

タップ加工におけるスパイラルタップの工具刃先温度 —切削挙動の把握と2色温度計による工具刃先温度の測定—

金沢大学 ○山崎 修平, 田中 隆太郎, 細川 晃, 上田 隆司, 古本 達明

Tool edge temperature of spiral tap at tapping
-Grasp of cutting behavior and measurement of tool edge temperature by two-color pyrometer-

Kanazawa University Shuhei YAMAZAKI, Ryutaro TANAKA, Akira HOSOKAWA, Takashi UEDA and Tatsuaki FURUMOTO

In this study, the method for measurement of the tool edge temperature in tapping was proposed. The tool edge temperature was measured using the two-color pyrometer with an optical fiber. In addition, the vibration caused by tool edge-work piece contact was sensed by an acceleration pickup. Experiments were performed using TiN coated HSS-spiral tap (M10×1.5). As a result, the temperature outputs from tool edges and chips were able to be distinguished. In tapping of S45C-BN at cutting speed 30 m/min, the maximum tool edge temperature is about 400 °C. The tool edge temperature was increasing with cutting aria.

1. 緒 論

タップによる雌ねじ加工は製品生産の最終工程で行われるため、工具の折損や仕上げ面の精度の低下などの不具合は許されない。工具の折損の主な原因として工具摩耗が挙げられる。そのため工具摩耗に大きく影響をおよぼす工具刃先の温度を定量的に知ることは有益である。しかし、タップ加工は加工状態が複雑であることから、切削温度に関する研究報告は他の切削加工の温度測定に比べて著しく少ない。赤外線温度計を用いたタップ加工の温度測定¹⁾は行われているが、加工中の被削材の表面温度から工具刃先温度を予測したものであり、直接刃先温度を測定したのではない。

本研究では、タップ加工の切削挙動を詳細に観察するとともに、光ファイバ型2色温度計²⁾を用いて工具刃先温度の測定方法の確立を試みた。

2. 実験装置および実験方法

図1にタップ加工における工具刃先温度測定システムを示す。マシニングセンタのテーブルに固定された円筒状の被削材に下穴φ8.6mm(JIS B1004 系列 85)を明け、タップホルダ(SHOWA 製, BT40-TPC20)にタップコレット(SHOWA 製, TCC20-M10)を介して取り付け付けたスパイラルタップ M10×1.5(YAMAWA 製, N-SP-V)によってタップ加工を行った。被削材の側面の上面から5mmの位置にφ5mmとφ1.5mmの穴を段付きにしてあげ、エア封入用の治具と光ファイバを挿入した。治具からエアを流入させた状態で加工を行うことで、光ファイバの受光領域へ異物の侵入を防止することができる。加工中、φ1.5mmの貫通穴を通過する工具刃先から輻射される赤外線は光ファイバで受光し、InAs/InSb2色温度計により測定した。同時に軸方向の振動を加速度ピックアップにより測定し、タッピングトルクは動力計により測定した。

表1に実験条件を示す。タップ加工における工具刃先温度の測定方法を確立するために工具摩耗が起こりにくいBN快削鋼S45C-BNを被削材として用いて実験を行った。また、送り速度はピッチと同期させるため1.5mm/revとした。潤滑条件は潤滑スプレー(KURE 5-56)と30倍希釈したエマルジョンタイプのクーラントを使用した。

図2に本実験で使用したスパイラルタップを示す。加工の現象を単純化するため切削に関与していない工具先端の食付き部を削り落した。(a)が未加工のタップ、(b)が不要な切れ刃を削り落したタップである。食付き部のない工具でタップ加工を行った場合、タップが被削材に接触した瞬間からねじ切りが開始される。

図3(a)に刃先がねじ溝を加工する様子を示す。タップ加工において切削に関与しているのは6つの刃先だけである。①から⑥の順に刃先が被削材に作用していき、ねじ溝が形成される。

図3(b)はそれぞれの刃先の切削断面形状をまとめたものである。

図3(c)に1回のタップ加工によって排出される切りくずを示す。スパイラルタップの3本ある溝から3組の切りくずが排出

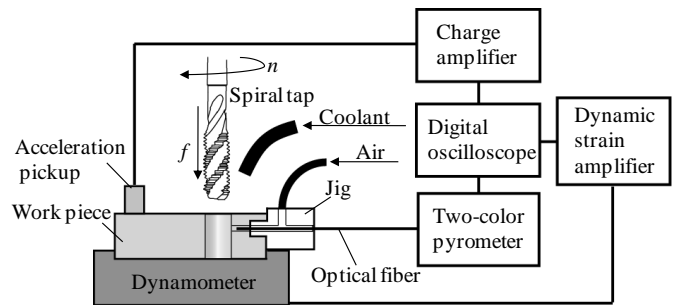
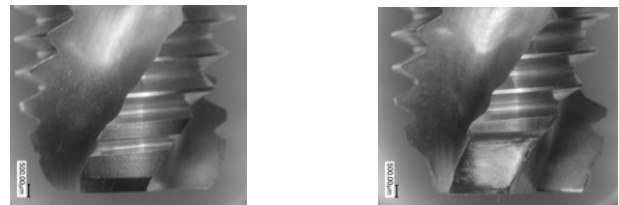


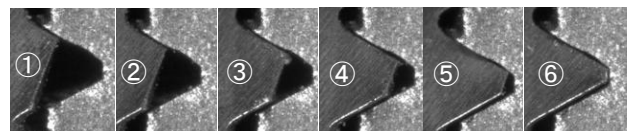
Fig.1 Measurement system of tool edge temperature

Table1 Experimental conditions

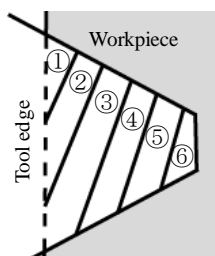
Tool material	HSS(TiN coated)
Workpiece	S45C-BN
Tap drill size d	8.6 mm
Cutting speed V	30 m/min
Feed rate f	1.5 mm/rev
Lubricant	KURE 5-56, Emulsion(3%)



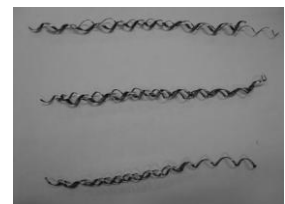
(a) Conventional tap (b) Processed tap
Fig.2 Experimental spiral tap



(a) Cutting behavior of tool edge



(b) Cutting area of each tool edge



(c) Chips formation

Fig.3 Cutting behavior at tapping

される。1組2本の切りくずがらせん状にからみあっており、それぞれ6つの切れ刃によって生成された切りくずである。

3. 実験結果

3.1 2色温度計の出力特性

図5に2色素子からの出力比と温度の関係を示す。本実験で使用した2色温度計は一本の光ファイバから赤外線を受光し、感度波長域の異なる2つの光電素子へ導くように構成されている。その後2色素子から検出された赤外線を電気信号に変換し、増幅した後にInAs素子とInSb素子の出力比を求めて温度換算する。2色素子の信号比から温度を求めるため原理上温度計の測定精度が物体の放射率にほぼ依存しない特徴を持っている。よって、校正実験では安定して広い範囲に熱が広がるシリコン坩堝を試料として用いた。試料を加熱および冷却したときの温度を熱電対温度計でモニタリングし、出力比との関係性を求めた。光ファイバおよび2色温度計の分光感度を加味した曲線を実験値に近似させ、この曲線を理論曲線とする。

3.2 タップ加工における2色温度計の出力波形

図6はタップ加工を行ったとき2色温度計(InSb素子, InAs素子)および加速度ピックアップ, 動力計からの出力波形である。使用したタップは食付き部を削り落しているため加速度ピックアップの反応が開始した点が切削開始と考えることができる。また、6つある刃先が順次被削材に作用していくため、タッピングトルクが徐々に上昇している。すべての刃先が作用すると最大トルクとなる。その後切削が進み、刃先がファイバの測定領域に達すると2色温度計の出力が始まる。

図6(a)はタッピングスプレーの代用として潤滑スプレーを加工前のタップに塗布して加工したときの出力波形である。切削部の刃先は6つであるが、温度の出力ピークは10パス以上ある。切りくずからの温度出力も含まれていると考えられるため、切削部の特定する必要がある。この実験において、送り速度 $f=1440\text{mm/min}$ であり、タップが切削を始めてからファイバの通し穴に到達するまでの時間は計算上 208ms となる。加速度ピックアップが反応開始してから1パス目の出力がされるまでの実測値は非常に近い値をとっている。また、タップの回転速度 n が 960rpm, 刃数が1回転につき3枚であるため、ファイバの受光領域を刃先が通過する間隔は計算上 20.8ms となる。初めに出力されるピークからその後に続く5つのピークはこの間隔と合致するため切れ刃からの出力と判断できる。それ以降のピークは間隔がランダムであり、はっきりとしたピークがないことから切りくずからの出力と考えられる。

図6(b)は湿式におけるタップ加工の温度測定出力波形である。動力計と加速度ピックアップからの出力波形は図6(a)と同様の傾向を示している。また、2色温度計は全体の出力電圧が小さくなっている。クーラントの効果により、加工温度が小さくなったためであると考えられる。

4. タップ加工における工具刃先の温度

図7に乾式および湿式におけるタップ加工の各刃先の温度と切削断面積を示す。刃先の温度はそれぞれ 300~400°C程度で推移している。3番目の切れ刃まで刃先の温度が上昇し、その後減少に転じる傾向が見て取れる。これは切削断面積が3番目の刃先まで増加し、減少することが原因であると考えられる。乾式切削と比べて湿式では約 40°C低い工具刃先温度となった。ただし、4番目以降の刃先の温度は乾式と比べてあまり変わっていない。これはねじ溝が深くなるにしたがって、クーラントが刃先に届きにくくなったためであると考えられる。

5. 結論

本研究では、タップ加工における刃先温度の測定方法を確立するためにスパイラルタップを用いてタップ加工を行い、以下の結論を得た。

- (1) 工具切れ刃と切りくずからの出力は切削開始からの時間とピーク間隔から分離できる。
- (2) 工具刃先温度は先端の切れ刃から徐々に上昇し、その後低減しており、切削断面積の挙動と一致する。
- (3) クーラントの冷却効果により工具刃先温度が約 40°C低下した。

謝 辞

本研究を遂行にあたり多大なご支援を賜りました株式会社彌満和製作所の関係各位に深謝致します。

参考文献

1) S. Bhowmick, M. J. Lukitsch, A. T. Alpas: Tapping of Al-Si alloys with diamond-like carbon coated tools and minimum quantity lubrication, Journal of Materials Processing Technology, 210,15(2010)2142
 2) T. Ueda, M. Sato, A. Hosokawa, M. Ozawa: Development of infrared radiation pyrometer with optical fibers - Two-color pyrometer with non-contact fiber coupler, CIRP Annals-Manufacturing Technology, 57,1(2008)69

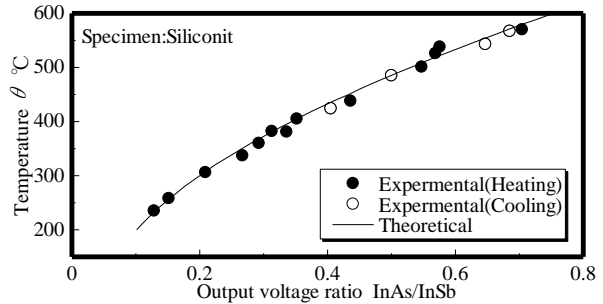


Fig.5 Relationship between temperature and the output voltage ratio of two-color pyrometer

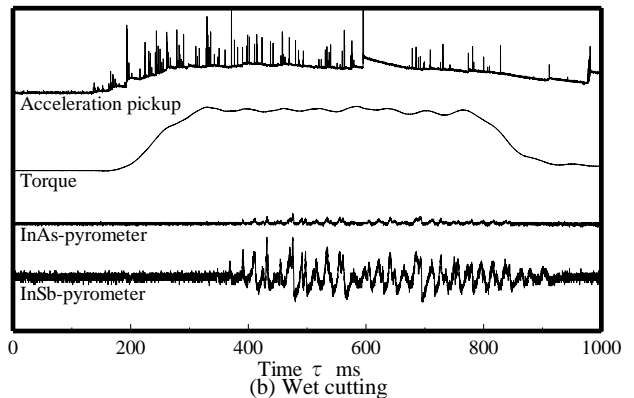
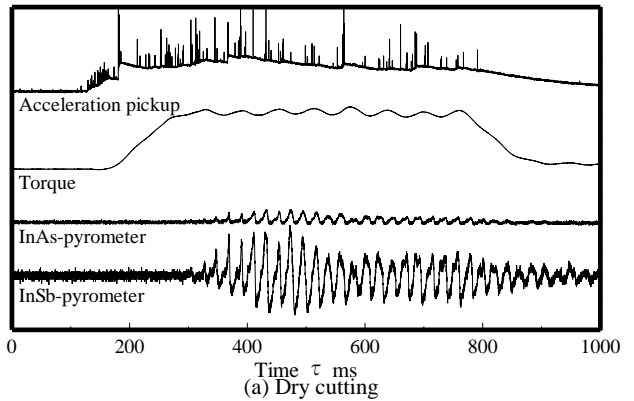


Fig.6 Wave profiles of output from pyrometer, acceleration pickup and dynamometer

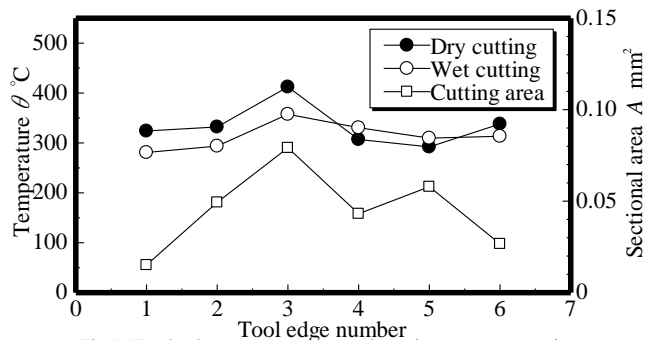


Fig.7 Tool edge temperature and cutting area at tapping