工を行った。解析条件は、表1に示すとおりで、切込み量 10 $\mu$ m に対して切れ刃丸み半径を 5 $\mu$ m~40 $\mu$ m、摩擦係数を 0.05~0.6 まで変化させた場合のカール半径を導出した。なお、カール半径は切りくずの中立円弧ラインにおける離れた3つの座標を計測

表1 解析条件

解析ソフト	AdvantEdge FEM (Third Wave Systems)
解析方法	動的陽解法有限要素法
摩擦係数	$\mu=0.05\sim 0.6$ (クーロン摩擦)
切れ刃丸み半径	5 $\mu$ m~40 $\mu$ m
工具形状	すくい角 0°, 逃げ角 15°
切削条件	切削速度 90m/min, 切込み 10 $\mu$ m, 切削距離 3mm
材種	被削材 SUS304, 工具材 WC

し、その値から半径値を計算する方法とした。

#### 2.2 解析結果

図1に摩擦係数を変えた場合のカール半径と切れ刃丸み半径の関係を示す。図より、摩擦係数が 0.2 以下の領域では切れ刃丸み半径がカール半径に及ぼす影響は小さいが、摩擦係数が大きくなるにつれ影響が大きくなっていることがわかる。この要因を調べるため、切れ刃丸み半径 10 $\mu$ m で摩擦係数が 0.05 と 0.6 の時の切りくず形状を図2に示す。なお、図中のコンターは速度分布を表示している。図2(a)より、摩擦係数 0.05 では切りくずのすくい面側と自由面側の速度を比較すると 30m/min 程度すくい面側の方が早いことがわかる。それに対して、摩擦係数 0.6 では、切りくずのすくい面側と自由面側で差が見られない。以上のことから、切りくずの流出速度がカール半径に影響を及ぼしていることがわかる。

切れ刃丸み半径近傍の速度分布をコンター図とベクトル表示した結果を図3に示す。図より、加工の進行とともにすくい面側と逃げ面側の2つの方向に材料の流れ

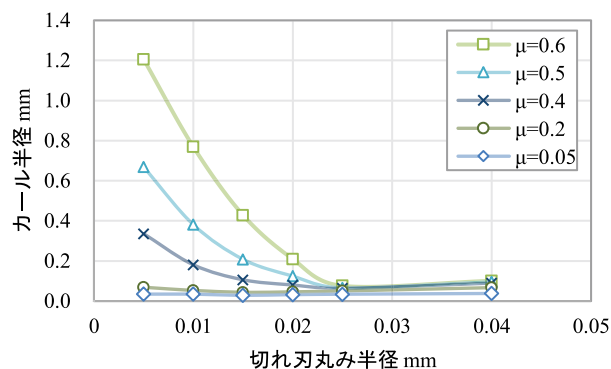


図1 摩擦係数がカール半径に及ぼす影響

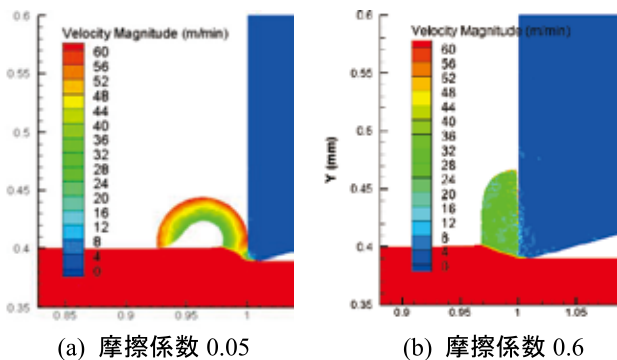
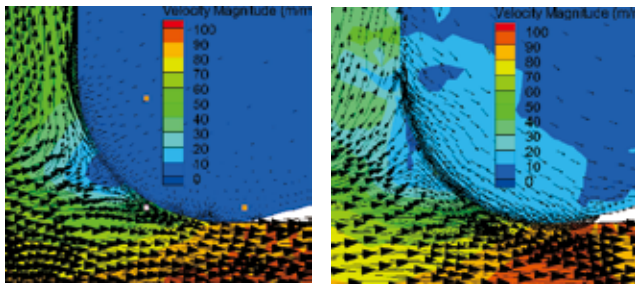
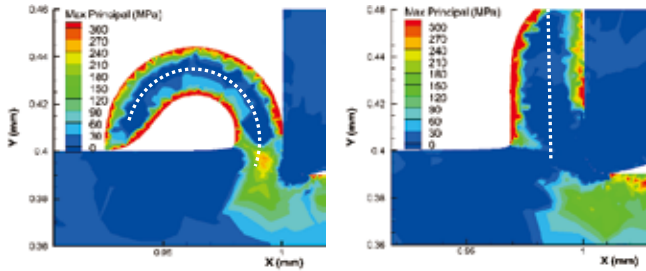


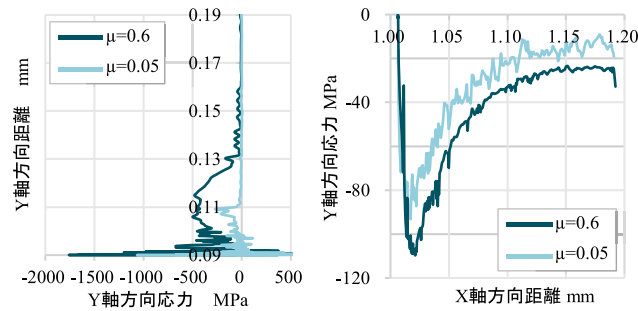
図2 切りくず流出速度と摩擦係数の関係



(a) 摩擦係数 0.05 (b) 摩擦係数 0.6  
図3 切れ刃丸み半径周辺の速度分布



(a) 摩擦係数 0.05 (b) 摩擦係数 0.6  
図4 せん断変形近傍の最大主応力分布



(a)すくい面の Y 軸方向応力 (b)逃げ面の Y 軸方向応力  
図5 すくい面・逃げ面上の応力

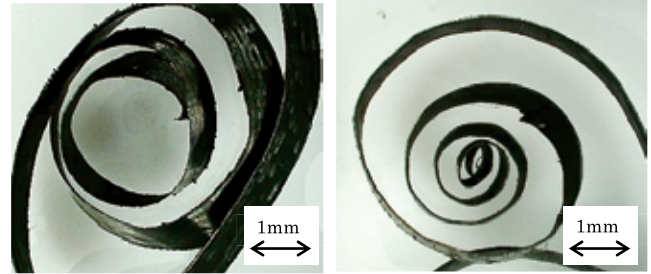
が切り替わる部分（被削材の工具刃先付近でコンター図が濃い部分）に着目すると、摩擦係数0.05はすくい面と逃げ面の間地点であるが、摩擦係数0.6はすくい面側に移行している。このことから、微小領域で見た場合のすくい角が摩擦係数低下に伴い鈍角になることがわかる。

図4にせん断部分近傍の最大主応力分布を示す。図より、摩擦係数0.05の場合切りくずの中立円弧ライン（図中の点線）よりもすくい面側に引張応力が発生しており、摩擦係数0.6の場合、自由面側に引張応力が発生している。この引張応力により、切りくずに曲げモーメントが発生し、切りくずの変形方向が決まると考えられる。

次に、工具に加わっている応力を調べるため、すくい面上の切りくず流出方向の応力（Y軸方向）を図5(a)に、逃げ面上の応力（Y軸方向）を図5(b)に示す。図より、摩擦係数0.6の場合は摩擦係数0.05と比べ切りくずとすべり面・逃げ面間の摩擦により接触面で圧縮の応力がかかっていることがわかる。すくい面では、切りくず流出方

表2 実験条件

項目	Tool A	Tool B
切れ刃丸み半径	2 $\mu$ m	10 $\mu$ m
すくい面表面粗さ	Ra=0.13 $\mu$ m Rz=1.18 $\mu$ m	Ra=0.04 $\mu$ m Rz=0.12 $\mu$ m
被削材	SUS303	



(a) Tool A (b) Tool B

図6 切りくず形状の違い

向と反対側に摩擦力がかかるため、図4(b)に示す切りくず中立円弧ラインに対してすくい面側のモーメントが働くと考えられ、その結果カールしにくくなると言える。

### 3. 実験による切りくず形状の違い

実験では、工具の表面粗さを変更することで摩擦係数を調整した。表2に示す2種類の工具で突っ切り加工を行った場合の切りくず形状を図6に示す。なお、最小カール半径はTool Aで0.96mm、Tool Bで0.16mmであった。このことから、Tool Aの摩擦係数は0.5程度、Tool Bの摩擦係数は0.3程度であると推測でき、Tool Aでカール半径を小さくするには図1の結果から摩擦係数を0.2以下にするか、切れ刃丸み半径を20 $\mu$ m以上にすれば良いと推測できる。

### 4. 結言

本研究では、切れ刃丸み半径と摩擦係数がカール半径に及ぼす影響を調べ、以下のことが明らかになった。

- 1) 切れ刃丸み半径が切込み量以下の場合、すくい面-切りくず間の摩擦係数がカール半径に及ぼす影響が大きい。
- 2) 摩擦係数により微小領域のすくい角が変化する。

### 謝辞

本研究は、公益財団法人 JKA の補助を受けて行った。ここに記して謝意を表す。

### 参考文献

- 1) 例えば中山一雄,上野山勝,田村清;切りくずの彎曲について,精密機械,27,10(1961)681.
- 2) 神尾和明,帯川利之:ナノ・マイクロテクスチャ付き工具による工具-切りくず接触界面のトライボロジー制御,2009年度精密工学会春季大会学術講演会,(2009)721.