S132033

チタン合金のニアドライ切削加工に関する研究
—第2報 切削継続に伴う切削特性の推移—前田 幸男^{*1}, 松本 一秀^{*2}, 梶田 正美^{*3}, 徳武 信一郎^{*4}Study on near-dry cutting of titanium alloy
—No.2 Cutting performance accompanying the increase in cutting distance—Yukio MAEDA^{*1}, Kazuhide MATSUMOTO, Masami MASUDA and Shinichiro TOKUTAKE^{*1} Toyama Prefectural University
5180 Kurokawa, Imizu, Toyama, 939-0398 Japan

Generally, wet cutting which supplies a lot of cutting fluid is adopted as cutting of the titanium alloy used at the parts for medical equipment or airplane. When near-dry cutting is used as this processing, it will be easy to cause tool damage and stock removal rate and machining accuracy will worsen. So, in this study, it is target at clarification and development of the reduction method of the generating mechanism of the cutting-edge fracture in cylindrical cutting of titanium alloy. This paper examined the relation between cutting distance and cutting performance, such as a cutting force, a coefficient of friction on a rake face and tool wear when using Wet cutting and MQL(Minimum Quantity Lubrication) cutting of the Ti-6Al-4V material with a cemented carbide

Key Words : Titanium Alloy, Cutting force, Cutting tool edge temperature, Coolant fluid, Flank wear

1. 緒 言

航空機部品や医療機器部品などに使用される Ti 合金の切削加工には, 多量の切削液を供給する Wet 加工が採用されている⁽¹⁾. この加工にニアドライ加工⁽²⁾⁽³⁾を採用すると, 工具欠損が生じ易く, 加工能率や加工精度の確保が難しい. そこで本研究では, Ti 合金のニアドライ切削加工における切れ刃欠損・工具摩耗の低減方法の開発を目的としている. このうち本報告では, Ti-6Al-4V 材を超硬合金工具で円筒切削したときの, FEM 解析における基礎的な切削特性の検討と, Wet 加工, MQL 加工における切削継続に伴う切削特性の推移について実験的に検討した.

2. 実験結果及び考察

2・1 切削温度の FEM 解析

前報⁽⁴⁾では, Ti 合金の MQL 加工に先立ち, Wet 加工における切削速度 V , 工具送り量 f , 切り込み量 t が切削特性に及ぼす影響を検討した. その結果, 高切込み, 低送り加工条件において, 切削抵抗と工具初期欠損の防止が可能であると確認した. この原因を検討するため, FEM 解析ソフト(AdvantEdge[®])を用いて, 切削条件が切削温度に及ぼす影響について検討した. Table1 に解析条件を示す. 切削能率 $Z'=2500\text{mm}^3/\text{min}$, 切り込み量 $t=0.25\text{mm}$ 一定条件で切削速度 V と工具送り量 f を変化させたときの切削抵抗 F_c (主分力) と工具刃先温度の解析結果を, それぞれ Fig.1(a), (b) に示す. なお, 前報⁽⁴⁾の実験結果を Fig.1(a) に併記した. この図より, 実験結果と解析結果の

^{*1} 正員, 富山県立大学 (〒939-0398 富山県射水市黒河 5180)^{*2} 非会員, 富山県立大学大学院 工学研究科^{*3} 正員, 豊橋技術科学大学 (〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1)^{*4} 非会員, シチズンマシナリー(株) (〒389-0206 長野県北佐久群御代田町御代田 4107-6)

E-mail: t051045@st.pu-toyama.ac.jp

誤差は約 17%であると言える。主分力 F_c は実加工, FEM 解析ともに $f \geq 0.20 \text{ mm/rev}$ で切削抵抗が急増し, 実加工では工具欠損が発生する。Fig.1(b)に FEM 解析における工具刃先温度を示す。 V を増加させ, f を減少させると切削温度は上昇し, $V \geq 100 \text{ m/min}$ でほぼ一定となる。

次に, 切削能率 $Z'=2500 \text{ mm}^3/\text{min}$, 切削速度 $V=100 \text{ m/min}$ 一定条件で, 切込み量 t と工具送り量 f を変化したときの解析結果を Fig.2(a), (b)に示す。 t を増加させると実加工, FEM 解析ともに主分力 F_c は増加するが, 実加工では, F_c が小さい $t \leq 0.2 \text{ mm}$, $f \geq 0.125 \text{ mm/rev}$ において工具の初期欠損が発生する。 Fig.2(a)の工具刃先温度の解析結果を Fig.2(b)に示す。実加工において工具初期欠損が発生した範囲では, 工具刃先温度は 850°C 以上であり, t を減少させ, f を増加すると, 工具刃先温度は増加すると言える。

以上のことから, 高切込み, 低送り切削加工を採用することで, 切削抵抗は増加するが, 工具刃先温度は減少し, 工具の初期欠損の低減が可能と考えられる。

Table1 Analyzing conditions

Workpiece	Ti-6Al-4V
Cutting tool	Cemented carbide (Carbide grade: K) Nose R : 0.2mm, Edge R 10 μm , Rake angle: 20° , Clearance angle : 7°
Cutting conditions	Cutting speed: $V=20 \sim 200 \text{ m/min}$ Feed rate : $f=0.05 \sim 0.50 \text{ mm/rev}$ Depth of cut : $t=0.10 \sim 0.50 \text{ mm}$
Cutting fluid	•FEM: Dry
	•Experiment: Wet (Blasomil22 (Blaser Swisslube)) Coolant pressure: 24 kPa , Flow rate: 900 L/h

Fig.1 Relation between cutting speed and cutting force, cutting tool edge maximum temperature

Fig.2 Relation between depth of cut and cutting force, cutting tool edge maximum temperature

2・2 各種潤滑方式における切削継続に伴う切削特性の推移

前述の検討結果から、切削温度と工具摩耗に相関があると思われるため、各種潤滑方式における切削継続に伴う工具摩耗を実験的に検討した。この切削条件を **Table2** に示す。なお、Wet 加工では通常のクーラント圧力 24kPa と、高圧の 7MPa のクーラント供給装置を採用した。切削継続に伴う切削抵抗、すくい面摩擦係数、表面粗さの推移を **Fig.3(a)**, **(b)**, **(c)** にそれぞれ示す。ここで、すくい角 α 、主分力 F_c 、送り分力 F_f 、摩擦力 F 、摩擦力に垂直な分力 N とすると、すくい面摩擦係数 μ は次式で求められる。

$$\mu = F/N = \tan(\tan^{-1}(F_f / F_c) + \alpha) \quad (1)$$

Fig.3(a), **(b)** より、Wet 加工、MQL 加工ともに、切削距離を増加させても切削抵抗、すくい面摩擦係数はほぼ一定と言える。また、主分力 F_c は、通常の Wet 加工と MQL 加工において、大きな差は認められない。**Fig.3(c)** に表面粗さの推移を示す。通常の Wet 加工と高圧の Wet 加工は、切削距離を増加させると表面粗さは約 $1.8 \mu\text{mRz}$ から $2.2 \mu\text{mRz}$ に対し、MQL 加工は切削距離 $L=150\text{m}$ で約 $2.5 \mu\text{m}$ から約 $3.6 \mu\text{mRz}$ に悪化する。この表面粗さの悪化した原因を調べるため、**Fig.3** における MQL 加工の工具すくい面の観察結果と、加工面の粗さ曲線を **Fig.4** に示す。この図から、 $L=150\text{m}$ 以上で粗さ曲線が悪化していることが分かる。この原因を検討するため、快削黄銅 ($\phi 20 \times 30\text{mm}$) の外周面に工具刃先形状を転写・観察した結果、微小な欠損の発生が認められた。このことから、MQL 加工で表面粗さが悪化した原因は、工具刃先部に微小な欠損が発生したためと考えられる。切削距離の増加に伴う横逃げ面摩耗幅 VB、ノーズ R 部前逃げ面摩耗幅 VC の推移を **Fig.5(a)**, **(b)** に示す。この図より、Wet 加工、MQL 加工ともに工具摩耗 VB、VC に大きな差は認められない。また、Wet 加工と比較すると、 $L=200\text{m}$ においてクーラント圧力 7MPa の VC は $36 \mu\text{m}$ 、クーラント圧力 24kPa は $43 \mu\text{m}$ である。

以上のことから、 $L=200\text{m}$ 範囲内で、Wet 加工と MQL 加工における工具摩耗に大きな差は認められないが、Wet 加工においてクーラント圧力の高い潤滑方式が、前逃げ面摩耗幅 VC を低減できると言える。

Table2 Experimental conditions

Machine	NC turning : Cincom RL21 (Citizen Machinery)
Workpiece	Ti-6Al-4V , $\phi 20 \times 30\text{mm}$
Measurement equipment	Cutting tool dynamometer : 9251A(KISTLER)
Cutting tool	Cemented carbide(K01, DCGT070202N-AG) Nose R : 0.2mm, Rake angle: 20°
Cutting conditions	Cutting speed: $V=100\text{m/min}$ Feed rate: $f=0.05\text{mm/rev}$ Depth of cut: $t=0.25\text{mm}$ Cutting distance: $L=200\text{m}$
Cutting fluid	MQL: Unicut Jinen MQL (ENEOS) MQL Equipment: MS-1 (Kyouritsu Gokin) Air pressure 0.3MPa, Flow rate 76mL/h Wet: Blasomil 22 (Blaser Swisslube) Low pressure: Coolant pressure 24kPa, Flow rate 900 L/h High pressure: Coolant pressure 7MPa, Flow rate 400 L/h

Fig.3 Relation between cutting distance and cutting force, coefficient of friction, surface roughness

Fig.4 Photographs of rake face and surface roughness after cutting

Fig.5 Relation between cutting distance and flank wear width

3. 結 語

超硬合金による Ti 合金(Ti-6Al-4V)の切削特性を検討した結果, 本実験の範囲内で, 以下の知見を得た.

- (1) 切削初期において, 切込み量 $t=0.25\text{mm}$, 切削能率一定条件下で切削速度 V と送り量 f を変化させた結果, 送り量 $f \geq 0.20\text{mm/rev}$ に増加させると, 実加工, FEM 解析ともに切削抵抗が急増するとともに, FEM 解析による工具刃先温度も増加し, 工具に初期欠損が発生する.
- (2) 切削速度を $V=100\text{m/min}$, 切削能率一定条件下で切込み量 t と送り量 f を変化させた結果, 切削抵抗が小さい $t \leq 0.2\text{mm}$, $f \geq 0.125\text{mm/rev}$ で工具初期欠損が発生し, FEM 解析による工具刃先温度は上昇する. これより, Ti 合金の切削加工において高切込み, 低送り切削加工を採用すると, 工具刃先温度を低下させ, 初期欠損の低減が可能と考えられる.
- (3) Wet 加工と MQL 加工により, 切削距離 $L=200\text{m}$ まで切削加工した結果, 工具摩耗に大きな差は認められない. また, Wet 加工においてクーラント圧力の高い潤滑方式が前逃げ面摩耗幅 VC を低減できると言える.

文 献

- (1) 梶尾茂樹: 航空機部品加工へのニーズと対応技術, 機械と工具, Vol.52, No.5(2008)pp.21-25
- (2) 村上良彦: 環境対応型切削工具の動向, 砥粒加工学会誌, Vol.51, No.11(2007)pp.12-15
- (3) 池崎将史: アルミニウム合金のニアドライ加工の研究—第 1 報切削特性の基礎検討—, 日本機械学会北信越支部第 46 期総会講演会後援論文集(2009.3)pp.103-104
- (4) 松本一秀: チタン合金の基礎的切削特性の研究, 日本機械学会北陸信越支部 48 期総会・講演会講演論文集(2011.3)pp.209-210