

マシニングセンタによるチタン合金材の高精度加工に関する研究

岡田 邦彦

Study on High Precision Cutting of Titanium Alloys by Machining Center

Kunihiko OKADA

The preparatory experiments on the advance of machining accuracy with Latin square $L_9(3^4)$ of experimental design were carried out and following result was obtained. In case of finish cutting, the method of dry cutting showed more precise than that of wet cutting.

Keywords: Titanium Alloys, Latin Square, Dry Cutting, Wet Cutting

実験計画法の直交表 $L_9(3^4)$ を用いて、加工精度向上に関する予備実験を実施した結果、次のような結果が得られた。仕上げ加工をする場合、乾式切削の方が湿式切削に比べて、より精密な加工が実現できることが示された。

キーワード：チタン合金，直交表，乾式切削，湿式切削

1. 緒言

難削材料の代表的材料の1つであるチタン合金を被削材として、加工性の評価と高精密加工についての研究を行っている。今年度と来年度は高精密加工を主体として、研究を進める。そのための予備実験を実施する。

この対象材を高度に精密な加工を試みる際に、この加工に影響すると考えられるファクターとしては、工具材種、切削速度、送り、切削油等が考えられる。そこで、実験を行うために、これらの因子を L_9 の直交表に割り付ける。

そして、一般的な切削加工した時に得た加工数値を基に分析を行い、精密加工を実施する時に、最も影響を受ける重要因子を探求し、高精密加工を遂行するための必須条件を明確にすることを目的として、今回の実験を実施する。

2. 実験方法

(1) 被削材

チタン合金(Ti-6Al-4Vの焼きなまし材、硬度：HRC35)を22(W)×10(D)×19.2(H)mmの形状に加工した小ブロック(両面研磨)を試験材とした。

(2) 工具

- ・ 20スローアウェイバイト
- ・ チップノーズR：0.8mm
- ・ 工具突き出し量 3.8mm

(3) 実験装置

- ・ 工作機械 立形マシニングセンター
エンシュウ(株)製 VMC530
- ・ 寸法測定 三次元測定機

(株)ニコン製 TRISTATION 600

(4) 各因子の割り付けと加工方法

工具材種、切削速度、送り、切削油の各因子の水準は表1のように設定する。そして、その因子を L_9 の直交表(表2参照)に順次割り付ける。信号因子Mを切込み量にとり、 $M1 = 0.1$ 、 $M2 = 0.3$ 、 $M3 = 0.5$ mmとし、軸方向の加工量は

0.5mmで、ダウンカットにて、切削実験を実施する。また、誤差因子Rは測定箇所として、8箇所を選ぶ。

表1 制御因子とその水準

水準 因子	1	2	3	単位
A 工具材種	コーティング材	超硬合金材	サメット材	-
B 切削速度	50	100	150	m/min
C 送り	0.05	0.10	0.15	mm/刃
D 切削油	あり(油)	エプソム	なし	-

3. 実験結果

切込み量Mと実切削量yは比例式

$y = M$ で表現することができる。(: 感度)

従って、実験計画法の公式の

$$= 10 \log \frac{(S - V_e) 1 / r}{V_e}$$

: SN比
 S : 信号因子の1次効果の変動
 V_e : 誤差分散
 r : 有効除数

を使って実験データから、各行のSN比を求め、まとめた。(表2参照)

表3は、分散分析の結果を示す。分析の結果、各因子の中で、変動要因に大きな影響を及ぼす因子は、切削工具の材種による影響が一番大きい(寄与率56.5%)ことが分かった。そして、その次に影響を与えるのは、切削速度(同15.7%)であることがわかった。

表2 直交表と行ごとのSN比

因子	制御因子	信号因子・誤差因子			SN比 (db)
		M1 0.1mm	M2 0.3mm	M3 0.5mm	
列No	A B C D	$R_1 \cdots R_8$	$R_1 \cdots R_8$	$R_1 \cdots R_8$	
1	1 1 1 1				29.86
2	1 2 2 2				30.46
3	1 3 3 3				33.43
4	2 1 2 3				32.54
5	2 2 3 1				36.02
6	2 3 1 2				34.49
7	3 1 3 2				27.66
8	3 2 1 3				31.48
9	3 3 2 1				29.40

表3 分散分析表

要因	f	S	V	(%)
A	2	36.02	18.01	56.5
B	2	12.84	6.42	15.7
C	2	3.95	1.98°	-
D	2	3.92	1.96°	-
e (° 印)	4	7.87	1.97	27.8
T	8	56.73	-	100.0

次に、水準別にSN比を整理して要因効果をグラフ(図1~4参照)にして表す。但し、各水準のSN比は、合計値である。

チタン合金を高精密加工するための最適条件は、要因効果グラフから判断すると、各効果グラフ(工具材種、切削速度、送り、切削油)のそれぞれのSN比の高いところを選んだA₂、B₂、C₃、D₃となる。

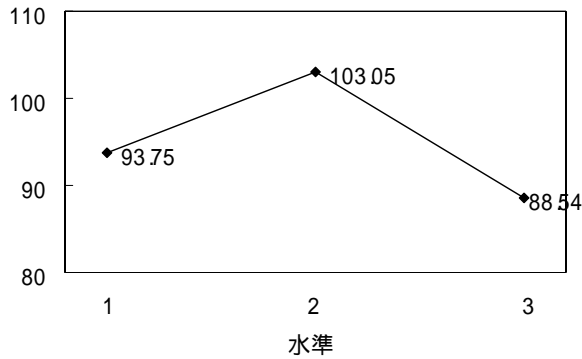


図1 A :工具材種

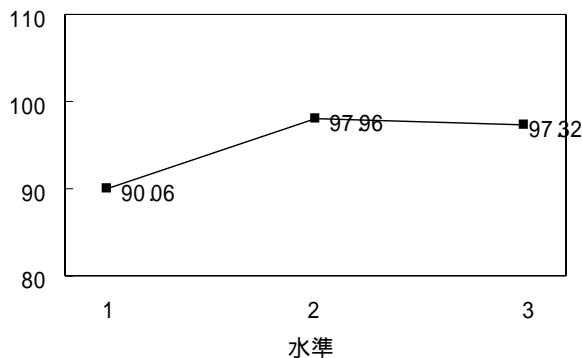


図2 B :切削速度

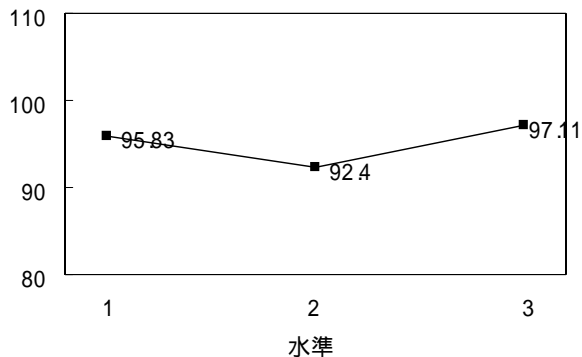


図3 C :送り

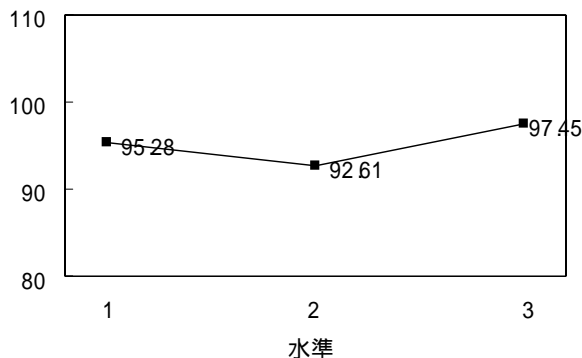


図4 D :切削油

ここで注目すべきは、切削油なしの乾式切削加工（ドライ加工）の方が切削油ありの湿式切削加工（ウェット加工）より、SNが大きいという結果が得られたことである。

このことは、島根県立工業技術センターの佐藤、古屋らが、論文発表した「難削材の高速ドライエンドミル加工（第1報・第2報）」の中で、チタン合金の高速ドライ加工（半径方向切込み0.2、送り0.01mm/刃、切削速度251m/min）は、可能との報告がなされている。さらに、エンドミル加工の湿式切削との比較を行った結果、工具摩耗、仕上げ面粗さ、加工能率の点から、高速ドライ加工の方に優位性があった、との報告に今回の実験結果が良く一致している。最適条件（1）での工程平均を寄与率の大きいAとBを使って推定する。

$$\begin{aligned} \hat{\mu}_1 &= \bar{A}_2 + \bar{B}_2 - \bar{T} \\ &= 103.05/3 + 97.96/3 - 285.34/9 \\ &= 35.30 \end{aligned}$$

比較条件を工具材種はコーティング材、切削速度は仕上げ加工を想定して、50m/minを採用した場合、比較条件のSN比を μ_0 とすると推定値は、以下のようになる。

$$\begin{aligned} \hat{\mu}_0 &= \bar{A}_1 + \bar{B}_1 - \bar{T} \\ &= 93.75/3 + 90.06/3 - 285.34/9 \\ &= 29.57 \end{aligned}$$

最適条件と比較条件との利得を考えると、

$$\begin{aligned} &= 35.30 - 29.57 \\ &= 5.73 \end{aligned}$$

これは比較条件での加工に対して、標準偏差で $1/1.93 = 0.5$ 倍になることを意味する。即ち、比較条件での加工に比べて、最適条件での加工は、ばらつきを半分に抑えることができる。

4. 結言

予備実験を実施した結果、工具材種は超硬合金材を選定し、切削速度は100m/min、送りは0.15mm/刃、切削油なし（乾式切削）での加工において比較条件に比べて、約2倍の加工精度で加工することが可能であることが、明らかとなった。

また、注目点は乾式切削の方が、湿式切削に比べて、ワークを高精度に加工することが出来ることで

ある。そして、このことは、この条件下での切削加工では、工具刃先に大きな影響を与えるような加工熱が、発生していないことに因るものと考えられることができる。今回の実験では、交互作用があれば、1列と2列の影響を3列（送り）と4列（切削油）が受ける危険性もあったが、得られた結果と島根県立工業技術センターから公表されている論文の結果とが、一致していることから、現時点では交互作用は無いものと判断している。

今後の課題としては、工具摩耗等の実験を実施し、今回の結果と合わせて高精度加工の条件を見出す。そして、その条件下で、高精度加工の確認実験を実施する予定である。

5．謝辞

本研究のテーマに関連した論文のご提供を戴いた、島根県立工業技術センターの古屋諭氏に深甚なる謝意を表します。

参考文献

（1）松岡，佐藤，古屋，臼杵，難削材料の高速ドライエンドミル加工（第1報），精密工学会松江地方学術講演会論文集，1999，9．

（2）臼杵，佐藤，古屋，松岡，難削材の高速ドライエンドミル加工（第2報），精密工学会中四国・九州支部共催学術講演会論文集，103，5-6，2000．