

## マグネシウム合金のエンドミル加工に関する研究(第 4 報) -多軸加工における多刃エンドミル加工面の高精度化-

大塚裕俊  
機械・金属担当

### Study on End-milling Magnesium Alloys (the 4th report) -High precision machining with multi-flute end mill tool and multi-axis CMC-

Hirotohi OHTSUKA  
Mechanical and Metallurgical Engineering Group

#### 要 旨

マグネシウム合金のエンドミル切削加工について、端面切削加工時の軸方向切込み量は切削抵抗の変動に大きく関係しており、適切な軸方向切込み量の設定により、切削抵抗の変動とそれに起因する加工形状誤差を低減できることを示した。また並進3軸以外に傾斜軸などをもつ多軸工作機械を利用して、被削材に傾斜を与えて適切な軸方向切込み量を保たせるという手法により、加工精度の向上が可能となることを実証実験によって示した。

#### 1. はじめに

近年軽量化や強度向上を目的として、マグネシウム合金の利用が増えつつある。マグネシウムは実用金属では最も軽く、強度・剛性・振動吸収性ともに優れた材料であるが、エンドミル加工においては切削抵抗に起因するエンドミル倒れが生じ、加工誤差の要因となる。一般にエンドミル加工時の切削抵抗は、工具回転中に切れ刃数だけ変動するので平滑な仕上げ面を得ることは困難である。特に多刃でねじれ刃をもつエンドミルでは、被削材を同時に切削する刃数が2枚以上となることが多く、加工端面にくぼみ形状などの加工誤差が生じることが知られている。

多刃エンドミルの側面加工では、被削材と切れ刃の干渉部の幾何学的関係に着目すれば、被削材を切削中の切れ刃長さが工具の回転に関わらず常に一定となる軸方向切込み量が存在する。その場合は、切削抵抗がほぼ一定値に保たれるため、加工誤差の発生が減少し、加工精度が向上すると考えられる。そこで本研究では、軸方向切込み量  $A_d$  によって切削抵抗と加工面形状精度が向上する条件を考察したうえで、多軸工作機械(並進 3 軸 + 傾斜軸など)において被削材に傾斜を与える方法を適用することにより切削抵抗を一定化でき加工精度が向上することを示す。

#### 2. エンドミル切削関与切れ刃長と切削抵抗

エンドミルの側面加工時の被削材に対する法線方向(X 方向)切削抵抗成分  $F_x$  から被削材の加工誤差量を求めるため、エンドミルや工具ホルダを含む主軸系を片持ち

梁としてモデル化する。

切削抵抗の負荷される点(切刃部)は、軸方向切込み量  $A_d$  の範囲を回転につれて主軸方向(Z 方向)に移動するため、切削点の移動による片持ち梁のたわみ量の変化から側面加工形状を予測評価することができる。また用いたエンドミルが直径 10mm、ねじれ角  $45^\circ$ 、切刃ピッチ  $60^\circ$  の 6 枚刃であることから求められた、回転角による切削に関与する切れ刃長さの変化について Fig.1 に示す。いま切削に関与する切れ刃長さの合計と切削抵抗とが比例するものとすれば、Fig.1 は近似化した切削抵抗の波形と相似の関係になる。Fig.1 の各線図は、各々標記の軸方向切込み量  $A_d$  に対応している。これによれば、軸方向切込み量  $A_d$  が 5.24mm の整数倍のとき回転角によらず関与切れ刃長さが一定となることがわかる。よってこの軸方向切込み量で実験を行えば、発生する切削抵抗の回転による変動を低減できると考えられる。

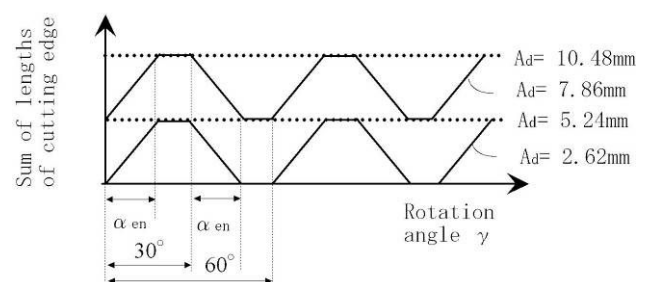


Fig.1 Sum of lengths of cutting edge vs. rotation angle

### 3. 検証実験と結果

検証実験では、軸方向切込み量をパラメータとした切削を行うため、厚さ  $t$  が軸方向切込み量と等しくなるような被削材を利用した。

まず Fig.1 の軸方向切込み量  $A_d=7.86\text{mm}$ ,  $10.48\text{mm}$  の 2 ケースについてマグネシウム合金 AZ31 を被削材として直線端面加工を行い、切削抵抗値と端面の軸方向加工形状を測定した。実験条件を Table 1 に示す。

Fig.2 に切削抵抗の測定値の比較を示す。板厚  $t=7.86\text{mm}$  では  $30\text{N}$  以上の切削抵抗の変動がみられる一方で、板厚  $t=10.48\text{mm}$  での切削では回転振れによる変動がみられるだけで、切れ刃ごとの大きな変動はみられない。また片持ち梁モデルに基づく軸方向たわみ量の解析結果と、被削材形状の測定結果の比較を Fig.3 に示す。図より両者の形状はよく近似しており、その形状の凹凸の大きさが板厚  $t=10.48\text{mm}$  では約半分に軽減されていることがわかる。よって切削抵抗の変動を抑えることで加工形状の凹凸を小さくできることがわかる。(Y 方向が工具送り方向)

### 4. 傾斜角付与による実験結果

以上の結果を用いれば、多軸工作機械(並進 3 軸 + 傾斜軸など)を利用するならば、通常は切削抵抗が一定とならない軸方向切込み量となる条件に対しても、被削材に傾斜を与えて適切な軸方向切込み量とすることで加工精度の向上が期待できる。例として板厚  $t=9.00\text{mm}$  の場合と、それに傾斜角  $\theta=30^\circ$  を与えて実軸方向切込み量  $t'$  を切削抵抗一定化条件と等しくして切削した場合の切削抵抗値と被削材形状の測定結果を Fig.4~5 に示す。これによれば Fig.2~3 における比較と同じ程度に切削抵抗の変動や形状精度が改善されていることがわかる。

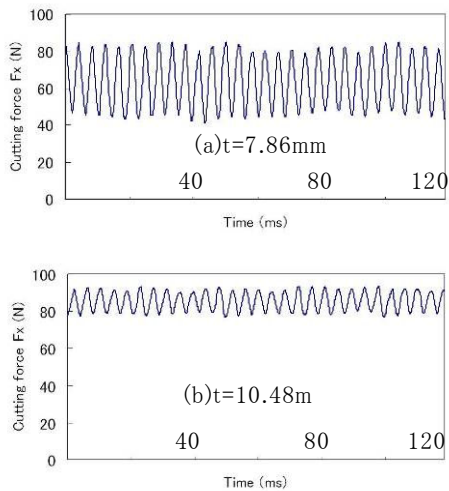


Fig.2 Measured cutting forces ( $F_x$ )

Table 1 Experimental conditions

Tools and workpiece	Cutting conditions
<b>Tool:</b> Coated Carbide end mill $\phi 10\text{mm}$ , 6 blades, Spiral angle $45^\circ$	Spindle speed 2400rpm Radial depth of cut 0.5mm
<b>Workpiece:</b> AZ31(Al 3%, Zn 1%)	Axial depth of cut 7.86, 10.48mm Feed speed 1440mm/min

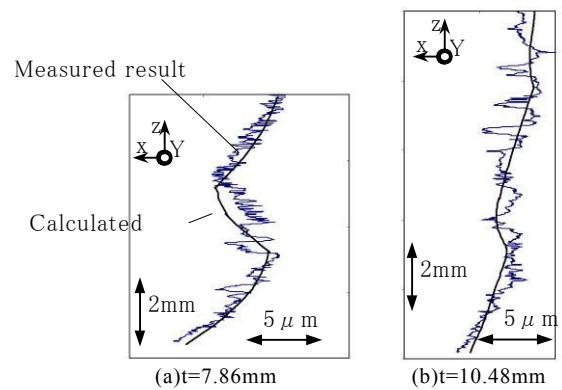


Fig.3 Measured surface profiles (Axial direction)

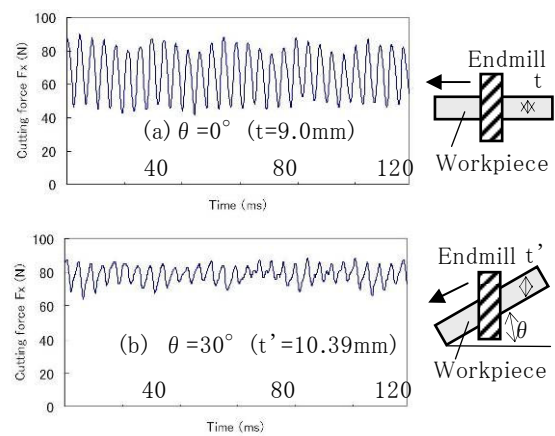


Fig.4 Measured cutting forces ( $F_x$ )

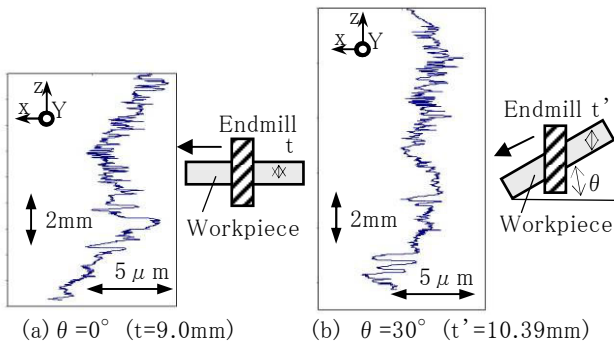


Fig.5 Measured surface profiles (Axial direction)

## 5. おわりに

- (1) マグネシウム合金のエンドミル加工(端面切削加工)において、軸方向切込み量の適切な設定により、切削抵抗の抑制と形状精度の向上が可能となることがわかった。
- (2) 多軸工作機械(並進 3 軸+傾斜軸など)を利用することで、被削材に傾斜を与えて適切な軸方向切込み量を保たせるという手法により形状精度の向上が実現することがわかった。