

北見工大 ○鈴木信玄 杉野 豪 久保明彦 田牧純一 北川武揚

要 旨

エンドミルによる超高速切削を想定したアルミニウムの断続超高速切削を行ない、工具中に埋込んだタングステン線と工具材を熱電対とするすくい面局所温度を断続切削の全期間について測定した。その結果、断続切削においても高速度域で温度の低下する速度領域のあること、また実切削距離が短いほど温度の低下する速度域が低速側に移行することが知られた。この理由を空切削中の工具すくい面への切りくず付着の有無によるとして、数値計算による断続切削工具すくい面温度を調べ、実測値と比較検討している。

1. はじめに

一般に、切削速度の上昇に伴って切削温度は上昇、工具寿命は低下して切削不能となるが、さらに高速域では温度が低下し再び切削可能となる“サロモンの死の谷”<sup>1)</sup>の予言に対し、幾多の探検的研究<sup>2), 3)</sup>がなされている。本研究では、すくい面局所温度測定用工具を用いて断続切削時のすくい面温度を測定し、超高速切削のサロモンの神話の可能性を調べ、また数値計算を行なって断続高速度域での工具面温度低下の原因について解析し検討した。

2. 実験方法と結果

図1に示すように、厚さ3mm、直径410~460mm工業用アルミニウム(A1100)円板外周部分の半径方向送り二次元断続切削を行ない、実切削、空切削中の工具すくい面局所温度をメモリスコープ(2MHz)で記録測定した。工具にはすくい角 $\alpha=5^\circ$ のTiNサーメットを用い、切削厚さ(送り)0.022mmの乾切削を行った。この測定法によれば、従来のT-W法と異なり、工具すくい面に露出するアルミナコーティングタングステン線( $\phi 25\mu\text{m}$ )と工具材は空切削時でも常に温接点を構成しうから断続切削全期間のすくい面局所温度が測定できる。

図2は、種々の速度条件で切削長さ $L=50\text{mm}$ 、空切削長さ1250mmについて測定された刃先より $\ell=0.12\text{mm}$ 後方位置での熱起電力の例である。測定には外部トリガにより測定開始点を固定し、切削開始後3秒後の2秒間の繰返し断続切削について重複記録した結果である。同図において、切削速度3000~3500m/minでの切削直前の工具温度が低速時のそれより低くなっている。

切削中の熱起電力を温度に換算し、各種切削長さ $L$ 、切削速度 $V$ について求めた値の時間積分平均温度を図3に示す。同図より、断続切削では切削長さ $L$ の短いほど温度は低くなるが、いずれの切削長さでも高速域で積分平均温度の低下する速度領域が存在している。この理由のひとつは、局所温度測定位置と切りくず接触長さとの関係、すなわち高速切削ほど、また切削長さの短いほど切りくず接触長さが短くなるための温度低下で、図2の高速切削での切削開始後にみられる立上がり温度の遅れはこれに相当していると思われる。もうひとつは、空切削時のすくい面への切りくず付着の有無によるもので、空切削時の熱伝導のみによる工具冷却期間中の切りくず付着は保温材として作用し、工具表面温度の急激な低下を妨げる。断続切削において、

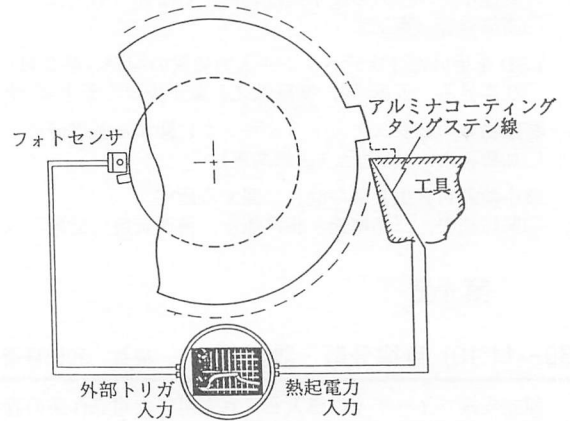


図1 測定装置

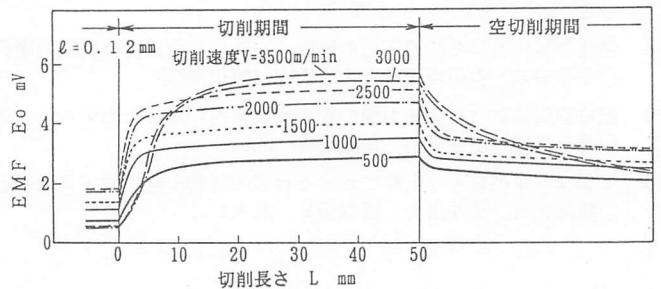


図2 断続切削における局所熱起電力の時間変化

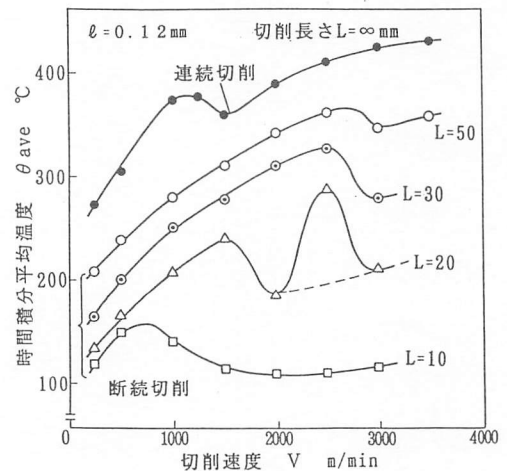


図3 各種切削長さについての時間積分平均温度

一般に高速切削ほど、また切削長さの短いほど切りくずは付着し難く、このような場合には図2のように、高速切削での切削開始直前の工具温度が低く、また図3のように切削長さLが短いほど高速域の温度低下速度領域が低速側に移行することになる。

図4は、切削長さL=10mm、切削速度V=1000m/minの条件で、局所温度測定位置をさらに切刃側に接近させ(測定点 $\ell=0.07\text{mm}$ )、切りくず接触長さの影響を受けない状態での測定結果で、空切削中、通常切りくず付着のある場合と圧縮空気( $\phi 1\text{mm}$ ノズル, 1気圧)を吹きつけて切りくずの付着を強制的に排除した場合の実測温度変化である。明らかに切りくず付着時には、切削開始直前の工具温度が高く現れている。同図中の破線は測定点 $\ell=0.12\text{mm}$ の切りくず付着の場合を示す。

図5は、図4の $\ell=0.07\text{mm}$ に対する断続1サイクル全期間の測定結果である。同図より、たとえば10mm切削後30mm空切削時の工具冷却温度A, B点の比較では、切りくず付着の有無によりかなりの温度差がみられ、このようなエンドミル断続切削条件を想定すると両者の切削中の工具表面温度差はさらに拡大するものと予想できる。

### 3. 数値計算による検討

実測値と比較のための熱伝導差分値計算を行なった。計算に必要な切削の諸量、せん断応力 $\tau_s$ 及びせん断角 $\phi$ 、摩擦角 $\beta$ 、すくい角 $\alpha$ の関係式 $\phi=f(\alpha, \beta)$ は連続切削で得られた実測値 $\tau_s=23\text{kgf/mm}^2$ 、 $\phi+\beta-\alpha=57^\circ$ を用いた。ただし、断続切削中、切削の経過に伴ってせん断角 $\phi$ 、切りくず接触長さ $\ell_c$ は変化するが、断続切削切りくずサンプルの顕微鏡写真から切削距離進行による切りくず厚さを測定し、これより求めた $\phi$ を用いた。また、切りくず接触長さ $\ell_c$ は切削力の合力の方向から計算した値を使用し、すくい面応力を刃先で最大とする三角形分布で近似している。計算過程では一定計算時間の進行(切削距離の進行)に伴って、せん断角 $\phi$ 、切りくず接触長さ $\ell_c$ を実際に合うよう差分格子網切削モデル(格子間隔 $h=0.004\text{mm}$ )を常に修正しながら計算を行なった。

図6, 7は、図4, 5の実測条件に対応した計算結果である。ただし、計算時間は断続3サイクル後の値で実切削時間に対応した計算回数に至らないため実測温度と較べ低めであるが、いずれの場合も計算と実測の時間経過の傾向は一致している。

### 4. まとめ

超高速断続切削において、高速切削領域での切削温度低下の現象は、空切削時に工具すくい面への切りくずが付着しないことに起因していることを実測及び計算より確かめた。

#### 参考文献

- 1) E. J. Tangerman: American Machinist, Dec. 29, p55-57, 1949
- 2) 伊藤 鎮: 日本機械学会誌, 55巻405号, p18-20, 1950
- 3) 北川武揚: 精密工学会北海道支部学術講演論文集, p65-66, 1995

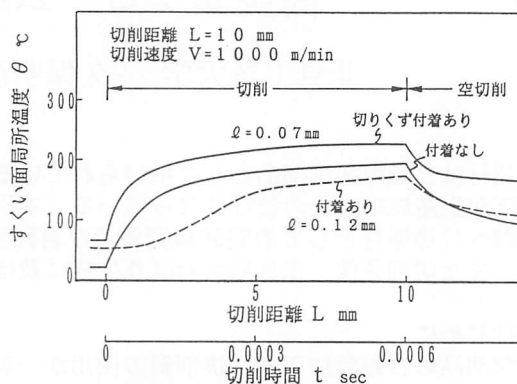


図4 実測局所温度の時間変化

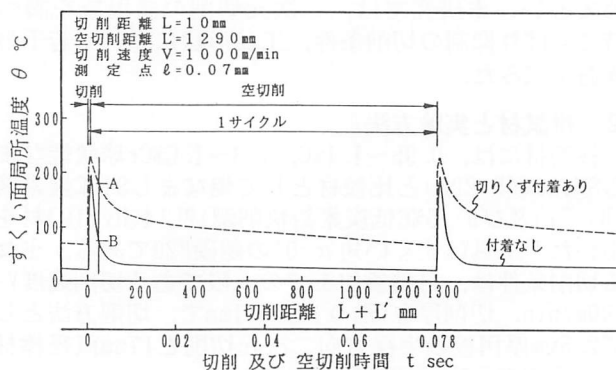


図5 実測局所温度断続1サイクルの時間変化

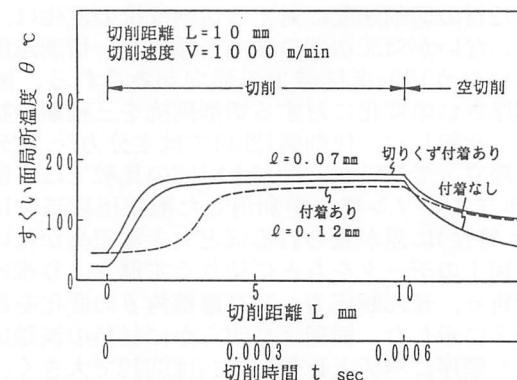


図6 計算局所温度の時間変化

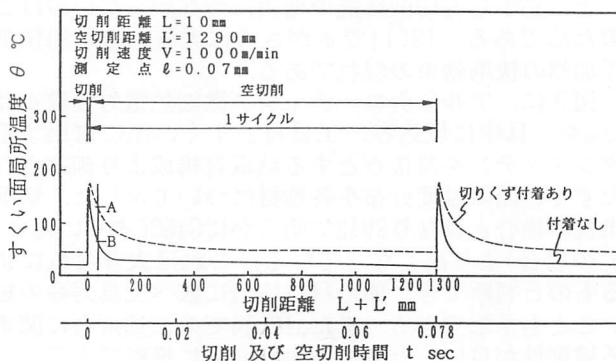


図7 計算局所温度断続1サイクルの時間変化