

フライス削りにおける刃先温度の解析

北見工大 ○鈴木信玄 久保明彦 田牧純一 北川武揚

要 旨

フライス削りにおける工具刃先温度の数値計算を行ない、試作したすくい面平均温度測定用エンドミルにより実測した切削経過に伴う工具面平均温度の変化について比較検討している。

1. はじめに

フライス削りにおける工具損傷は、刃先温度の影響を大きく受けるが、切削過程が断続的であり非定常なため、一般にフライス削りの刃先温度解析は複雑で難しいものとなっている。

本研究では、三次元切削であるフライス削りを二次元切削モデルに置き換え、熱伝導差分数値計算¹⁾により刃先温度の解析を行ない、一方、試作したすくい面平均温度測定用一枚刃エンドミルを用いて切削時のすくい面平均温度を測定し、実切削時の工具面温度状態について計算値と比較検討した。

2. 解析方法

解析の対象は直径40mmの一枚刃エンドミルによるステンレス鋼SUS304角材の隅削りである。工具は $\alpha_r=0^\circ$ 、 $\alpha_s=15^\circ$ 、ノーズ半径0.8mmの超硬P30とし、切削条件は回転数 $N=856\text{rpm}$ (切削速度 $V=107\text{m/min}$)、1刃当たり送り $S_z=0.158\text{mm}$ 、半径方向切込み $d=1\text{mm}$ 、軸方向切込み $b=2\text{mm}$ の乾切削とした。また切削方法は上向き及び下向き削りとした。

フライス削りは三次元切削であるが、軸方向切込み b が切削厚さ h に比べて十分に大きいので、切りくず流出方向に沿い、工具すくい面に垂直な断面を考え、そこに現れた二次元切削モデルの集積として考えることにより切削幅を考慮しない二次元切削に置き換えて解析した。

計算に必要な切削データは二次元切削実験より得るものとし、本解析でのエンドミル工具形状に相当する旋削工具(すくい角 0° 、傾斜角 15°)を用い、厚さ2.2mmのSUS304円板の半径方向連続傾斜旋削を行ない、切りくず流出角 η_c を求め、それによる有効すくい角 α_e を二次元解析でのすくい角 α とした。

またフライス削りでは切削進行に伴い切削厚さ h は常に変化するが平均切削厚さ h_m における二次元切削データを用いて、せん断応力 τ_s 、せん断角 ϕ 及び摩擦角 β を求め、これらは切削中変化しないものとした。表1に計算に用いる切削データ及び熱定数を示す。

図1は、数値解析に用いた正方差分格子モデルである。格子間隔 0.004mm とし、切りくず接触長さ l_c は切削力の合力の方向から計算した値を用い、すくい面応力は刃先点で最大値をとる三角形分布を仮定している。

実切削中の切削厚さ h は切削距離 L によって上向き削りで0から最大まで、下向き削りで最大から0まで、それぞれ直線的に変化すると仮定している。また切削厚さの変化に伴い切りくず厚さも変化するため、差分格子モデルを逐次修正しながら計算を行なった。

表1. 切削データ及び熱定数

切りくず流出角 η_c (deg)	18.0	
有効すくい角 α_e (deg)	4.6	
せん断角 ϕ (deg)	12.8	
摩擦角 β (deg)	48.2	
せん断応力 τ_s (kgf/mm ²)	72.0	
切削厚さ h (mm)	上向き削り	0~0.05
	下向き削り	0.05~0
平均切削厚さ h_m (mm)	0.025	
実切削長さ L (mm)	6.3	
	SUS304	P30
比熱 c (kJ/kg·K)	0.502	0.25
密度 ρ (kg/m ³)	7900	11800
熱伝導率 k (W/m·K)	16.7	46.0

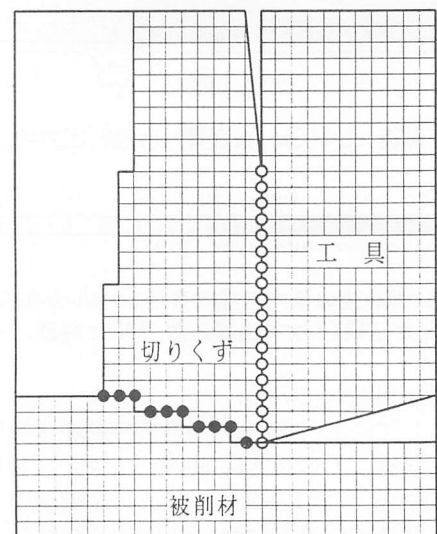


図1 正方差分格子モデル

3. 温度測定法

図2に温度測定装置の概略を示す。試作したエンドミルは工具部分が本体と絶縁されており、工具はエンドミルに固定されたスリップリングにのみ結線されているので、切削時の発生熱起電力は工具-被削材熱電対法(T-W法)により、工具からスリップリングおよびフライス盤に固定したブラシを介してアナログメモリスコープ(2MHz)により記録し測定した。

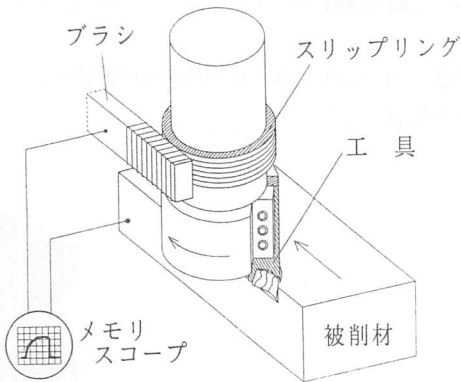


図2 温度測定装置の概要

4. 解析結果と検討

図3は、実測による上向き削りと下向き削りにおける実切削中の発生熱起電力とそれを温度に換算したすくい面平均温度の変化を示す。図中、実線で示したものは、空切削時に工具すくい面への切りくず付着が見られる場合の温度変化である。一方、破線で示したものは、空切削中の切りくず付着をφ2mmのノズルを用いて圧力7kgf/cm²のエアジェットにより強制的に取り除いた場合のすくい面温度変化である。上向き削りと下向き削りの比較では切削距離による温度変化の傾向が明らかに異なっており、下向き削りでは切削開始直後に最高温度に達し、その後緩やかに温度が低下している。一方、上向き削りでは切削開始初期の温度は下向き削りより低いが、切削中、温度は上昇し続けるため切削末期で最も温度が高くなっている。このように温度変化の傾向が異なるのは、切削経過による切削厚さの変化の違いによるものと考えられる。また、切りくず付着の有無による温度変化については上向き、下向き削りにおいて、ともに切りくずの排除により温度が低下している。

図4及び図5は、二次元数値解析より求めた上向き及び下向き削りの空切削時に切りくず付着がない場合の実切削時におけるすくい面温度変化である。本数値解析では、工具・切りくず・被削材を含む面内の温度分布を求められるが、実測と比較のため工具と切りくずの接触長さ内に現れる温度分布を平均化して示している。上向きおよび下向き削りの計算値はともに実測との良好な一致が見られる。本解析では切削厚さが直

線的に変化すると仮定したため、切削厚さが0に近づくとところでは計算値が実測値より低くなることが同図から考えられる。

5. まとめ

フライス削りにおけるすくい面平均温度を切削厚さが変化する切削モデルを用い二次元数値解析により求めた。その結果、切りくず付着がない場合に、計算値は実測値との良好な一致が見られた。

参考文献

- 1) 白井ほか：精密機械，38巻6号，1972

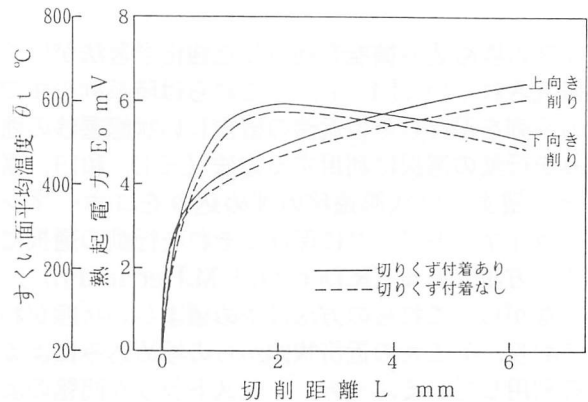


図3 すくい面平均温度

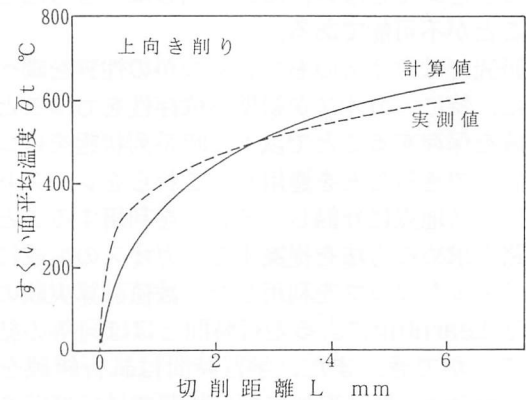


図4 すくい面平均温度(上向き)

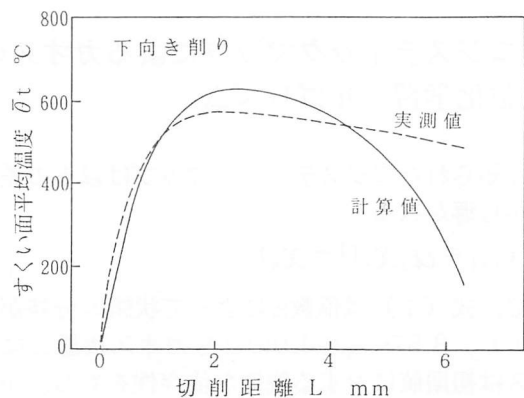


図5 すくい面平均温度(下向き)