

小型工具温度計の開発と高速エンドミル加工への適用

福井工業高等専門学校 機械工学科
生産加工システム（岡田）研究室

Key Words: End milling, Tool temperature, Optical fiber, Two-color pyrometer

1. 緒言

今までに光ファイバと赤外線検出素子を組み合わせた 2 色温度計(以後、液体窒素冷却型; NL-type と称する)を用いて、機械加工における様々な温度現象が解明されて、新たな知見が得られている¹⁾。しかしながら、液体窒素冷却型は赤外線検出素子を液体窒素で冷却する必要があるため、設置環境や使用方法に多くの制約が存在し、加工現場での汎用的な使用が難しい欠点を有する。

そこで本報では、実用性と汎用性を考慮した工具温度モニタリング用小型 2 色温度計(以後、小型温度計; EL-type と称する)の開発を目的とする。また、本温度計の基本構成、特性を調査するとともに、その性能について言及する。加えて、本小型温度計を、炭素鋼の高速エンドミル加工における工具逃げ面温度測定に適用し、その諸特性と実用性を従来の液体窒素冷却型温度計と比較して検証している。

2. 基本構成

本小型温度計は大別して光ファイバ、赤外線検出素子、変換増幅回路から構成され、その構成要素は基本的に液体窒素冷却型と同様である。Fig.1 に温度計の概略図を示す。

本温度計の赤外線検出素子はペルチェ素子とサーミスタを内蔵し、外部温度コントローラにより、電氣的に素子温度を $-52\text{ }^{\circ}\text{C}$ で一定に保つ電子冷却型を採用している。これにより、液体窒素などの冷却媒体を充填する必要がなくなり、温度計の小型・軽量化が可能となる。これの結果、液体窒素冷却型温度計の外寸が $250\text{mm}\times 200\text{mm}\times 200\text{mm}$ であるのに対して、本温度計筐体部の寸法は約 $197\text{mm}\times 96\text{mm}\times 80\text{mm}$ であり大幅に小型化された。また、フレキシブルチューブにより光ファイバを保護することにより、ファイバ折損の危険性がなくなるほか、これが自立的にその形状を保持するために、測定部の位置決めが容易になった。

3. 基本特性

3.1 雑音特性

Fig.2 に小型温度計の基本雑音特性を示す。MC の電源を投入することによる雑音増加が認められる。また、NL-type と比較すると、InSb 素子からの雑音が大いだが、いずれも後述

する出力レベルを考慮すると、SN 比の観点から問題ないことがわかる。

3.2 周波数特性

Fig.3 にレーザー光の発振周波数と InAs 素子からの電圧利得の関係を示す。図より、 100kHz まで安定した出力が得られており、非常に高い応答速度を有しているといえる。

4. 工具温度測定

4.1 実験方法

開発した小型温度計の実用性を検証するため、実際に高速エンドミル加工における工具温度測定実験を行った。Fig.4 に小型温度計のマシニングセンタへの装着例を、Table1 に主たる実験条件を示す。

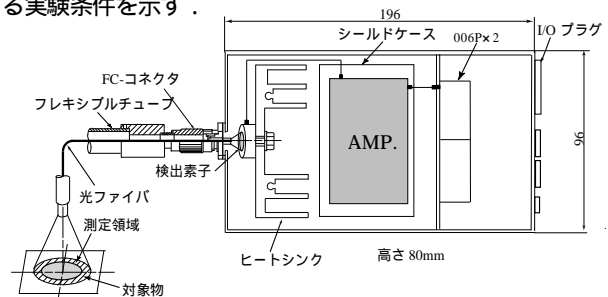


Fig.1 Fundamental structure of the pyrometer

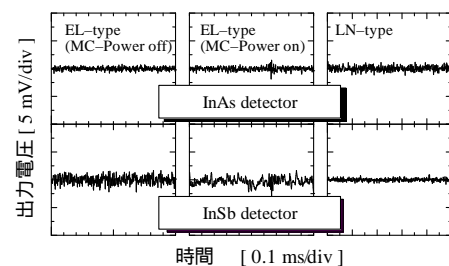


Fig.2 Characteristics of fundamental noise of electric and liquid nitrogen cooling type

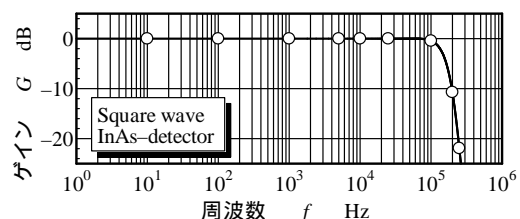


Fig.3 Frequency characteristics of compact two-color pyrometer



Fig.4 Installation example to machining center

Table1 Experimental conditions	
切削工具	スローアウェイ型エンドミル 直径 $D=25\text{mm}$ 軸方向すくい角 $\gamma_d=+7^\circ$ 半径方向すくい角 $\gamma_r=4^\circ$ チップ:A30N(JIS P30)
工作物	機械構造用炭素鋼:JIS S45C
切削速度	$v=200,400,600\text{m/min}$
1 刃あたりの切込み	$f=0.05\text{mm/min}$
半径方向切込み深さ	$R_d=0.2\text{mm}$
軸方向切込み深さ	$A_d=3\text{mm}$
ファイバ設置条件	$\psi=90^\circ$
潤滑剤	ドライ加工
切削形式	ダウンカット

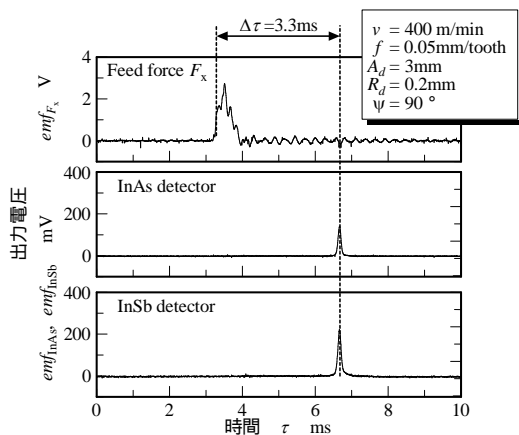


Fig.5 Influence of cutting speed on tool flank temperature

4.2 出力波形

Fig.5 に切削速度 $v=400\text{m/min}$ における切削動力計と小型温度計の各素子からの出力波形の一例を示す．図より，切削動力計の出力パルス開始点と温度計出力パルスのピーク点間に， 3.3ms 程度の時差が生じていることがわかる．本条件の場合，切削開始点から温度測定点($\psi=90^\circ$)まで回転するのに理論上で約 $\Delta\tau=3.3\text{ms}$ の時間を要する．このことから，温度計からの出力波形が切削開始点から 90° 回転後の工具温度を正確に出力していることがわかる．

4.3 温度計による結果の比較

製作した小型温度計の測定精度を確認するために，液体窒素冷却型温度計との測定結果の比較により検討を行う．

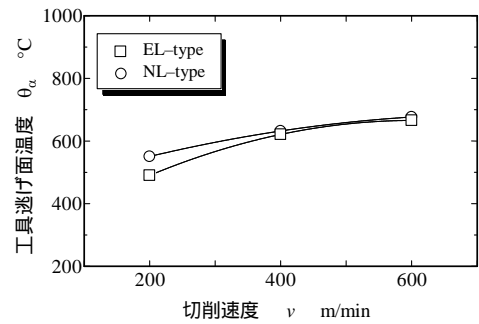


Fig.6 Typical output wave profile of dynamometer and compact two-color pyrometer

Fig.6 は同一加工条件で切削したときの工具逃げ面温度 θ_a を，小型温度計と液体窒素冷却型温度計で測定した結果であり，1 パス切削中の連続した 20 回の温度パルスの平均値をプロットしている．図より両温度計の測定結果がともに，切削速度 v の増加にともない工具逃げ面温度 θ_a が増加し， v による θ_a の影響を表していることがわかる．また，本小型温度計の測定結果は，測定精度が確かめられている液体窒素冷却型の結果とほぼ同じ温度を示していることがわかる．よって，今回製作した小型温度計が従来の液体窒素冷却型に匹敵する性能を有しているといえる．よって，高速エンドミル加工における工具逃げ面温度測定に十分使用できる．

このことから，本温度計の実用化により，従来測定が困難であった工具温度の観点から諸現象を解明することが可能となり，さまざまな用途が期待できる．さらに，小型・軽量であるため既存設備への実装も容易であり，工作機械の高付加価値化への貢献も期待できると考えられる．

5 結言

高速エンドミル加工における工具温度モニタリング用の小型 2 色温度計を開発し，その特性を詳細に検討した．また，実験的に液体窒素冷却型温度計との測定結果の比較を行い，その測定精度を検討した．以下に得られた結論を示す．

- (1) 赤外線検出素子に電子冷却型素子を用いることで，小型で応答速度、SN 比に優れた温度計の製作が可能となった．
- (2) 光ファイバをフレキシブルチューブで保護することで，両端面の研磨や取り扱いが簡便で光軸合わせが不要となった．また，測定部を任意に設定でき，実用的な使用が可能となった．
- (3) 本温度計を高速エンドミル加工における工具逃げ面温度に適用したところ，正確な出力が得られ，測定精度も良好な結果を示した．

参考文献

- (1) 上田隆司, 山田啓司, 及川志郎, 細川晃: レーザフォーミング加工に関する基礎的研究, 精密工学会誌, 67 巻 2 号 (2001)300