

ボールエンドミルのすくい面と逃げ面を考慮した切削抵抗予測に関する研究

大阪工大 (工、バイオベンチャーセンター) 喜田義宏 大阪工大 (院) ○鈴木純三
要旨

高硬度金型材加工における仕上げ加工を対象としたねじれ刃ボールエンドミルのすくい面にかかる切削抵抗を考慮した切削モデルと、すくい面・逃げ面両方にかかる切削抵抗を考慮した切削モデルを考え、これら2つの解析値と実験値の比較をした。またこの解析で得られた切削パラメーターを自由曲面の切削抵抗の解析に適用することの可能性についての検討をおこなった。

1. 緒言

エンドミル加工における切削抵抗の予測法については、いくつかのモデルが提案されている。一般に用いられているモデルとしては切れ刃の除去量から切削抵抗を推定したものが多く、本研究では、すくい面および逃げ面に働く摩擦力を考慮した Bayoumi らによる力学的モデルを採用した。またこのモデルを用いて傾斜面等高線加工の解析をおこない実験結果と比較した。

2. ボールエンドミルによる焼入れ鋼の切削抵抗解析

切れ刃のすくい面上で生成される切り屑とすくい面および逃げ面の幾何的な定式化に基づき、すくい面、逃げ面両方に働く切削力を考慮した解析を行った。すくい面のみを考慮した切削力を式 (1)、すくい面・逃げ面のみを考慮した切削力を式 (2)、で表す。

$$F(\theta) = \frac{R_0 \cdot f_t}{\tan \lambda_0} \int_{\phi_1(\theta)}^{\phi_2(\theta)} \sin(\phi + \theta) [C(\phi + \theta)] \{K_r\} d\phi \quad (1)$$

$$F(\theta) = \frac{R_0 \cdot f_t}{\tan \lambda_0} \int_{\phi_1(\theta)}^{\phi_2(\theta)} \sin(\phi + \theta) [C(\phi + \theta)] \{K_r\} d\phi + \int_{\phi_3(\theta)}^{\phi_4(\theta)} [D(\phi + \theta)] \{K_f\} dS \quad (2)$$

- λ_0 : ねじれ角
- R_0 : ボールエンドミル半径
- ϕ : ねじれによる遅れ角
- θ : ボールエンドミルの回転角
- f_t : 一刃当たりの送り量

K_r はすくい面に働く比切削抵抗、 K_f は逃げ面に働く比切削抵抗で実験値より求められるパラメーターであり、最小二乗法より求めた。

ここでは、式 (1)、式 (2) それぞれを用いて傾斜面等高線加工の解析をおこない、逃げ面を考慮することによってどのように解析値に影響を与えるのかを調べた。

3. 斜面等高線切削加工の加工条件

仕上げ加工を想定した、傾斜面直線切削実験の実験条件を表1に示す。実験に使用した工具および被削材はボールエンドミル(MMC コベルコツール(株)、VC-2MB、2枚刃、 $\phi 10$)であり、被削材はSKD-61 (HRC53) の焼入れ鋼を用いた。

表1. 切削条件

Spindle speed : S	1800 [rpm]
Feed per tooth : ft (Feed rate : F)	0.05, 0.1 [mm/tooth] (180, 360 [mm/tooth])
Depth of cut : t	0.1 [mm]
Pickfeed rate : Pf	0.3 [mm]
Gauge length from Collet	30 [mm]
Angle of Inclination ζ	10, 20 [DEG.]

4. 実験・解析結果および考察

図1には逃げ面を考慮していない解析結果および実験結果を、図2には逃げ面を考慮した解析結果および実験結果を示す。また表2に解析に用いた実験値より得た切削パラメーターを示す。

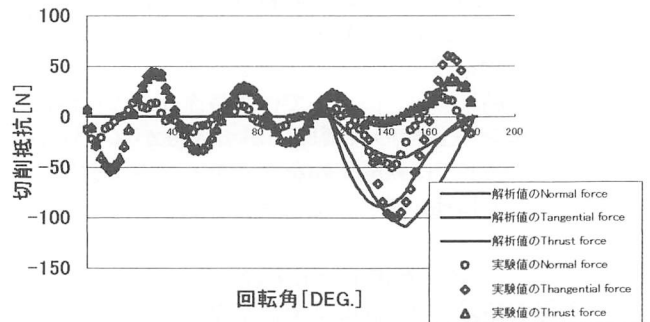


図1 逃げ面を考慮していない切削抵抗の解析値と実験値の比較

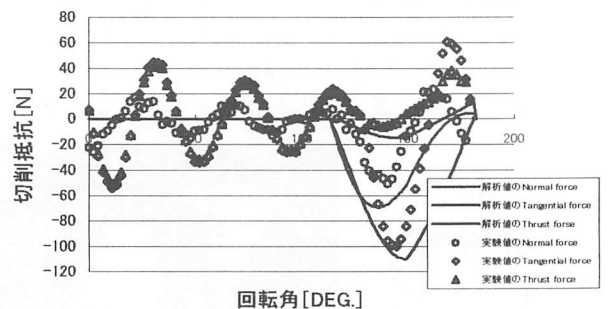


図2 逃げ面を考慮した切削抵抗の解析値と実験値の比較

図1, 図2の切削条件: S=1800rpm, Ft=0.1 mm/tooth
t=0.1 mm, Pf=0.3mm $\zeta=10^\circ$

表2 逃げ面を考慮した解析値の切削パラメーター

	Kn [N/mm ²]	Kf	θ_c [DEG.]	Knf [N/mm ²]	Kff
$\zeta=10^\circ$ ft=0.1[mm/tooth] t=0.1[mm] Pf=0.3[mm]	7400	0.90	29.4	15.0	0.3
$\zeta=10^\circ$ ft=0.05[mm/tooth] t=0.3[mm] Pf=0.3[mm]	6440	0.80	25.0	13.0	0.2
$\zeta=20^\circ$ ft=0.05[mm/tooth] t=0.1[mm] Pf=0.3[mm]	9440	0.79	18.0	13.0	0.2

Kn,Knf: すくい面・逃げ面に働く法線方向の比切削抵抗

Kf,Kff: すくい面・逃げ面に働く摩擦方向の比切削抵抗

θ_c : 切り屑の流出角

図1、図2の結果を比較するとワーク送り方向の抵抗と工具半径方向の抵抗は差が小さいが、工具軸方向の抵抗は図2の逃げ面を考慮した解析では実験値に近い値を示しているのに対し、図1の逃げ面を考慮していない解析では大きくずれている。これは実際の加工では逃げ面の摩擦、工具のたわみなどが影響するためと考えられる。したがって逃げ面にかかる抵抗の影響を考慮する必要がある。表2の切削パラメーターを較べてみると、切削パラメーターは、加工条件のt、Pf、ftの変化による影響は小さく、傾斜角 ζ の変化による影響のほうが大きくなるのがわかる。よって曲面等高線加工の切削抵抗解析を行う場合、傾斜面等高線加工を行う場合と同じ傾斜角に相当する条件であれば、切削パラメーターは傾斜面の等高線加工と同じものを使用できると考えられる。

5. 傾斜面等高線加工の切削パラメーターを用いた曲面加工の切削抵抗の解析

傾斜面等高線加工の切削パラメーターを用いて図3に示す自由曲面の等高線加工での切削抵抗の解析をおこなった。図3はキャビティの曲面であり X-Y、Z-Y 断面でそれぞれ曲率を有するものを示す。

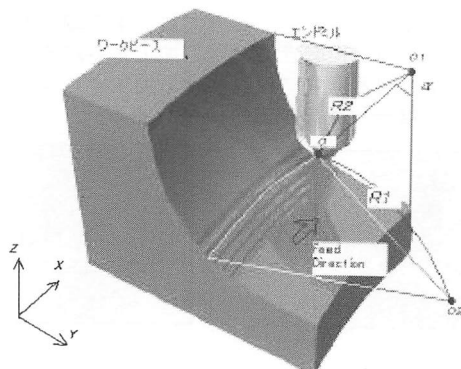


図3 曲面等高線加工のモデル

R1: X-Y断面のワークの曲率

R2: Z-Y断面のワークの曲率

O:ワークと工具の接点

O1: 曲率R2の中心

O2: 曲率R1の中心

α : z軸と線分O、O1のなす角

6. 曲面等高線加工の切削抵抗の解析結果と考察

図3に示す曲率R1、R2（この解析ではR1=R2）を有するキャビティ形状の被削材を点Oから半径R1で円弧切削したときの切削抵抗を解析的に求めた。その結果を図4に示す。なお $\alpha=30^\circ$ 、 20° 、 10° のときの解析に用いた切削パラメーターはそれぞれ $\zeta=30^\circ$ 、 20° 、 10° の傾斜面等高線加工の切削パラメーターを用いて解析を行った。

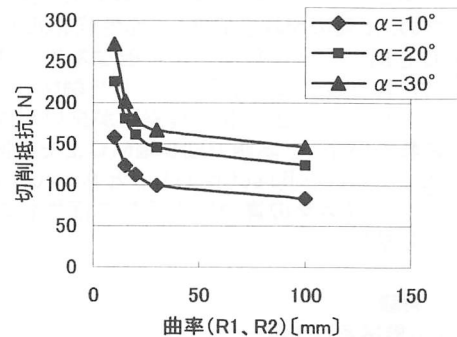


図4 曲率(R1, R2)、 α の変化とNormal forceの関係

図4の切削条件: S=1800rpm, Ft=0.05mm/tooth, t=0.3mm, Pf=0.3mm

図4の結果より曲率(R1, R2)が30mm以下になると急激に切削抵抗の解析結果が大きくなることわかる。これは幾何学的に曲率(R1, R2)が小さくなるにつれて工具の加工時の刃の接触面が増えるためと考えられる。

6. 結言

- (1) すくい面および逃げ面に働く摩擦力を考慮した切削モデルを用いて傾斜面等高線加工における抵抗の解析を行った。すくい面に働く力のみを考慮した切削モデルの解析値と比較した結果すくい面および逃げ面に働く摩擦力を考慮した解析値のほうが実験値に近い値となった。
- (2) 傾斜角切削パラメーターを用いた自由曲面の等高線加工での切削抵抗の解析をおこなった。

参考文献

- 1) 硬度金型材のエンドミル加工に関する研究: 古池裕幸 (大阪工業大学修士論文1998年)
- 2) A.E.Bayoumi., G.Yucesan., L.A.Kendall. 1994, "An Analytic Mechanistic Cutting Force Model for Milling Operations: A Theory and Methodology"