SUS304 の低周波振動ドリル加工に関する研究*

(ドリル刃先部の切削温度)

新井典久^{*1}, 足立勝重^{*2}, 中村 貢^{*3}
協坂彰一^{*4}, 龍堂 誠^{*5}

A Study on Low Frequency Vibratory Drilling of SUS304

(Cutting Temperature of Drill Point)

Norihisa ARAI, Katsushige ADACHI, Mitsugu NAKAMURA,
Shoichi WAKISAKA, and Makoto RYUDO

The main object of the present paper is to discuss cutting temperature of the drill point in low frequency vibratory drilling of SUS304. Although many studies dealt with the drill wear in conventional drilling have been presented, there has been hitherto no study dealing with cutting temperature of the drill point in low frequency vibratory drilling of SUS304. For this reason, cutting temperature of drill point in low frequency drilling of SUS304 was chosen as a subject of our studies, that is, cutting temperature at the drill face was measured by using of some cobalt high speed steel drills which brazed a sheathed thermocouple, and the experimental results were compared with those in conventional drilling. On the other hand, cutting temperature of drill point was computed by finite element method. From this study, distribution of cutting temperature of drill point was clarified.

Key Words: Drilling, Low frequency vibratory drilling, SUS304, cutting temperature, tool wear, finite element method

1. 結 言

機械加工分野におけるドリル加工の占める割合は非常に大きく、その自動化も大いに推進され、それに伴ってドリル寿命の向上、より効果的な切りくず処理、加工精度の向上などが要求されるようになってきた。

一方、加工材料としてステンレス鋼、チタン合金等の難削材が近年多く使用されるようになり、これらの材料に適合したドリル加工方法を見い出すことが、この分野における重要な課題の一つとなっている。しかし、これら難削材は加工硬化性が高い、熱伝導性がわるいなどの原因でドリル加工時の切りくずの排除が困難となり、その結果、切刃に温度上昇が生じ、工具摩耗が大きくなる。また、工具すくい面への切りくずの溶着も激しく、さらに、チッピングを起こしやすいなどいろいろな問題を抱えている。これらの難削材に対する有効なドリル加工法のひとつとして低周波振動

ドリル加工が考えられる。しかし、これに関する研究は少なく、ただ、E. A. SATEL⁽¹⁾のステンレス鋼にこの方法を適用した研究があるにすぎない。

このような情勢のもとで、筆者らは低周波振動ドリルによる SUS304 の穴あけ加工時の切削温度を本研究の課題として取り上げた。また、その時の切削抵抗、工具摩耗との相関について検討した。さらに、これらの実験結果を慣用ドリル加工時の場合と比較した。一方、有限要素法によりドリル刃先部における熱伝導解析を試み、ドリルスくい面、逃げ面における温度分布について考察した。

2. 実験装置と方法

2・1 実験装置 図1は本実験に使用した加工装置を示す。加工機械として NC フライス盤 (遠州作所製 NR-F 型) を使用した。この場合ドリルを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 (0.1 cycle/rev) を与えた。また、工作物は NC フライスの主軸に取り付け回転させた。切削抵抗はキスラー製の圧電式切削動力計 (9273 型) で測定し、電算機で処理した。

2・2 切削温度の測定方法 ドリル切刃の切削温度はシース熱電対を用いて測定した。ドリルのマージ

* 平成2年3月23日 関西支部65期定時総会講演会において講演。原稿受付 平成元年8月10日。

*¹ 正員、同志社大学工学部 (〒602 京都市上京区今出川通烏丸東入)。

*² 正員、大阪産業大学工学部 (〒574 大東市中垣内3-1-1)。

*³ 日本電装(株) (〒445 西尾市つくしが丘1-1)。

*⁴ 兵庫県立工業試験場 (〒654 神戸市須磨区行平町3-1-12)。

*⁵ 同志社大学大学院。

ン上に細い溝を切り、すくい面上に埋め込んだシース熱電対をこの溝を通して導くようにした。これまでに、ドリルすくい面上の切削温度の測定を行った例はほとんどなく、本研究での方法は画期的なものである。図2はシース熱電対の埋め込み位置を示す。図中のC-1、C-2およびC-3は測温点($r=2.7$ mm, 3.5 mm, 5.9 mm)の異なるドリルの記号である。また、ドリルのすくい面温度測定のプロックダイアグラムを図1にあわせて示してある。

2.3 被削材とドリル 本研究に使用した被削材は溶体化処理(1100°Cで1 h 熱処理)した SUS304 の板材(200×300 mm)で、その表面は研削加工がしてある。ドリルは直径 10 mm (JIS SKH56) で、ばらつき

図1 実験装置および切削温度の測定ブロックダイアグラム

図2 シース熱電対の埋め込み位置

をなくすため、同一ロットで製作したものを使用した。切削油剤(JIS W2-3)は3.2 l/minで供給した。

3. 実験結果と考察

3.1 ドリル切れ刃の切削温度 図3は低周波振動ドリル加工(以下、振動加工と称す)の場合の穴深さ20 mmの位置でのすくい面温度を示す。同図には慣用ドリル加工(以下、慣用加工と称す)の場合もあわせて示し比較してある。図3に示すように、両者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。また、振動加工の場合はチゼル側、マージン側のすくい面温度が慣用加工の場合に比べて低い。

図4は穴深さと切削温度の関係を示す。図4に示すように、振動加工時のすくい面上(C-1)の切削温度は慣用加工の場合に比べ、5~30°C全般的に低いことがわかる。とくに、振動加工の場合の温度曲線にはかな

図3 温度測定結果

図4 穴深さと切削温度の関係(C-1)

りの凹凸がみられる。この切削温度の低下および温度曲線の凹凸は、ドリル刃先にパルス状に動的な加圧作用を与えるために生じるものと思われる。すなわち、切削油剤の浸透作用⁽²⁾によってドリル刃先および排出される切りくずが冷却されることを示している。したがって、この冷却効果によるドリル刃先の摩擦熱の抑制およびドリル刃先部の摩耗損傷と溶着物の抑制がなされる。このことは、後述する工具摩耗、切削抵抗(静的成分)が減少する実験結果と対応しており、振動加工の有効性を示す要因と考えられる。

3・2 切削抵抗 図5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⁽³⁾ので、切削抵抗(スラスト, トルク)は図5に示すように大きく変動する。これらの切削抵抗を穴あけ後10 s付近のところでみると、振動加工の場合、スラストで約1600~2050 N, トルクで約5.0~6.6 Nmとなる。すなわち、静的成分(変動の平均値)で見ると、スラストで約1825 N, トルクは5.8 Nmとなる。これに対し、慣用加工の場合はそれぞれ2000 N, 6.3 Nmで、振動加工の切削抵抗は慣用切削の場合に比べて、スラストで約9%, トルクで約8%減少している。この結果は図3の結果(C-1, C-3)と対応している。

3・3 工具摩耗 図6に振動加工および慣用加工時のドリル切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、切刃すくい面には溶着物が認められず、チゼル部近傍にわずかに摩耗がみられる程度で、切刃全体がほぼ均一に摩耗している。これに対し、慣用加工の場合は切刃すくい面の外周コーナ部が丸く摩耗しているのが観察されるとともに、チゼル部から切刃中央部にかけて広範囲にわたってクレータ摩耗がみられる。すなわち、慣用加工の場合、切刃全域にわた

って摩耗量が大きだけでなく、チゼル部から切刃中央部にかけてクレータ摩耗を生じ、振動加工に比べ工具寿命を早めるものと思われる。

以上、切削温度、切削抵抗、工具摩耗の観点から、振動加工の適用は慣用加工に比べ、効果的であると言える。

4. 有限要素法によるドリル刃先の温度解析

前節で述べたように、ドリルすくい面の局所的な切削温度を測定することはできるが、ドリルの切刃は複雑な三次元的形状をしているために、ドリル切刃全体の切削温度を正確に測定することは非常に困難である。したがって、このような場合、有限要素法を用いて解析することは有効である。しかしながら、いままでに、ドリルの切削温度を有限要素法で解析した研究はほとんど見られない。そこで、著者らは有限要素法による慣用加工のドリル刃先の切削温度について理論解析を試みた。

4・1 解析手法と要素分割 これまでに工具すくい面上の温度分布を解明するために提案された手法として臼井らの方法⁽⁴⁾があるが、本節での使用プログラムは矢川らの三次元熱伝導解析プログラム⁽⁵⁾を参考にした。

ドリル刃先にはねじれた溝があり、またドリル刃先

Drill dia. 10mm, Cutting speed 14.5m/min,
Feed rate 0.15mm/rev., Drilling depth 20mm,
Amplitude 0.1mm, Frequency ratio 0.1cycle/rev.

図5 切削抵抗

Drill dia. 10mm, Cutting speed 14.5m/min,
Feed rate 0.15mm/rev., Drilling depth 20mm,
Frequency rate 0.1cycle/rev., Oil cutting

図6 工具摩耗

先端部は軸に直角な断面形状がしだいに小さくなることから、三次元的に要素分割を行うことは非常に困難である。そこで本解析では図7に示すような、ドリル軸に垂直な断面を数多く取り、それらをつなぎ合わせるにより形状をモデル化した。分割要素はアイソパラメトリック六面体8節点要素を用いた。各断面での分割要素は同数であることが望ましいが、断面の大きさはドリル先端に近付くにしたがって小さくなるため、要素数を減らす工夫をした。また、チゼル部から0.1 mm下の断面を第1断面とし、ドリル先端から4.9 mmの間を15段(A～P断面で16断面)に分割した。各断面のZ座標を表1に示す。この各断面を四角形要素に分割した。この分割図の一例を図8に示す。なお、L断面からP断面はほぼ同一形状である。また、A断面からL断面の外形を重ね合わせたものを図9に示す。このモデルの総要素数は2800、総節点数は3542である。図10はチゼル先端から約3 mmのところの逃げ面(a)およびすくい面(b)の分割図である。

4・2 境界条件 境界条件としては、上述のすくい面温度測定実験により得られた測定値(C-3)を入力した。つぎに、チゼル部およびマージン部の各断面での温度(最高温度)は一定とした。また、それ以外の境界は断熱境界とした。なお、チゼル部およびマージン部における温度は、被削材に熱電対を埋め込むことにより測定した結果をもとにして、そこからドリル刃先端部までの距離的な温度差を考慮した値を用いた。

4・3 数値解析結果および測定結果との比較 図11に示したドリル逃げ面およびすくい面上における等温度分布図を図11, 12に示す。逃げ面およびすくい面のいずれにおいてもチゼル部の温度が最も高く、外

周にいくにしたがって低くなっている。いま、すくい面上における温度を測定結果と比較すると、C-2ドリルにおける測温点での温度差は、約15°Cとかなりの差があるが、C-1ドリルおよびC-3ドリルの測温点での温度差は約7°Cとかなり良好である。一方、振動加工の温度については切込み厚さの変化、切削油剤の影響、切りくずとの接触面積など種々の要因を考慮すべきであるが、本実験の範囲では5～30°Cの補正(低い値)を考慮すべきである。

表1 軸直角断面のチゼル先端からの距離

Section	Z-coordinate (mm)	Section	Z-coordinate (mm)
A	0.1	I	2.4
B	0.3	J	2.7
C	0.6	K	3.0
D	0.9	L	3.3
E	1.2	M	3.7
F	1.5	N	4.1
G	1.8	O	4.5
H	2.1	P	4.9

図8 軸直角断面Fの要素分割例
(節点数121, 要素数100)

図7 軸直角断面の一例

図9 軸直角断面A～Lの重ね合わせモデル

図 10 ドリル逃げ面, すくい面の分割例

図 11 ドリル逃げ面温度の計算結果

図 12 ドリルすくい面温度の計算結果

5. 結 言

(1) すくい面上に埋め込んだシース熱電対ドリルを考案し, ドリル加工時のドリル切刃各部の切削温度を測定することができた。振動加工時のドリル切刃のチゼル部(C-1), マージン部(C-3)のすくい面温度は慣用加工時の場合に比べて低い。

(2) 振動加工時の切削抵抗(静的成分), 工具摩耗は慣用加工の場合に比べて小さい。これらの結果は結言(1)の切削温度の測定結果と対応している。

(3) 慣用加工時の刃先温度の解析を有限要素法により行い, ドリル刃先の切削温度分布状態を明らかに

した。

(4) 振動加工時の切刃の切削温度は慣用加工の場合の計算結果に5~30°Cの補正(低い値)を考えるべきで, その数式化は今後の検討課題である。

(5) 以上の実験結果(切削温度, 切削抵抗および工具摩耗)より SUS 304 のドリル加工に振動加工を適用することの有効性を明らかにすることができた。

文 献

- (1) Satel, E. A. *Russian Engg. J.* 42(1962)56.
- (2) 益子・樺田・横田, 振動切削による切削油剤の評価について, 潤滑, 13-8(1968)413.
- (3) 足立・新井・脇坂・原田・服部, 低周波振動ドリル加工に関する研究, 機論, 49, 2, C(1987)1877.
- (4) 白井, 切削・研削加工学上巻, (1971), 177, 共立出版.
- (5) 矢田, 流れと熱伝導の有限要素法入門, (1983)223, 培風館.