

高硬度材の高精度切削加工技術の研究に関する研究 —切削抵抗を一定化できる工具パスの SKD11 材加工への適用—

大塚裕俊*・井原之敏**・秋国 元***
*生産技術部・**大阪工業大学・***㈱テオリック

-NC Programming for Constant Cutting Forces in End Milling Hardened Steel (JIS SKD11)-

Hirotooshi OHTSUKA*・Yukitoshi IHARA**・Gen AKIKUNI***
*Production Engineering Division・**Osaka Institute of Technology・***Teoric Cooperation

要旨

高硬度材の高精度切削加工技術を確立するため、切削抵抗を一定化できる工具パスを作成し、SKD11 材（硬度 HRC60 程度）の微小径エンドミル加工に適用した。作成された NC プログラムにより金型加工を目的としてポケット形状の凹部エンドミル加工を行った結果、エンドミルの工具折損が減少し、難削材である SKD11 材（硬度 HRC60 程度）のエンドミルのみによる加工が可能となることがわかった。とりわけ、これまで主に放電加工でしか対応できなかった狭小部（隅部）の加工についても本手法により加工が可能となった。

1. はじめに

金型加工において、エンドミル工具によって高硬度材の凹部を加工する場合、通常輪郭形状に沿った工具パスを用いるが、内側コーナー部で切削抵抗が非常に大きくなり工具寿命が著しく短縮する。かといって安全サイドで切削送り速度を低く設定すると加工能率が低くなる。よって切削抵抗を常に一定にし、かつ高速加工が可能な工具パスと加工条件の設定が望まれる。そこで前年度は、このような観点から工具パスや加工条件を決定できるソフトを開発してステンレス加工に適用し、良好な結果を得た。そこで本研究開発では、高硬度材である SKD11（硬度 HRC60 程度）に本手法を適用し、その有効性を検証することとする。また従来、主に放電加工により加工が行われてきた凹部加工では、狭小部加工のため必然的に微小径エンドミルが多用される。その場合エンドミルの工具折損が大きな問題となるため、切削抵抗を制御することはますます重要となる。

2. 切削抵抗一定化のための工具パス

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。6 つの係数 β は、最小二乗法を利用して抵抗測定実験により決定される。

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

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った。またエンドミルと被加工物との干渉部が示す切削関与角が工具寿命に大きな影響をおよぼすとの知見から、切削関与角が常にある一定値以下となるように工具パスを設計した。

3. 実験装置と方法

被削材は焼入れ鋼 SKD11(硬度 HRC60)を用い、これに正方形の凹部ポケット形状をエンドミル工具 (Ti, Al)N コーティングされた微粒子超硬エンドミル) により加工する。各工程毎の工具と加工条件について表 1 に示す。被削材は立形マシニングセンタのテーブル上に設置された 3 成分工具動力計で保持されている。

4. 実験結果

Table 1 に示す工程と各工具および加工条件により、単純な正方形のポケット形状の加工を行った。工程としては、①ヘリカル加工による穴空け②渦巻き加工による領域拡大切削③コーナー加工による直角隅部の切削に大別される。Fig.1 にコーナー加工での工具パスパターンを、Fig.2 にそのときの切削抵抗の測定結果を示す。Fig.3~4 に加工物の形状を示す。以上の結果によればコーナー部を含めた被削材の加工が、ほとんど問題なく良好に行えることがわかる。

Table 1 Cutting process and cutting conditions

加工工程	使用工具	回転数 (min ⁻¹)	送り速度 (mm/min)	切削距離 (m)	軸方向 切込量(mm)	加工時間 (h:m:s)					
(1) ヘリカル加工	R5ボールエンドミル VC-2MB	750	300	0.4	0.14 / 回転	0:01:21					
(2) ヘリカル加工	φ10エンドミル VC-MDRB	2000	100	0.5	0.05 / 回転	0:10:07					
(3) 渦巻き加工	φ10エンドミル VC-MDRB	2000	360	1.6	5	0:04:10					
(4) コーナー加工	φ3エンドミル VC-MDRB	5300	954	9.72	(5) コーナー加工	φ1エンドミル VC-2XL	15000	900	3.89	1	0:03:20
(5) コーナー加工	φ1エンドミル VC-2XL	15000	900	3.89	1	0:03:20					

加工物寸法：20×20×5 mm 工作機械：YASDA YMC325 クーラント：エアブロー (+ミストクーラント)

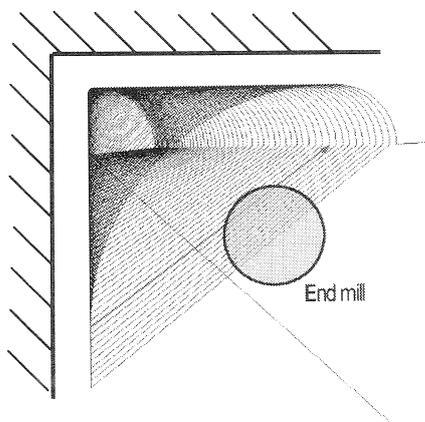


Fig.1 Cutter paths for corner end milling

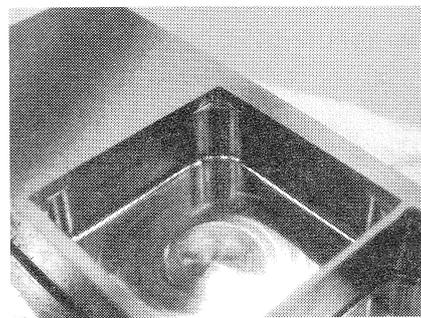


Fig.3 Outlook of cut shape (20×20×5mm)

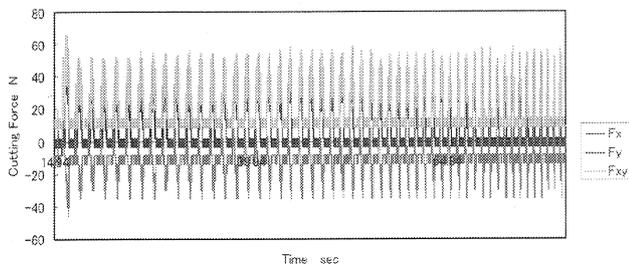


Fig.2 Measured cutting forces in corner end milling

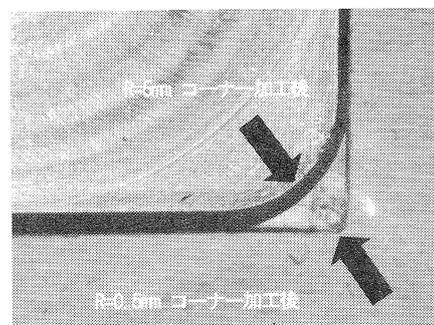


Fig.4 Details of cut corner in Fig.3

5. おわりに

- (1) SKD11 材 (硬度 HRC60) の凹部エンドミル加工に切削関与角・切削抵抗一定化による工具パスを適用した結果、狭小部 (コーナー部) を含めた加工が可能であることがわかった。
- (2) 測定結果によれば切削抵抗の一定化が達成されており、とりわけ微小径のエンドミルに対し工具折損発生への減少に効果があると思われる。なお作成した工具パス・加工条件のもとで工具寿命がどの程度伸びるのかについては今後の実験で

確かめる必要がある。

追記

本実験に使用した高速加工機(MC)は、競輪(日本自転車振興会)の補助金を受けて設置したものである。

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