

# 難削性金属材料の切削加工技術の高度化に関する研究（第3報） —コーテッド超硬エンドミルによる難削材の効率的切削加工技術の開発—

大塚裕俊・水江宏・橋口智和  
機械・金属担当

## Study on end milling difficult-to-machine alloys(the 3rd report) -High efficient machining with coated carbide endmills -

Hirotooshi OHTSUKA・Hiroshi MIZUE・Tomokazu HASHIGUCHI  
Mechanics and Materials Engineering Group

### 要 旨

難削性金属材料の切削加工技術の高度化のため、前年度のエンドミルの切れ刃形状を改良した不等リードエンドミルを用いて、ステンレス鋼(SUS304)の切削加工実験を行った結果、等リードエンドミルと比較して不等リードエンドミルでは切削抵抗の変動が小さく切削距離が伸びる結果が示された。また、より加工条件の厳しいポケット形状を対象とした切削加工実験を行った結果、不等リードエンドミルの方がステンレス鋼(SUS304)では工具寿命が大幅に増大した。

### 1. はじめに

ステンレス鋼など難削材は、エンドミル加工における被削性の向上が常に求められている。今回は、ステンレス鋼を対象として、前年度に開発されたコーテッド超硬エンドミル工具をさらに改良した不等リードエンドミルを加工実験に適用する。また加工形状として、直線切削に加え加工条件の厳しいポケット形状の切削加工も実施する。

本研究では、被削材の加工効率向上の手段として、一刃ごとにねじれ角を変化させた不等リードエンドミルを適用する。昨年度の知見により切れ刃形状を改良した本工具を用いて比較試験を行い、工具寿命向上についての有効性を示す。また製品加工で頻出する凹部形状（ポケット形状）について、等リードエンドミルとの比較実験を行い有効性を検証する。

### 2. 実験装置と方法

#### 2.1 切削工具と被削材

工具として、ねじれ角が交互に  $30^\circ$  と  $32^\circ$  である直径 8mm, 4 枚刃の(Ti, Al)N コーティングされた超硬ストレートエンドミル（不等リードエンドミル：Fig.2）を用いる（（株）信栄製作所で製作：以下エンドミル(A)）。これは今回開発された工具である。その比較対照用として、前回利用した超硬ストレートエンドミル（ねじれ角がすべて  $30^\circ$ ）を用いる（（株）信栄製作所で製作：以下エンドミル(B)）。なお工具母材は超微粒子超硬合金であり、従来よりも硬度や耐酸化性が向上した被膜を用いている。

さらにポケット形状加工では、ねじれ角が交互に  $36^\circ$  と  $39^\circ$  である直径 8mm, 4 枚刃の(Ti, Al)N コーティングされた超硬ストレートエンドミル（不等リードエンドミル）を用いる（市販品：以下エンドミル(C)）。この比較対照用として、材質がほぼ同等の超硬ストレートエンドミル（ねじれ角がすべて  $45^\circ$ ）を利用する（市販品：以下エンドミル(D)）。

なお被削材はステンレス鋼 SUS304 を用いる。

#### 2.2 実験装置と手順

Fig.1 に用いる実験装置の概略を示す。上記の材料から作製した被削材 1, 2 を立形マシニングセンタ(MC)のテーブル上に取り付ける。被削材 1 は工具寿命試験（直線切削およびポケット形状切削）に用いられ、被削材 2 は 3 成分工具動力計上に保持され切削抵抗の測定に用いられる。切削抵抗の測定は Table 1 右の  $R_d$ ,  $A_d$  に示されるように、被削材についてエンドミルの軸方向と径方向に一定の切込み量を与えて XY 平面内での直線端面切削により行う。工具寿命試験の標準切削条件も Table 1 左に示す。切れ刃や切りくずの外観についても適宜に観察する。

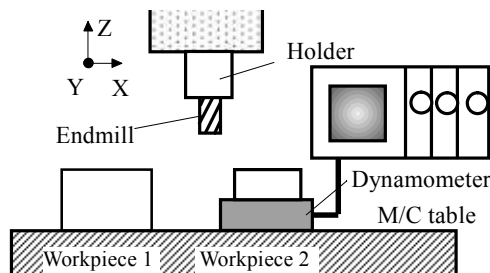


Fig.1 Setup for experiment

Table 1 Cutting conditions for experiments

Experiment	Tool wear experiment (Straight&Concave)	Cutting force measurement
Cutting conditions		
Cutting speed V m/min (Spindlespeed) S min <sup>-1</sup>	75 3000	75 3000
Feed per tooth f <sub>z</sub> mm/tooth	0.03, 0.01* (0.08*mm/cycle Z direction : radius=1*mm)	0.03
Cutting direction	Down cut	Down cut
Free length of tool mm	32	32
Tool runout	≤ 6 μm	≤ 6 μm
Radial depth of cut R <sub>d</sub> mm	0.4 (standard)	0.4
Axial depth of cut A <sub>d</sub> mm	8	8
Workpiece	SUS304 (Straight & Concave cutting)	SUS304 (Straight cutting)
Coolant	Dry air	Dry air

\* Cutting conditions for initial helical milling for concave cutting

Table 2 Coated carbide endmills (φ8mm, 4 flutes) used for experiments

Manufacturer	SHIN-EI SEISAKUSHO Co. Ltd. (developed endmill)	OSG CORPORATION (commercial product)
Cutting edge	Endmill(A)	Endmill(C)
Unequal helix angle	30°, 32°	36°, 39°
Equal helix angle	Endmill(B)	Endmill(D)
	30°	45°

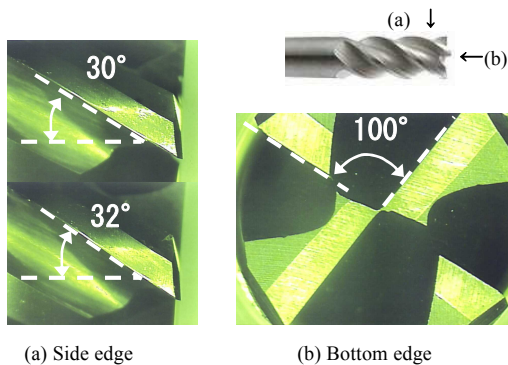


Fig.2 Unequal helix angle endmill (Endmill(A))

### 2.3 実験条件

工具寿命試験（直線切削ないしポケット形状切削）に用いる切削条件を Table 1 左に示す。直線切削は直線端面切削の繰り返しにより行うが、ある切削距離ごとに切削抵抗の測定と切れ刃や切りくずの観察を行う。以上について開発エンドミル(A) (B)について比較実験を行う。これに対しポケット形状加工では、\*印で示す条件による切削開始時のヘリカル穴加工が必要である。Fig. 3 にポケット形状加工に用いられる工具パスとその加工状況を示す。加工順序はまず被削材の中心において深さ 8mm

まで工具をらせん状に振り下ろし、ついで Fig. 3 に示す工具パスと Table 1 左に示す条件で工具を外側にスパイラル状に広げていくことで行う。さらに連続してポケット形状の加工を行い、定数個の加工終了ごとに切削抵抗の測定と切れ刃や切りくずの観察を行う。以上を市販エンドミル(C) (D)について行う。Table 2 にエンドミル(A)～(D)のねじれ角と工具メーカーを示す。

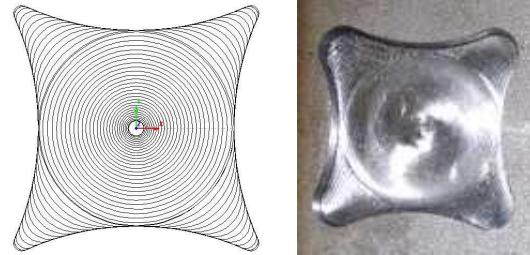


Fig.3 Tool paths and milled workpiece used for tool wear experiment (Dimensions of the shape 40×40×8mm)

## 3. 実験結果と考察

### 3.1 直線切削加工

ステンレス鋼 SUS304 は鋼材として広く利用されている。本研究では開発されたエンドミル(A) (B)を用いて直線切削加工を行い、工具寿命等について比較評価を行った。

不等リードエンドミル(A)の結果については、Fig. 4 に見られるように、切削距離の増大とともに工具摩耗が次第に進展し、切削距離 25m で工具寿命となった。工具摩耗の特徴は、切れ刃先端形状が逃げ面とすくい面を含めて面取り状に鈍化していくようにチッピングが起り摩耗が進行していく点である。そして切削距離とともに、切れ刃全面にわたって工具摩耗やチッピングが大きくなった。そして刃先が赤熱して切れ刃全面への被削材の溶着が発生し、工具寿命を迎えた。

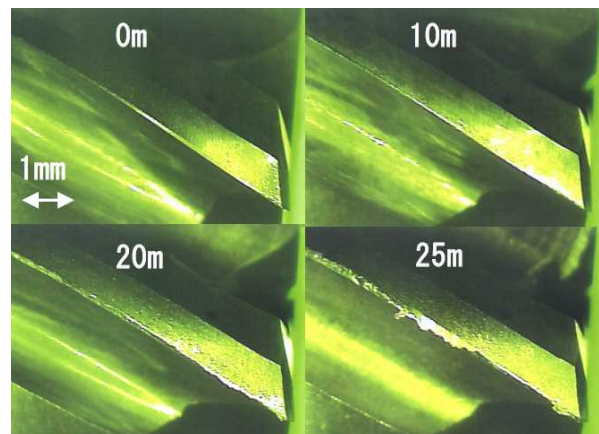


Fig.4 Photographs of cutting edge (Endmill(A)) Workpiece: SUS304)

また切削抵抗の測定値については、切削距離とともに被削材に対する法線方向成分  $F_x$  が他成分と比べて切削距離とともにゆるやかに増大したが、工具寿命に近づくにつれ急激に増大していった (Fig. 6) . 切りくず形状については、新品工具時は光沢のある細い短冊形状を呈するが、切削距離の増大とともに、徐々に表面のせん断による横筋が大きくなっていき、端面にギザギザが発生していった。さらに切削距離 20m を過ぎると切りくずが大きく千切れるようになり、工具寿命時には切りくずの細かい破断やむしれが増大した。切りくずの色も銀色からやや鈍い色に変化した (Fig. 5) .

以上の結果と比較のため、等リードエンドミル (B) について同じ条件で実験した際の切削抵抗の測定値 (法線方向成分  $F_x$ ) の変化を Fig. 6 中の○印で示す。これによれば、不等リードエンドミル (A) に比べて  $F_x$  は切削開始からやや直線的に増大している。また不等リードエンドミル (A) の切削距離がエンドミル (B) よりも 25% 以上伸びていることがわかる。

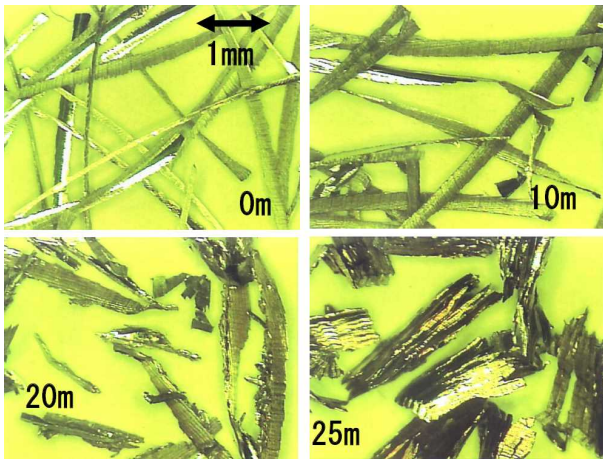


Fig. 5 Photographs of chip (Endmill(A) Workpiece: SUS304)

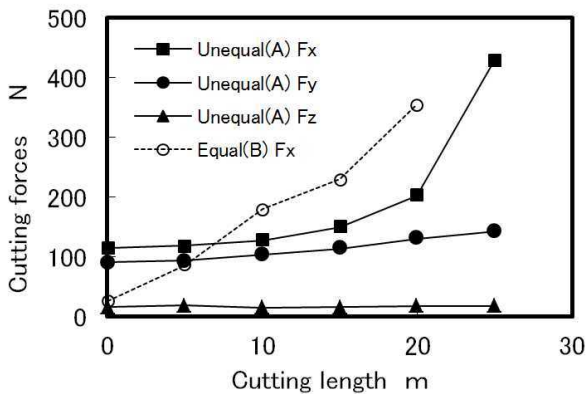


Fig. 6 Relation between cutting length and cutting force (Endmill(A) Workpiece: SUS304)

Fig. 7 は切削抵抗の変動の大きさを評価する指標として、切削抵抗成分  $F_x$  の分散  $\sigma^2$  の変化を示したものである。これによれば、不等リードエンドミル (A) の方が工具寿命時まで低い値で推移していることがわかる。

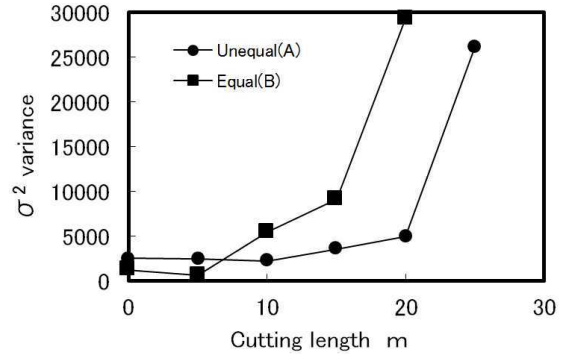


Fig. 7 Relation between cutting length and cutting force (Endmill(A) Workpiece: SUS304)

### 3.2 ポケット形状切削加工

続いて、エンドミル (C) (D) を用いてステンレス鋼 SUS304 のポケット形状加工を行い、工具寿命等について比較評価を行った。

不等リードエンドミル (C) の結果については、まず切れ刃の変化では、Fig. 8 に見られるように、切削個数の増大とともに工具摩耗が次第に進展し、切削個数 60 で工具寿命となった。

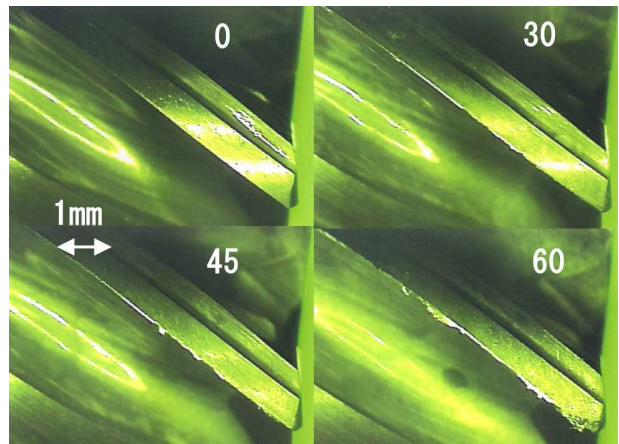


Fig. 8 Photographs of cutting edge (Unequal helix Angle Endmill (C) Workpiece: SUS304)

工具摩耗の特徴は、前節と同様に切れ刃先端形状が逃げ面とすくい面を含めて面取り状に鈍化していくようにチッピングが起こり摩耗が進行していく点である。そして切削個数増大とともに、切れ刃全体において工具摩耗やチッピングが大きくなり、刃先が赤熱して切れ刃への被削材の溶着が発生し工具寿命を迎えた。ヘリカル穴



加工によりエンドミル底刃も損傷するが、Fig. 9 に示すように底刃外周部から摩耗や欠けが切削回数とともに成長している。

切削抵抗の測定値については、切削回数とともに被削材に対する法線方向成分  $F_x$  がゆるやかに増大していき、工具寿命が近づくとその増加率が大きくなった (Fig. 11)。

切りくず形状については、当初は銀色の短冊状切りくずであるが、切削回数 30 を過ぎて切りくずの千切れが多くなった。また徐々に表面のせん断による横筋が大きくなりそこから破断するものが増えていった。工具寿命時にはほとんど切片状に断裂した切りくずとなり、切りくずの色も銀色からやや鈍い色に変化した (Fig. 10)。

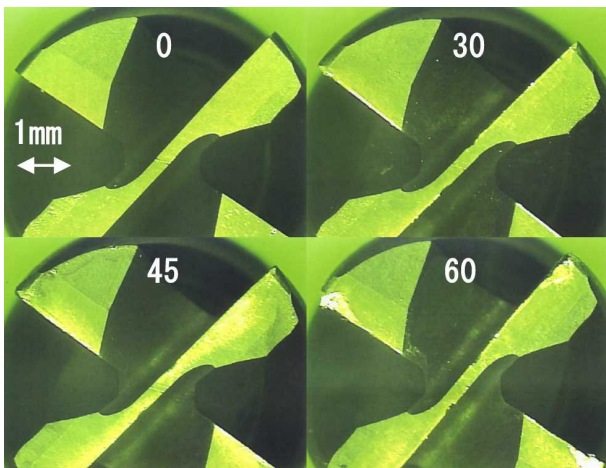


Fig.9 Photographs of cutting edge (Unequal helix Angle Endmill(C) Workpiece: SUS304)

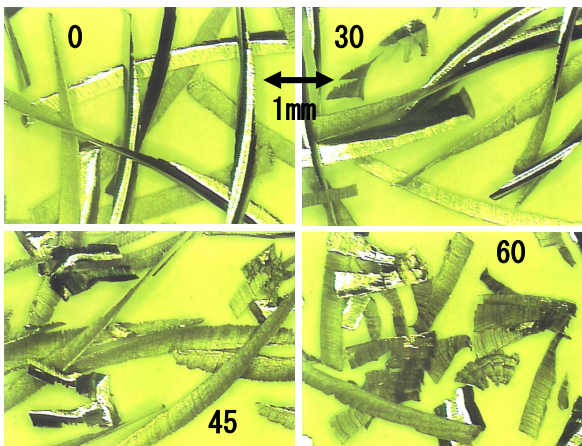


Fig.10 Photographs of chip (Unequal helix Angle Endmill(C) Workpiece: SUS304)

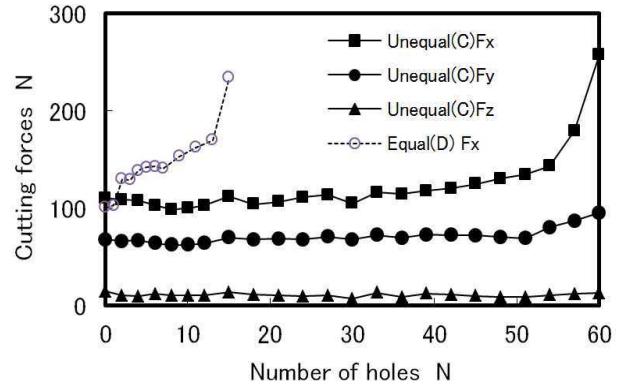


Fig.11 Relation between cutting length and cutting force (Unequal helix Angle Endmill(B) Workpiece: SUS304)

以上の結果と比較のため、等リードエンドミル(D)について同じ条件で実験した際の切削抵抗の測定値（法線方向成分  $F_x$ ）の変化を Fig. 11 中の○印で示す。

これによれば不等リードエンドミル(C)の切削距離が等リードエンドミル(D)よりも 4 倍程度大きく伸びていることがわかる。また双方とも特徴的な切削抵抗の増加傾向を示すことがわかる。また前節と同様、その切削抵抗の変動値についても等リードエンドミル(D)よりも工具寿命時まで低い値で推移していた。

#### 4. おわりに

開発された不等リードエンドミル等を用いて、切削加工実験（直線切削およびポケット形状切削）によるステンレス鋼 SUS304 の適切な加工条件の研究を行い、次の結果を得た。

- (1) 開発された不等リードエンドミルによる SUS304 の直線切削では、標準切削条件において切削距離 25m となり、比較したエンドミルの切削距離 20m に対して 25%以上工具寿命が延びた。
- (2) 市販の不等リードエンドミルによる SUS304 のポケット形状切削では、標準切削条件において切削回数 60 となり、比較したエンドミルの切削回数 15 に対して工具寿命が 4 倍程度延びた。
- (3) SUS304 の直線切削およびポケット形状切削では、いずれも切れ刃先端が面取り状に鈍化していく摩耗形態を示した。切削抵抗の被削材に対する法線方向成分  $F_x$  が、工具寿命が近づくと従い増加率が大きくなった。

#### 追記

本研究は、平成 24 年度の九州各県工業系公設試連携研究の一環として実施されました。