

ステンレス鋼の微小穴明け加工の最適化技術

機械技術部 ○南 晃

1. はじめに

直径1mmを切るような微小径穴明け加工は工具剛性が低く、加工条件の設定が難しいことから突発的に工具が折損するという問題が発生している。いったん折損が起これば修復には多くの工数が必要であるが、折損時期は安定していないため把握するのは困難なのが現状である。

本研究は品質工学の手法を用いて、折損寿命が長く、折損時期のばらつきの少ない穴明け加工条件について検討を行った。

2. 実験の計画

2.1 制御因子

穴明け加工条件で折損時期に影響を及ぼすと思われる要因を表1のとおり選定した。これらを制御因子としてL18直交表に割り付けた。

表1 制御因子と水準値

列	記号	因子	単位	水準		
				1	2	3
1	A	センター穴	—	あり	なし	—
2	B	工具種類	—	a	b	c
3	C	送り速度	mm/rev	0.005	0.01	0.015
4	D	ステップ送り	mm/step	0.1	0.2	0.3
5	E	切削速度	m/min	5	10	15
6	F	切削油	l/min	34	18	9
7	G	突出し長	mm	4.0	6.0	8.0

2.2 信号因子

本研究では明ける穴数が多い条件を制御因子の中から探し出すため、信号因子は設けない。

2.3 特性値

微小径穴明けは通常、数百から数千穴の穴明けを行うため、数時間の加工時間を要する。加工に時間がかかりすぎると工具1本あたりの加工穴数が多くても加工コストが高くなる。従って本研究では加工時間の上限を設け、一定の加工時間に明けうる穴数を特性値とした。加工時間は8時間とし、折損した場合は折損時の穴数を特性値とした。

3. 実験の方法

3.1 試験片

被削材は板厚5mmのステンレス鋼（SUS316）を使用した。被削材の表面をフラットエンドミル（OSG SUS-EDS φ16）で切削した後に実験を行った。直径0.5mm、深さ3.0mmの止まり穴を2.5mmピッチで明けた。

3.2 使用ドリル

使用したドリルの仕様は、表2のとおりである。

3.3 固定条件

実験の固定条件は以下の通り

NCデータ：固定サイクル G83 を使用。

工作機械：マシニングセンタ VT3A

切削油：TRIM VHP E210（水溶性）を10:1希釈

表2 実験に使用するドリル

	材種	コーティング	シャンク径
工具a	ハイス	TiAlN	φ0.5mm
工具b	ハイス	TiCN	φ0.5mm
工具c	ハイス	TiAlN	φ3.0mm

表3 実験結果

行	加工穴数	行	加工穴数	
1	167	10	146	折損
2	933	11	187	折損
3	2	12	11	折損
4	85	13	7	折損
5	67	14	66	折損
6	15	15	68	折損
7	313	16	87	折損
8	2	17	395	折損
9	1013	18	31	折損

4. データの解析

4.1 SN比の計算

実験の目的から明けることのできる穴数は多いほど良い。
従って望大特性のSN比を求めた。

$$VT = 1/n (1/y_1^2 + 1/y_2^2 + 1/y_3^2)$$

$$\eta = -10 \cdot \log VT$$

実験の結果を表3に、求められた各行のSN比を表4に示す。

表4 各行のSN比

行	SN比	行	SN比
1	44.43	10	43.29
2	59.40	11	45.44
3	6.02	12	20.83
4	38.59	13	16.90
5	36.52	14	36.39
6	23.52	15	36.65
9	49.91	16	38.79
8	6.02	19	51.93
9	60.11	18	29.83

4.2 制御因子の効果の検討

加工穴数に影響を及ぼす制御因子の効果を検討するためにデシベル値を分散分析する。表4のSN比をもとに、各制御因子の効果を求めるため、制御因子の各水準ごとのSN比の和と平均値を求めた補助表が表5である。

表5 分散分析のための補助表と水準別平均

	SN比ηの和			SN比ηの平均		
	1	2	3	1	2	3
A	324.53	320.04	—	36.06	35.56	—
B	219.40	188.57	236.60	36.57	31.43	39.43
C	231.91	235.70	176.96	38.65	39.28	29.49
D	277.15	213.39	154.03	46.19	35.57	25.67
E	229.52	200.28	214.77	38.25	33.38	35.80
F	163.63	267.60	213.33	27.27	44.60	35.56
G	237.07	244.95	162.54	39.51	40.83	27.09

これより、修正項CFは、

$$CF = (\text{全データの和})^2 / \text{全データ数}$$

$$= (36.06 + 35.56 + \dots + 27.09)^2 / 18$$

$$= 23081.75646$$

センター穴の有無の効果SAは、

$$SA = \{(A_1\text{の和})^2 + (A_2\text{の和})^2\} / 9 - CF$$

$$= \{(324.53)^2 + (320.04)^2\} / 9 - CF$$

$$= 1.11613$$

また、工具の種類の効果SBは

$$SB = \{(B1\text{の和})^2 + (B2\text{の和})^2 + (B3\text{の和})^2\} / 6 - CF$$

$$= 197.3299$$

として求められる。同様にその他の制御因子の効果を求めるため分散分析したものが表6である。また、図1に各制御因子について水準間のSN比の傾向を示した。

表6 分散分析の結果

制御因子	平方和S	自由度	分散V
センター穴 A	1.12	1	1.12
工具種類 B	197.33	2	98.66
送り速度 C	360.26	2	180.13
ステップ送り D	1263.70	2	631.85
切削速度 E	71.28	2	35.64
切削油 F	901.36	2	450.68
突出し長 G	689.34	2	344.67

4.3 最適条件の推定

穴明け加工において最も効果の大きい要因はステップ送り量で、0.1mm程度が最も加工できる穴数の多い加工条件となる。同様に他の制御因子もSN比の高い方の水準を組み合わせたものが最適な加工条件となる。各制御因子ごとに

の最適な水準を選んだときの加工条件は、表7のようになる。この最適条件で穴明け加工をしたときに得られるSN比の推定値 $\hat{\mu}$ を、表5の平均値を用いて計算する。しかし、これらの全ての条件で推定すると過大推定となることが考えられるので効果の大きい要因（ステップ送り量、切削油量、突出し長、送り速度）を用いて計算した。ただし、突き出し長は最適条件と比べて差が小さいため1水準

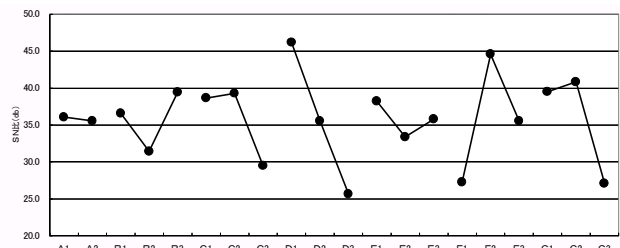


図1 水準間のSN比の傾向

を使用した。最適条件のSN比の推定は、

$$\begin{aligned}\hat{\mu} &= D_1 + F_2 + G_1 + C_2 - (3 \times \text{SN比の総平均}) \\ &= 46.19 + 44.60 + 39.51 + 39.28 - (3 \times 35.81) \\ &= 62.16\end{aligned}$$

また、現行条件を表7に示す条件にしたときのSN比の推定は、

$$\begin{aligned}\hat{\mu} &= D_2 + F_1 + G_1 + C_2 - (3 \times \text{SN比の総平均}) \\ &= 35.57 + 27.27 + 39.51 + 39.28 - (3 \times 35.81) \\ &= 34.20(\text{db})\end{aligned}$$

これより推定における利得は、

$$\text{最適条件 } \hat{\mu} - \text{現行条件 } \hat{\mu} = 10.63(\text{db}) \text{ となる。}$$

5. 確認実験

実験結果の再現性を確認するために、表8に示す条件で確認実験を行った。確認実験の結果を表9に、SN比の推定値と確認実験の解析結果を表10に示す。

6. 実験の結果

実験の結果から、次のことがわかった。

- (1) ステップ送り量、切削油量、突出し長、送り速度の順で影響が大きい。
- (2) 使用するドリルは、TiAlNコーティングのシャンク部を太くして剛性を持たせたものがよい。
- (3) ステップ送り量は0.1mm程度がよい。
- (4) 送り速度は0.01mm/revと0.005mm/revでは差がなかった。ステンレスを加工するとき送り速度を小さく設定しがちである。しかし、むやみに小さくしても加工時間がのびるだけで折損時期の改善にはつながらない。
- (5) 一般に切削油量は多いほうが良いとされているが、多くかけすぎても良くないという結果になった。これは、切削油がかかることで工具の振れが発生したなどの理由が考えられるが、今後検討が必要である。
- (6) 確認実験の結果、現行条件よりも加工条件は改善された。しかし、利得が推定値に比べて小さかった。これは、繰返し数1回であるためと考えられ、利得を推定値に近くするためには繰返し数を多くとる必要がある。

7. おわりに

本実験は品質工学の手法を用いて折損寿命が長く折損時期のばらつきが少ない穴明け加工条件について検討したものである。その結果、前節に記したことがわかったが、今回の実験は誤差因子を設定していないこと、繰返し数が1回だけであることなどから、実験の信頼性を高めるために被削材を変えるなどして実験を重ねていく必要がある。

表7 最適条件と現行条件のSN比

	最適条件		現行条件	
	水準	η	水準	η
A	1	36.06	1	36.06
B	3	39.43	2	31.43
C	2	39.28	2	39.28
D	1	46.19	2	35.57
E	1	38.25	2	33.38
F	2	44.60	1	27.27
G	1	39.51	1	39.51

表8 確認実験の条件

制御因子	最適条件		現行条件	
	水準	水準	水準	水準
センター穴	A A1	あり	A1	あり
工具種類	B B3	工具c	B2	工具b
送り速度	C C2	0.01	C2	0.01
ステップ送り	D D1	0.10	D2	0.20
切削速度	E E1	5.0	E2	10.0
切削油	F F2	18	F1	34
突出し長	G G1	4.0	G1	4.0

表9 確認実験の結果

	穴数	SN比
現行条件	82	38.28
最適条件	338	44.56

表10 SN比の推定値と確認実験の結果

	SN比(db)	
	推定値	確認実験
最適条件	62.16	44.56
現行条件	34.20	38.30
利得	27.96	6.26