

机上計測を用いた超精密金型部品の高効率切削加工技術の研究 —高硬度材の小径エンドミル加工に関する研究—

大塚裕俊*・水江宏*・城門由人*・秋国元**・嶽正好**

中川元彦***・栗林仁****・須藤勝蔵*****

*機械・金属担当・**(株)テオリック・***(株)戸高製作所

****大分県立工科短期大学校・*****北九州市立大学

Study on End Milling for Hardened Steel Using in-situ Measurement System -Application of Tool Paths with a Constant Cutting Engagement Angle for End Milling Cavity Molds-

H.OHTSUKA*・H.MIZUE*・Y.KIDO*・G.AKIKUNI**・M.DAKE**

M.NAKAGAWA***・J.KURIBAYASHI****・K. SUDO*****

*Mechanical and Metallurgical Engineering Division・**Teoric Cooperation・***Todaka Cooperation

****Oita Institute of Technology・*****The University of Kitakyusyu

要 旨

高硬度材の小径エンドミル加工について、切削抵抗と工具寿命に影響する切削関与角を制御した工具パスの適用を検討した。ひし形のポケット加工について、切削関与角を一定値以下に制御することを含む3レベルの工具パスを作成して実験した結果、SKD-11 (HRC60)材のポケット加工では、切削関与角を一定値以下となるようにした工具パスで寿命が最大となり、小径エンドミル加工での工具寿命の伸長に効果があることがわかった。

1. はじめに

高硬度材のエンドミル加工では、微小な切込み量でも大きな切削抵抗が生じるので、工具損傷を防ぐためには適切な加工条件や工具経路を選択することが非常に重要である。

とりわけ近年、HrC60 程度の高硬度材の加工、直径 1mm 以下の小径エンドミル工具の利用などが増えており、工具折損の防止や工具寿命の伸長はますます重要な問題となっている。

これについては送り速度を場所ごとに適切に与えることで切削抵抗を一定化し¹⁾、とりわけ内側コーナ加工で起こる過大な切削抵抗を避けようとする方法がある。しかしながら中小径以上のエンドミルを用いた実際の金型加工では、切削抵抗を一定化としても直線切削のみを行った場合に比べて内側円弧切削では工具寿命が短くなるという現象が生じる。すなわち切削抵抗以外で工具寿命に大きな影響を与える切削関与角(幾何的パラメータ)を制御しなければならない²⁾。よって切削抵抗の一定化を図ると同時に、工具パスパターン(幾何パターン)を適切に設計しなければならない。

そこで本研究では、主に直径 1mm 以下の小径エンドミル工具を用いた基本形状のポケット加工を対象として、切削抵抗一定の条件のもとで切削関与角(幾何的パラメータ)の調整レベルに基づく数種類の工具パスパターンを与え、工具寿命実験を実施する。そして小径エンドミルについても本手

法が有効であるかどうかを確認する。

2. 切削抵抗一定化のための送り速度制御

これまでの研究によれば、式(1)に示す2次多項式モデルにより、2次元平面内のエンドミル加工において切削抵抗の予測と制御が可能となっている。ここで F_{xy} は2次元平面内での切削抵抗の合力の時間平均値であり、 t_m と L はそれぞれ変形前の最大切りくず厚さと切削円弧長である(Fig. 1)。6つの係数 β は抵抗測定実験により決定される。

$$F_{xy} = \beta_0 + \beta_1 t_m + \beta_2 L + \beta_{11} t_m^2 + \beta_{22} L^2 + \beta_{12} t_m L \quad (1)$$

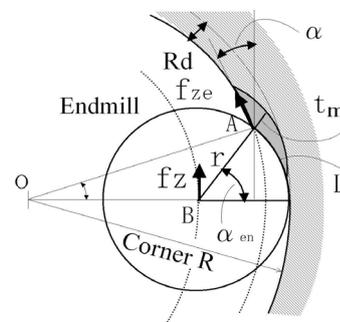


Fig. 1 Geometrical relationship in concave contour end milling

切削抵抗の一定化は、式(1)の予測式とエンドミルと被加工物のとの干渉に関する幾何学的関係から、切削抵抗の目標値に応じてエンドミル中心の送り量 f_z を決定することで行う。

3. 工具パスパターンの設計

加工対象は鋭角 45° のひし形のポケット形状である。なお、ひし形の一辺の長さや加工深さをエンドミル径に応じて Table 1 に示す。なお軸方向切込み量 A_d は加工深さと等しいとする。

工具パスとして通常は輪郭形状に沿ったパスパターンが用いられる (Fig.2(A))。この場合には鋭角内側コーナ部では常に 120° 以上の切削関与角が生じ工具寿命に大きな影響を与える。次にこの急峻な切削関与角を緩和する目的で、(A)のパスの内側コーナ部にRを配したパスパターンを用いる (Fig.2(B))。さらにパスパターンを大幅に変更し、常に切削関与角が一定値以下となる工具パスパターンを用いる (Fig.2(C))。なおパスパターン(A)については Table 1 の径方向切込み量をパス間ピッチとし、それに対応する切削関与角をもって (C)での上限値とした。なおパスパターン(A)(B)については、切削抵抗予測式に基づいて内側コーナ部で Table 1 の基準送り速度よりも送りを大きく減少させる。その処理により、ポケット形状1個あたりの加工時間は(A)(B)(C)でほぼ等しくなる。

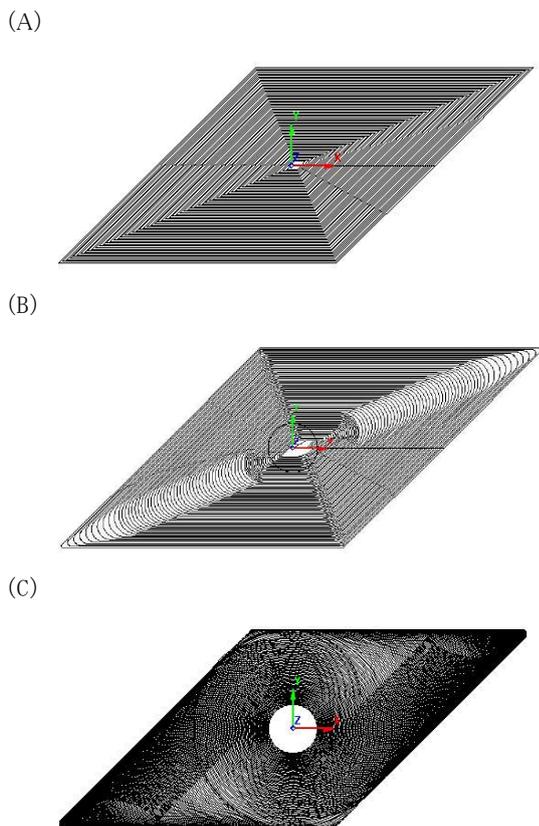


Fig.2 Cutter path patterns for diamond shaped cavity

4. 実験装置と方法

4.1 被削材と切削工具

工具としてねじれ角 35° 、2枚刃のストレート型のコーテッド超硬エンドミルを用いる。直径は $1.5 \sim 0.2\text{mm}$ までの5種とし、被削材はダイス鋼 SKD-11(硬さ HRC60)を用いる。クーラントはミストクーラントを用いる。

4.2 実験装置と手順

被削材を立形マシニングセンタ(MC)のテーブル上に取り付け、工具寿命試験を行う。実験は中央部のヘリカル加工(穴あけ加工)からポケット部加工までを1本の同じ工具で行い、工具寿命に達するまで同一形状のポケットを連続加工する。また切削抵抗の測定は、圧電素子を用いた3成分工具動力計で保持された被削材により行う。Table 1にエンドミル各径毎の加工形状と加工条件について示す。ポケット1個あたりの加工時間や切削距離にはヘリカル加工の時間や距離も含まれている。

Table 1 Cutting conditions for experiments

Tool diameter mm	$\phi 1.5$	$\phi 0.8$	$\phi 0.6$	$\phi 0.4$	$\phi 0.2$
Pocket Edge length mm	5.0	3.0	2.5	1.75	1.0
Spindle speed rpm	6000	9000	12000	20000	30000
Radial depth of cut mm	0.027	0.015	0.01	0.007	0.004
Axial depth of cut mm	1.5	0.8	0.6	0.4	0.2
Standard feed rate mm/tooth	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Cutting time min/pocket	27	12	17	11	11
Cutting length (A) mm/pocket	619	343	505	430	181
Cutting length (C) mm/pocket	1468	815	691	634	413

Table 2 Numbers of cut pockets

Tool diameter mm	$\phi 1.5$	$\phi 0.8$	$\phi 0.6$	$\phi 0.4$	$\phi 0.2$
Path pattern (A)	10	3	2	4	3
Path pattern (B)	20	6	-	-	-
Path pattern (C)	42	10	4	6	10



Fig.3 Change of bottom cutting edges(φ 0.2mm)

5. 実験結果と考察

ポケット形状の加工による寿命試験について、各径のエンドミル毎の加工個数の比較を **Table 2** に示す。またφ0.2mm エンドミルの工具パスパターン(C)での底刃の変化を **Fig.3** に示す。

切削抵抗の測定結果によれば、切削関与角を一定値以下に調整した工具パスパターン(C)を用いた場合は、切削抵抗値の一定化が常に十分に達成されていることがわかった。またいずれのケースでも工具寿命の進展とともに切削抵抗値が次第に増加することが確かめられた。なお実験に用いた小径エンドミルの場合、いずれも最終的には工具折損が生じて加工不能となったためそれまでの加工個数をカウントした。

また単位時間あたりの体積除去率がほぼ等しい条件下では、**Table 2** で明らかなように、切削関与角の最大値を調整した順すなわち工具パスパターン(B)(C)の順に加工数は増加しており、エンドミルの工具寿命が延びている。よって切削抵抗一定化のもとで最大切削関与角を制御することで作成

された工具パスパターンは工具寿命の伸長に有効であることがわかった。すなわち切削関与角が大きいほど工具寿命に与える影響が大きくなるのが小径エンドミルにおいても確かめられた。

6. おわりに

高硬度材の小径エンドミル加工について、切削抵抗に加えて切削関与角を制御した工具パスの適用を検討し次の結果を得た。

- (1) ひし形ポケット加工について、工具寿命に大きな影響を与える切削関与角に着目し、それを一定値以下に制御することを含む3レベルの工具パスを作成した。
- (2) SKD-11(HRC60)材のポケット加工に、作成された3種類の工具パスを適用した結果、切削関与角を一定値以下となるようにした工具パスで寿命が最大となり、小径エンドミル加工での工具寿命の伸長に効果があることがわかった。

参考文献

- (1) 垣野義昭, 大塚裕俊, 中川平三郎, 廣垣俊樹, 佐々木将志: 焼入鋼のエンドミル加工に関する研究(第1報), 精密工学会誌, 66, 5(2000) 730.
- (2) 大塚裕俊, 山路伊和夫, 中川平三郎, 垣野義昭: 高硬度金型材のエンドミル加工に関する研究, 2004 年度精密工学会春季大会講演論文集, (2004).