

エンドミル加工のための切削関与角一定化工具中心経路の生成

京都大学 池田大作, 茨木創一, 松原 厚, 山路伊和夫, 垣野義昭, (株) MTI 西田 晋

要旨

金型加工のための高硬度材のエンドミル加工において、通常用いられる等高線パスで加工を行うと、曲率の小さい円弧部において切削抵抗が大きく変動する場合がある。本研究では、任意の2次元輪郭形状加工においてこの問題を解決するために、切削関与角が常に一定となるような工具中心経路の生成法を提案する。提案する手法で生成した工具中心経路を用いることにより、常に送り速度及び切削抵抗が一定となる加工が行えることを示す。

1. 結論

(Al, Ti)N コーティングされた超硬エンドミルの登場により、高硬度焼入れ鋼の直彫り切削が可能になり、金型の製造工程の集約が進んできた。しかし、工作物に対する工具の硬度比が小さいため、チップングなどの工具破損の問題を考慮して切削条件を決めなければならない点に変わりはない。特に、コーナ部や曲率の小さい円弧部では、切削関与角が大きく変動するために、送り量が一定の場合、切削抵抗が大きく変動し工具損傷を生じやすい。また仕上げ加工においても、切削抵抗の変動は加工精度と仕上げ面粗さに悪影響を与える。このような問題に対して、送り速度の最適化により加工危険領域において切削抵抗の変動を抑制する手法はこれまでに多く研究がなされてきた¹⁾。しかし、加工危険領域において送り量が小さくなりすぎ加工能率が低下するなど、実用上の問題は多い。本論文では、与えられた初期工具中心経路を切削関与角が常に一定となるように修正する方法を提案し、送り速度を変化させることなく切削抵抗一定化を実現する手法を検討する。

2. 切削関与角が一定となる工具中心経路生成法

2.1 アルゴリズム : 前向き輪郭線修正法

キャビティ形状を、等高線パスを用いて内側から外側へ加工していく場合を考える。アルゴリズム では、与えら

れた初期工具中心経路を、以下の手法に基づき内側の輪郭線から外側の輪郭線へ順に修正していく。

図1にアルゴリズム の概要を示す。前加工面の軌跡、工具半径は与えられているものとして、与えられた初期工具中心経路 $o_i (i=1, \dots, N)$ を、経路に対して直角方向に距離 x_i だけ移動させ、切削関与角が目標値 α_i になるようにする。 i 番目の工具中心位置 o_i に対し、修正距離 x_i は以下のアルゴリズムにより求められる。

- (1) 工具中心位置 o_i を初期値だけ移動させた時の切削関与角 α_i^0 を求める。
- (2) 目標値 α_i との誤差 e_i に基づき、ニュートン法の1ステップを実行する。

$$e_i = \alpha_i - \alpha_i^0 \quad (1)$$

$$x_i = x_{i-1} - \frac{e_i}{\frac{de_i}{dx_i}} \quad (2)$$

- (3) 以上 (1) (2) を全ての i について繰り返す。

ただし、工具中心位置 o_i 、修正距離 x_i が与えられた時、切削関与角 α_i は工具と前加工面の幾何学的干渉から求める事ができる。(2)において、勾配 de_i/dx_i はこの関数を用いて数値的に計算する。

2.2 アルゴリズム : 後ろ向き輪郭線修正法

アルゴリズム では、キャビティ形状を内側から外側へ加工していく場合、最終輪郭線において修正量が一般に最も大きくなる。従って指定の仕上げ形状を出す事は出来ない。それに対し本節で示すアルゴリズム では、最終輪郭線から内側に向かって修正を進行させる。最終輪郭線は全く修正が加えられないため、最終的な仕上げ形状は初期工具中心経路を用いた場合と同一となる。

この方法では、与えられた初期輪郭線と工具半径に対して、前加工面を、切削関与角が目標値 α_i になるように経路に対して直角方向に距離 x_i だけ移動させる。 x_i を求めるアルゴリズムは前節の方法と同様である。修正された前加工面に対し、それを与えるように一つ内側の輪郭線全体を修正する。

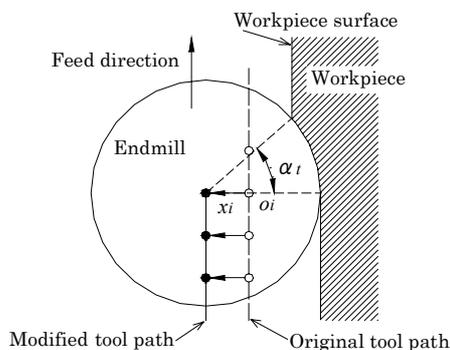


Fig. 1 Tool path modification by Algorithm

Table 1 Cutting Conditions

Spindle speed	2,800 rpm
Feed rate	1,000 mm/min
Cutting direction	Down cutting
Free length of endmill	35 mm
Axial depth of cut	10 mm
Coolant	Dry air
Target engage angle	37°

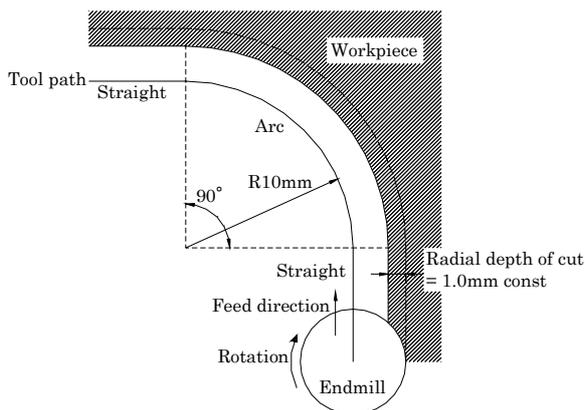


Fig. 2 Schematic of cutting test

3. 検証実験

提案した2つの工具中心経路生成法の有効性を検証するために実験を行う。工具は直径10mm、4枚刃の(Al, Ti)Nコーテッド超硬ストレートエンドミル、被削材は炭素鋼S50Cを使用する。切削条件を表1に示し、実験用工具中心経路を図2に示す。図2の工具中心経路は半径方向切り込み量一定であり、この工具中心経路にアルゴリズムを適用する。

図2に示した工具中心経路に対して、アルゴリズムを適用した結果をそれぞれ図3、図4に示す。

図2に示した工具中心経路と、アルゴリズムを適用した工具中心経路で切削を行い、それぞれ動力計で切削抵抗を測定した結果を図5に示す。初期工具中心経路を用いた場合は、円弧部で切削抵抗が増大するが、アルゴリズムを適用させると、共に定常状態における切削抵抗の変動は6%以内に抑えられ、ほぼ一定化できた。

4. 結論

切削関与角が一定となる工具中心経路生成法を提案した。得られた結果は以下の通りである。

- (1) 提案した方法により、切削関与角が一定となる工具中心経路を生成する事が出来る。
- (2) 提案した方法を適用した工具中心経路で切削を行うと、送り速度が一定であっても、切削抵抗が一定となる。

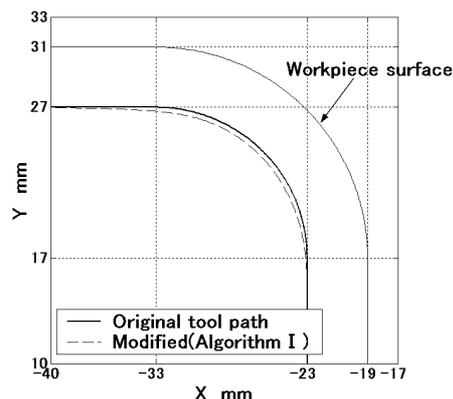


Fig. 3 Original and modified tool paths (Algorithm I)

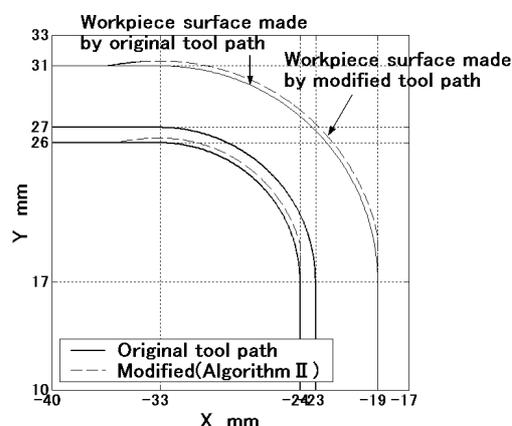


Fig. 4 Original and modified tool paths (Algorithm II)

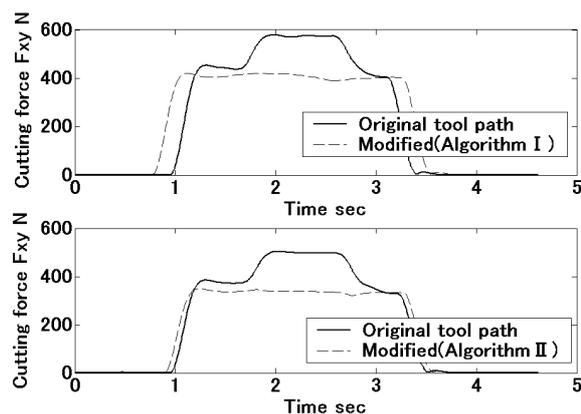


Fig. 5 Cutting force in original and modified tool paths

参考文献

- 1) 大塚裕俊：焼入れ金型のエンドミル加工における切削抵抗の推定と制御に関する研究，京都大学 学位論文，2002