

小径ドリル加工における加工時のモータ電力変化と ドリル折損の関係

桑原 修

The Relationship of Motor Electric Power Change to Drill Breakage in Micro Drill Processing

Osamu KUWABARA

In micro drill processing with small motor, drill breakage was detected in motor power change. Dispersion of motor power grows immediately before the drill break. It was confirmed that drill breakage was detected analysis of dispersion of motor power. Electricity measurement and analytical calculation was applied parameter design method of quality engineering.

It was realized that drill breakage was detected in measurement of electric current and calculation which T-Method is applied.

Keywords: Micro drilling, DC brushless motor, power evaluation, drill breakage, Quality Engineering, S/N-ratio, T-Method

小径ドリル加工において、小型モータを用いた加工を行い、その時のモータ電力変化からドリル折損の検出を行った。モータ電力の変化を観察すると、ドリル折損前に電力のばらつきが大きくなっている事が確認できた。ドリル折損を検出するには、モータ電力のばらつきを評価すれば良い事が分かった。また、電力の計測方法と解析方法について、品質工学によるパラメータ設計を行った。その結果、T法を用いることにより、電流値のみの計測からドリル折損を検出できることが分かった。

キーワード：小径ドリル, DCブラシレスモータ, モータ電力, ドリル折損, 品質工学, S/N比, T法

1. はじめに

小径ドリルを用いた穴加工は、工具径が小さいため、加工状態や工具状態の観察が困難である。また、この加工は工具折損が多いため、加工状態を観察する要望が高い。切削加工のモニタリング方法として、主軸モータの電力変化を観察する方法がある。しかし、この方法による小径ドリル加工のモニタリングでは、主軸電力に対し加工負荷が小さいため、空転時電力と加工時電力の差が小さくなり、この方法で

加工モニタリングすることは適さない。前報⁽¹⁾では、小型のモータを用いたドリル加工により、小径ドリル加工をモータ電力変化でモニタリングする方法を試みた。本研究では加工電力のばらつきから、ドリル折損を検出する方法を検討した。

2. 実験方法

実験装置の概略を図1に示す。モータは3相4線のブラシレス・センサレス・モータを用い、治具を介し

てドリルを取り付けた。3相4線のモータでは電流は中性点に向かって流れるので、3相分の電流電圧を計測し、そのデータの積と和から瞬時の電力値を算出した。

ドリル加工において、ドリル折損に関係する要因は複数あり、それらが複雑に影響して折損が発生する。本実験では折損に影響する代表的な因子を抽出し、L18直交表⁽²⁾を使った組み合わせ実験を行うことにより、ランダムな組み合わせでの加工を試みた。実験の因子を表1及び図2に示す。その他の共通の加工条件は表2のとおりである。

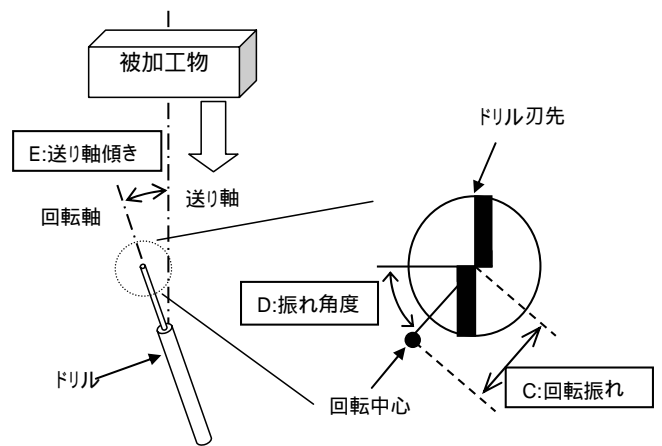


図2 ドリル加工実験に用いる因子の概略図

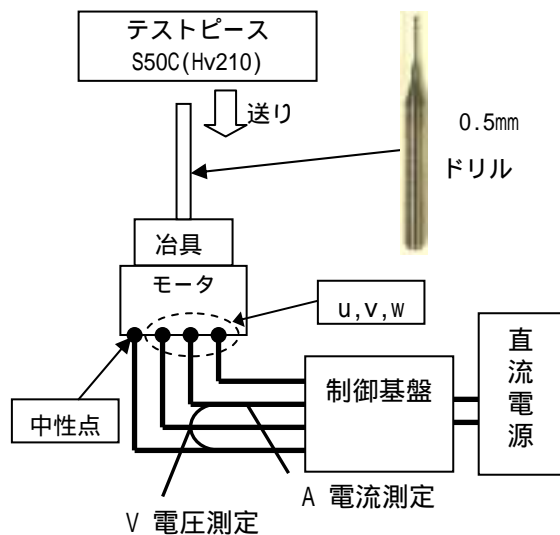


図1 加工実験と電力測定の概略図

表2 共通の加工条件

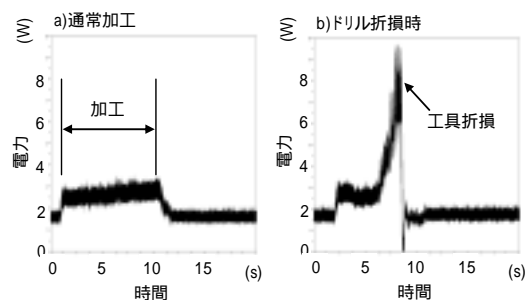
項目	条件
使用ドリル	0.5mm, 超硬材質 (菱高精機製 ZH-380)
回転数	5,400rpm
加工穴深さ	4mm
ステップ送り	なし
被削材	S50C(Hv210)

表1 ドリル加工実験に用いる因子と水準

因子	水準		
C 回転振れ量 (μm)	10	6	3
D 振れ角度 (°)	0	45	90
E 送り軸傾き	0	0.008/5	0.016/5
F 送り速度 (mm/sec)	0.4	0.5	0.6
G 加工液種類	無	切削油	潤滑油

3. 加工実験結果

加工実験の結果、4つの加工条件でドリル折損が発生した。ドリル折損が有る場合と無い場合における、加工時の電力波形を図3に示す。工具状態や加工状態がモータ電力に反映され、工具折損前には電力波形が大きく乱れていることが確認できた。



d=0.5mm, 5400rpm, 被削材S50C

図3 ドリル加工時の電力波形

4. モータ電力の解析

モータ電力のばらつきを評価するために、品質工学における望目特性⁽³⁾の解析を行った。データは、加工に使われた電力を評価するため、加工時の電力から空転時の電力平均を引いた値を、加工電力として解析に用いた。図4に示す要領で0.005秒間隔の最大値(max)、最小値(min)、分散(σ^2)を求め、そのデータから0.1秒ごとのデータを抽出して望目特性の計算を行い、0.1秒間ごとの加工電力のばらつき変化を求めた。通常の望目特性の計算では、SN比⁽²⁾を算出するが、ここでは加工電力のばらつきを評価するため、ノイズ成分(N)のみを算出した。ここでのノイズ成分は電力のばらつき量となり、ばらつきを逆数で表し N^{-1} (db)としている。

図5に加工時間と電力ばらつき(N^{-1})の変化の関係を示す。図から分かるように工具の折損前には N^{-1} が急激に悪くなり、 N^{-1} で工具折損を検出できることが分かる。

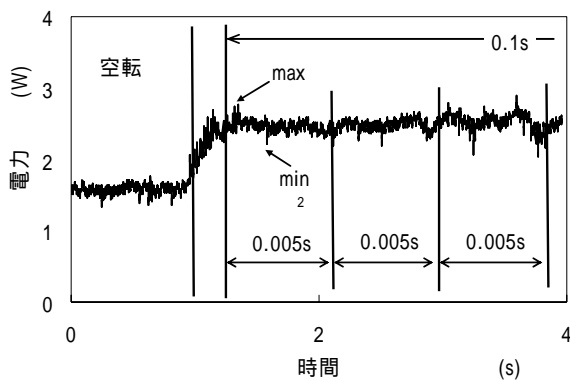


図4 電力解析用データの抽出

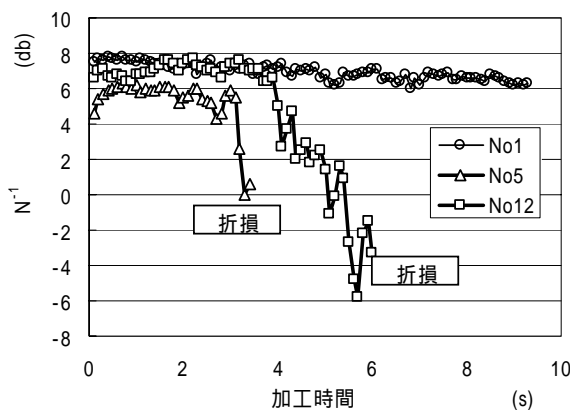


図5 加工時間と電力 N^{-1} の変化

5. T法による電力ばらつき N^{-1} の予測

モータ電力の N^{-1} を3相の電流電圧データから計算し、ドリル折損を検出することができた。しかし、そのためには6チャンネル高速データレコーダを準備し、膨大な量のデータを解析する必要があり、コストがかかる。そのため、電力の計算をすることなく、電流と電圧の波形からドリル折損を検出する方法を検討した。

ここでは、電力ばらつきを推定するのにT法⁽⁴⁾を用いることとした。T法の解析では単位空間と特徴量が必要となる。単位空間は加工の安定している部分とした。特徴量は電流電圧データのばらつき量とし、空転時の波形を基準とした標準SN比⁽⁵⁾の計算で求めた。

前述のL18直交表を使った加工実験の N^{-1} に対して、各電流電圧の特徴量を計算して、表4のデータを得た。これらのデータからT法の解析により、 N^{-1} の推定を行うと図6のようになる。 N^{-1} を電力から計算した場合とT法で推定した場合において、推定対象である信号空間では同様の傾向を示した。

このことから、電流電圧のばらつきを特徴量としたT法の解析により、電力の計算を行わずに工具の折損が検出できることが分かった。

表4 T法による予測の信号と特徴量

信号 (db)	特徴量 (標準SN比 db)					
	U		V		W	
	電圧	電流	電圧	電流	電圧	電流
8.18	68.17	62.89	68.59	62.95	68.38	62.81
8.16	68.42	61.69	68.73	61.26	69.05	62.58
8.08	68.11	61.41	68.80	61.43	68.77	61.87
8.07	62.30	58.44	62.32	58.41	62.40	58.41
8.07	67.68	61.84	68.68	62.31	68.33	62.22
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

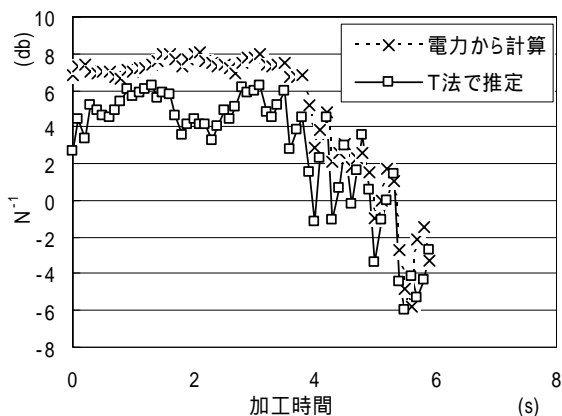


図6 電力 N^{-1} 計算値とT法による推定値の関係

6. 電流電圧計測と解析のパラメータ設計

更に計測にかかるコストを減らすため、電流電圧計測および解析方法についてパラメータ設計を行った。この実験は前述のL18直交表実験で求めたデータを使って、再計算することによって行った。

制御因子は、電流電圧計測と解析に関する因子であり表5に示す。BはT法による解析における単位空間の範囲である。Cは計測対象、Dは計測する相の数である。Eは擬似的にデータレコーダの周波数応答特性とした。実際のデータは100kS/sで計測しており、Eが100kS/sの設定ではデータをそのまま使い、10kS/sの場合は10点毎に1kS/sは100点毎に平均した値を用いた。

これらの制御因子をL18直交表に割付け、計算実験を行った。この時の信号空間の範囲は、前述と同じ電力ばらつきの大きい部分である。 N^{-1} を入力とし、T法による予測値を出力として動特性のSN比⁽³⁾を計算し、図7の要因効果図⁽²⁾を作成した。

要因効果図から効果の大きい因子は、C、Eということが分かる。因子Cは計測対象であり、電流のみを計測する事で電力ばらつきの推定ができることが分かった。近年では加工に用いるモータは電圧をインバータ制御しているものが多く、電圧の測定に高サンプリングが可能な機器を必要としている。しかし、電流のデータのみから電力ばらつきの推定が可能となれば、安価なデータレコーダを用いたドリル折損の予測も可能となる。

表5 電流電圧計測と解析の制御因子と水準

因子	水準		
B 単位空間の範囲	8.18 ~ 7.63(db)	8.18 ~ 7.37(db)	8.18 ~ 7.24(db)
C 計測対象	電流・電圧	電流のみ	電圧のみ
D 計測する相数	1相	2相	3相
E データレコーダの周波数応答特性 (kS/s)	100	10	1

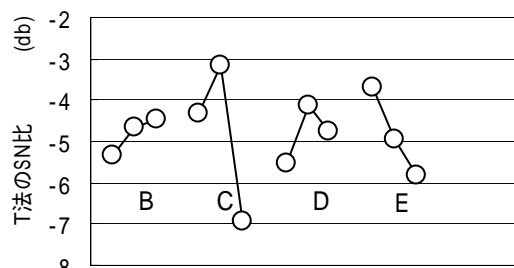


図7 電流電圧計測と解析の要因効果図

7. おわりに

小型モータを用い、加工電力のばらつきを評価し以下のことが分かった。

- ・モータ電力波形はドリルが折損する前にばらつきが大きくなっており、それを評価することによってドリル折損を検出することが出来る。
- ・電流値のみを計測し、T法を用いることによりドリル折損を検出することが出来る。

参考文献

- (1) 桑原 修, 広島市工業技術センター年報, vol. 18, pp. 36-37, (2004)
- (2) 矢野 宏, 品質工学入門, 日本規格協会, pp. 63-67, (1995)
- (3) 立林 和夫, 入門タグチメソッド, 日科技連, pp. 32-36, (2004)
- (4) 田口 玄一, 目的機能と基本機能(6) - T法による総合予測 -, 品質工学, vol. 13, No3, pp. 5-10, (2005)
- (5) 立林 和夫, 入門タグチメソッド, 日科技連, pp. 102-106, (2004)