研究論文

アルミニウムの低周波振動ドリル加工時における 刃先温度の測定と加工特性

足立 勝重* ・ 小川 恒一**
新井 典久*** ・ 井垣 久*

Measurement of cutting temperature of drill point and cutting
characteristics during low frequency vibratory drilling of aluminum

Katsushige ADACHI*, Koichi OGAWA**
Norihiisa ARAI*** and Hisashi IGAKI*

Cobalt high speed steel drills brazed with sheathed thermocouples were utilized in the measuring cutting temperature of the drill face, and the relationship between the cutting temperature and the cutting characteristics (cutting force, drill wear) was investigated. The temperature at the drill face during low frequency vibratory drilling was lower than that in the conventional drilling. Low frequency vibratory drilling also showed more effectiveness in the drilling of aluminum than the conventional drilling.

Keywords: vibratory drilling, drilling, cutting temperature, cutting force, drill wear

(Received June 29, 1989)

1. 諸 言

一般に、アルミニウムは被削性が良好で、工具摩耗も少ないと考えられがちである。しかし、ある種のアルミニウムでは、乾式切削において工具摩耗が著しいことが知られており、また、湿式切削でも境界摩耗の発生が無視できないことが指摘されている¹⁾。とくに、純アルミニウムは工具すくい面への切りくずの溶着現象も激しくそれが原因で切りくずの排除が困難となり、その結果、切れ刃に温度上昇を生じ、工具摩耗が大きくなるなど種々な問題点を抱えている。この切れ刃の切削温度については工具摩耗の進行、工具すくい面と切りくずとの摩耗現象などと深い関連をもち、その正確な測定が望まれているのが現状である²⁾。しかしながら、ドリル刃先は3次元的な形状をしているため、その切削機構は複雑で、そのために正確な切削温度の測定は困難である。

このような情勢のもとで、筆者らは今までにドリルの

穴あけ加工時のドリル刃先の切削温度について被削材に熱電対を埋込む方法、ドリルにクロメル-アルメル熱電対を挿入する方法など種々検討してきた。しかし、これらの方法では測定値のばらつきを抑えることができず、測定結果の解釈に疑義が生じることがしばしばであった。そこで本研究では、ドリル刃先のすくい面上にシーす熱電対を装着する独特な方法で、アルミニウムの低周波振動ドリル加工時の刃先温度の測定を行った。そして、刃先温度と加工特性（切削抵抗、工具摩耗）について検討した。さらに、慣用ドリル加工時の場合と比較検討した。

2. 実験装置と方法

2.1 実験装置

Fig. 1 は、本実験に使用したドリルのすくい面温度測定のプロックダイアグラムを示す。加工機械としてNC縦型フライス盤を使用した。切削温度の測定は後述

* 大阪産業大学工学部（大東市）。Faculty of Engineering, Osaka Sangyo University (Daito-shi, Osaka).

** 大阪府立大学総合科学部（堺市）。College of Integrated Arts and Sciences, University of Osaka Prefecture (Sakai-shi, Osaka).

*** 同志社大学工学部（京都市）。Faculty of Engineering, Doshisha University (Kyoto-shi, Kyoto).

Fig. 1 Block diagram used for the measurement of cutting temperature.

するシース熱電対より得られる起電力を、温度センサンプにより増幅し、電圧を A/D コンバータを通して、パーソナルコンピュータにより記録した。

切削抵抗は圧電式切削動力計を使用した。Fig. 2 は測定した切削抵抗をモデル化して表したものである。図において、切削抵抗の変動の平均値を静的成分、また、その変動の標準偏差を動的成分として電算機で処理した。

2.2 温度測定用ドリル

本実験ではすくい面温度はシースタイプの熱電対をコバルトハイスドリル (SKH 56) に埋込んで測定を行った。なお、ドリルの熱電対用埋込み穴の加工とシース熱電対の埋込みは以下のようにして行った。まず、母材となるコバルトハイスドリルのマージンに沿って、シースタイプの熱電対を埋込むために Fig. 3 に示すような溝を切った。そして、シース熱電対をドリル先端部の溝上の一点から、すくい面側に突き出すために、Fig. 4 に示す位置に放電加工により $\phi 1$ の貫通穴をあけた。図中の貫通穴の位置、すなわち、測温点はそれぞれ異なるドリルについて、それぞれ C-1、C-2 および C-3 に示す位置を選んだ。以上の工程で作製した溝および穴に、シース熱電対を銀ろうにより固定した。本実験で用いたシースタイプの熱電対はシース中にアルメル-クロメル熱電対が高密度に充填した酸化マグネシウム粉末と共に絶縁、封入されて形成されている。したがって、屈とう性に富み、かつ熱伝導率も高いので、温度変化にも追従し優れた応答性をもっている。なお、本研究においては、ドリルにシースタイプの熱電対を埋込むための加工の

Fig. 2 Static and dynamic component of cutting forces.

Fig. 3 Shape of drill used for measuring cutting temperature.

Drill	a (mm)	b (mm)	r (mm)
C-1	1.3	1.7	2.7
C-2	1.7	2.2	3.5
C-3	3.2	3.1	5.9

Fig. 4 Measured positions at drill face.

際、劣化を生ずるおそれがあるのでこれを補うため、ドリル刃先にシース熱電対を埋込んだ後、ドリル先端切れ刃と溝の再研削を行い、そしてドリルに必要な表面処理

Fig. 5 Workpiece used for measurement of cutting temperature.

(窒化酸化処理)を施した。

2.3 被削材

本研究に使用した被削材は工業用純アルミニウム (A1050-O) である。被削材を主軸側に取り付けるために Fig. 5 に示す形状に加工した。すなわち、図において、 $\phi 10$ の突起部を主軸側のコレットチャックに取り付けるようにした。また、実験に際しては、ドリル刃先の食い込み時の歩行現象による加工特性のばらつきを抑えるために、被削材を取り付けた後にセンタ穴ドリル ($\phi 3$) により、深さ 3 mm の穴あけ加工を施した。

2.4 切削条件

Table 1 に切削条件を示す。低周波振動ドリル加工の場合には、ドリルを NC フライス盤のテーブルに固定したチャックに取り付け、テーブルを上下させることによって低周波振動を与える方法をとった。切削油剤 (JIS W 2-3) は 3.2 l/min で供給した。

3. 実験結果と考察

3.1 ドリル切れ刃の刃先温度の測定

Fig. 6 は穴深さ 20 mm の位置での刃先温度 (すくい面温度) を低周波振動ドリル加工 (以下、振動加工と呼ぶ) と標準ドリルによる慣用のドリル加工 (以下、慣用

Fig. 6 Influence of distance from chisel point on cutting temperature in the case of $W_f=0.1$ with that of $W_f=0$.

Fig. 7 Relation between cutting temperature and cutting depth in the case of $W_f=0.1$ with that of $W_f=0$.

加工と呼ぶ) の場合についてそれぞれ示し比較してある。図に示すように、振動加工のすくい面温度は全般的に慣用加工の場合に比べて約 20% 低い。また、両加工法ともチゼルエッジ付近 (C-1) およびマージン部付近 (C-3) のすくい面温度は中央部 (C-2) よりも高い。

Fig. 7 は穴深さと刃先温度の関係を示す。図に示すように、両加工法の刃先温度は穴深さの増大と共に直線的に上昇するが、その傾向として穴深さが、5 mm 程度までは両者の温度に差がみられない。それ以上の深さになると振動加工は慣用加工の場合に比べて温度の上昇の割合が低くなり、穴の深さが 10~15 mm の範囲のところでは温度の上昇に緩急がみられ、周期的に温度上昇のほとんど見られない範囲が存在する。そして穴深さが 20 mm での刃先温度は慣用加工に比較して約 25% 低く測定された。振動加工法を適用した際の切削温度の相対的な低下および温度上昇の緩急が生じる理由は、ドリルの動

Table 1 Cutting conditions

Drill dia. d (mm)	10 (SKH56)
Revolution N (rpm)	440
Feed rate S (mm/rev)	0.15
Frequency ratio W_f (cycle/rev)	$W_f=0$ Conventional $W_f=0.1$ Vibratory
Amplitude a (mm)	0.1

Fig. 8 Measured results of cutting forces (Thrust, Torque).

Fig. 9 Comparison of cutting force (Static component) in the case of $W_f=0.1$ with that of $W_f=0$.

的なパルス状の加圧作用³⁾と周期的な振動が加わるので切りくずが切断され、切りくず詰まりが緩和されることによってドリル刃先の摩擦熱の減少が起こることによるものと思われる。

3.2 切削抵抗

Fig. 8 は振動加工の場合の切削抵抗（スラスト、トルク）を示す。また、同図には慣用加工の場合の測定結果も併記し比較してある。振動加工の場合、切込み厚さが周期的に変化する⁴⁾ので、切削抵抗は図に示すように動的成分が現れる。

Fig. 9 は Fig. 8 の関係を静的成分について比較したものである。図に示すように、振動加工の切削抵抗は穴貫通までほぼ一定である。しかしながら、慣用加工の場合は穴あけ深さの増加と共に増大する。すなわち、穴あけ後 10 mm 付近のところで比較すると、振動加工の場合、スラストで約 560 N、トルクで約 175 Ncm となる。

Fig. 10 Comparison of tool wear in the case of $W_f=0.1$ with that of $W_f=0$.

これに対し、慣用加工の場合はそれぞれ約 1000 N、480 Ncm で、振動加工の切削抵抗は慣用加工の場合に比べてスラストで約 44%、トルクで約 63% 低い。とくに、振動加工の切削抵抗が穴貫通までほぼ一定となるのは、穴深さが増しても切りくず詰まりが緩和されることによって切りくずの排出がよくなるためであると考えられる。

3.3 工具摩耗

Fig. 10 に振動加工および慣用加工時のドリル切れ刃すくい面の工具摩耗写真の一例を示す。振動加工の場合、切れ刃すくい面には溶着物が認められず、チゼル部近傍の摩耗がやや大きいものの切れ刃全体がほぼ均一に摩耗している。この理由は切削油剤の浸透作用⁵⁾による冷却効果の促進によって、ドリル刃先の摩擦熱の減少と構成刃先の抑制が生じたものと判断される。これに対し、慣用加工の場合は切れ刃すくい面の全域にわたって摩耗しているのが観察されると共に、チゼル部から切れ刃中央部にかけて広範囲にわたってクレータ摩耗が生じているのが観察され、この溶着物（構成刃先）の累積により、切りくず詰まりが生じて工具寿命を早めるものと思われる。

4. 結 言

ドリル刃先のすくい面上にシーース熱電対を装着してアルミニウムの振動加工時の刃先温度の測定を行い、刃先温度と加工特性の関係を慣用加工の場合と比較検討した結果、つぎのことがわかった。

(1) 振動ドリル加工時のドリルすくい面上の刃先温度は、慣用加工時の場合に比べて温度の上昇の度合いが低い。また、周期的に温度上昇のほとんど見られない範囲が存在し、穴深さが20 mmでの刃先温度は慣用加工時の場合に比べて約25%低くなる。

(2) 振動加工時の切削抵抗（静的成分）は慣用加工時の場合に比べてスラストで約44%、トルクで約63%低

い。

(3) 振動加工時の場合、ドリル切れ刃すくい面の摩耗は切れ刃全体がほぼ均一に摩耗するが、慣用加工時の場合、切れ刃中央部にかけてクレータ摩耗が生じて、溶着物（構成刃先）が生じやすい。

参 考 文 献

- 1) 財満鎮雄, 鈴木康夫, 奥島裕樹, 山田 茂: 軽金属, **31**, (1981), 341.
- 2) 奥島啓武, 垣野義昭: 精密機械, **36** (1970), 1.
- 3) 隈部淳一郎: 精密機械, **39** (1976), 66.
- 4) 足立勝重, 新井典久, 脇坂彰一, 西口正純: 日本機械学会論文集, **514**, C (1989), 171.
- 5) 益子正巳, 榊田勝美, 横田裕充: 潤滑, **13** (1968), 35.