

ミルターニング加工による表面性状に関する研究

大阪工業大学 ○高木 康佑, 辻 和孝, ◎井原 之敏

要 旨

近年、複合加工機によるミルターニング加工が難削材加工において注目されている。高速・高能率加工が可能である反面、表面粗さが悪い荒加工にしか使えない問題点がある。また切削パラメータが多岐に渡り複雑なため国内では研究が進んでいないのが現状である。本研究では仕上げ加工に応用することを目指してミルターニング加工の切削理論を解明すると同時に、切削パラメータと表面性状の関係について調査することを目的とする。

1. 緒 言

近年需要が高まっている航空機部品に多く用いられるニッケル基の超耐熱合金は、その切削加工において切削点温度の急激な上昇による刃先損傷などが大きな課題となっている。このような難削材の加工において注目されているのが、ミリング工具を用いて回転する被削材の外周等を加工するミルターニング加工法である。高速・高能率加工が可能である反面、加工面に特有の螺旋模様が生じ仕上げ面粗さが悪いため、荒加工にしか使えない問題点がある。また切削パラメータが多岐にわたり複雑であるため、国内では研究が進んでいないのが現状である。

本研究では、複合加工機を用いた加工実験から切削パラメータと表面性状の関係について調査することを目的とする。また、3次元CADを用いて切削痕シミュレーションを行ない、その結果と実加工における切削痕を比較する。

2. ミルターニング加工

エンドミルを用いたミルターニング加工を幾何学的に示すと図1のようになる。ここで工具直径 D_t (mm)、工具回転数 N_t (rpm)、切込み深さ A_p (mm)、ワーク直径 D_w (mm)、ワーク回転数 N_w (rpm)、偏心量 e (mm)、ワーク1回転あたりの送り量 f_w (mm/rev)、1刃あたりの合成方向送り量 f_z (mm/tooth)、合成方向の送り速度 V_f (mm/min)、ワーク軸方向の送り速度 V_{fs} (mm/min) とする。回転する被削材の円周面に、それと直交するようにエンドミルを配置する。そして被削材半径方向に切込みを与え、工具を被削材長手方向に送ることによって外径切削を行なう。

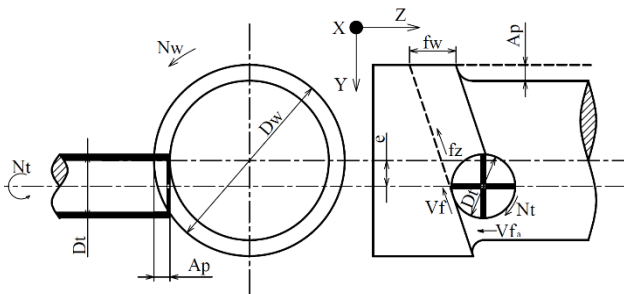


Fig. 1 Geometrical model of Mill-Turning process

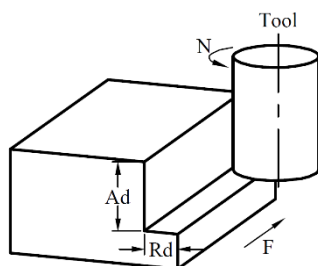


Fig. 2 Diagram of side milling by endmill

また、側面加工における切削パラメータと比較するため、エンドミルによる側面加工時の模式図を図2に示す。ここで、回転数 N (rpm)、工具の送り速度 F (mm/min)、半径方向の切込み量 Rd (mm)、軸方向の切込

み量 Ad (mm) とする。

図1及び図2より、ミルターニング加工における合成方向の送り速度 V_f はミリング加工における送り速度 F に相当し、同様にワーク1回転あたりの送り量 f_w は半径方向の切込み量 Rd に、また切込み深さ A_p は軸方向の切込み量 Ad にそれぞれ相当する。

3. 3次元CADを用いた切削痕シミュレーション

3次元CADを用いてスクエアエンドミル(2枚刃)刃先の回転体モデルを作製し、図3のように円筒形状を被削材として、回転体と被削材の接触領域を除去した。そして f_z (1刃あたりの合成方向送り量) 方向と f_w (ワーク1回転あたりの送り量) 方向の2方向へパターン化することで切削痕を作成した。2枚刃のエンドミルで切削した場合、工具軸を中心として被削材長手方向の両側を同時に2か所切削する。ここで図3では、ある切削点における被削材自由端側の刃を1st tooth、被削材チャック側の刃を2nd toothとして記している。工具が半回転すると自由端側とチャック側の刃は入れ替わり、さらに半回転すると元に戻る。これを繰り返すと、被削材チャック側の刃による切削痕と被削材自由端側の刃による切削痕が重なるため、図3のように特殊な切削痕が生成される。

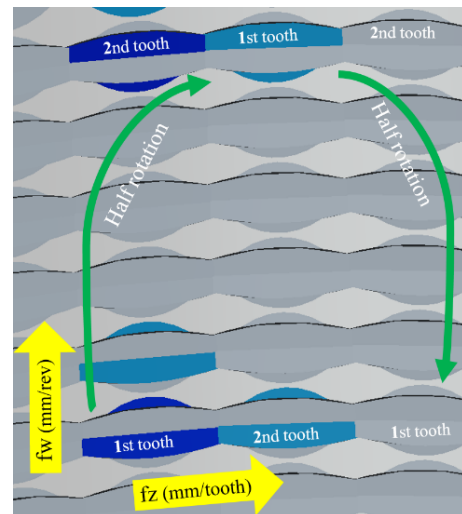


Fig. 3 Cutting marks by simulation

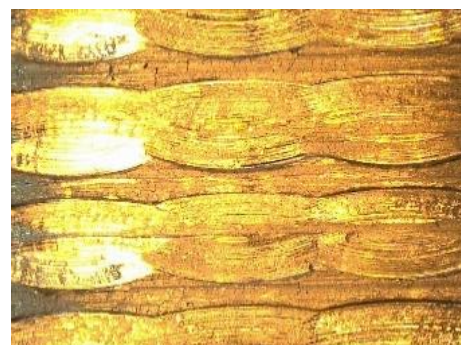


Fig. 4 Cutting marks by actual process

図4に実加工における切削痕を示す。図3、図4より、シミュレーションによる切削痕と実加工による切削痕は類似していると十分に言える結果が得られた。ただし、切削痕シミュレーションを行なうにはCADソフト上の問題により、可能な条件に制限があるという問題点に注意が必要である。

4. 実験概要

実験条件を表1に、工具と被削材の位置関係を図5に示す。複合加工機を使用し、スクエアエンドミルを用いて被削材長手方向に50mmをミルターニング加工した。また被削材はS45Cを用いた。本実験では工具のワーク軸方向送り量 V_f のみを6~36mm/minまで変化させることで、ワーク1回転あたりの送り量 f_w が表面性状に与える影響を調査する。評価方法として粗さ測定器を使用し、算術平均粗さRa及び粗さ曲線について比較する。

Table 1 Experimental conditions

Tool shape		ϕ 10 Square
Material of tool		Carbide
Number of tooth		4
Rotational speed of tool	N_t [rpm]	3000
Rotational speed of workpiece	N_w [rpm]	6
Feed speed of workpiece direction	V_f [mm/min]	6.0~36.0
Cutting speed	V [m/min]	94.25
Cutting depth	A_p [mm]	0.05
Eccentricity	e [mm]	0
Workpiece material		S45C
Workpiece Size (D×L)	[mm]	ϕ 61×110
Type of milling		Up cut
Coolant		Wet

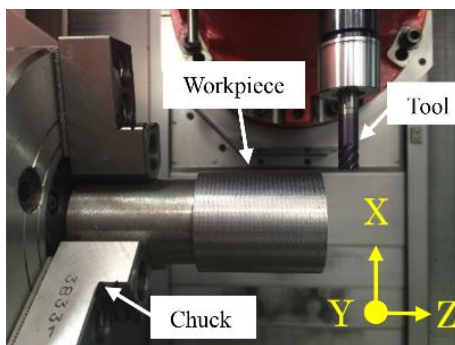


Fig. 5 Experimental equipment

5. 実験結果と考察

実験結果を表2に示す。またワーク1回転あたりの送り量 f_w と算術平均粗さRaの関係を図6に示す。図6より、ワーク1回転あたりの送り量が小さいときの方が概ね良い表面粗さを得られており、本実験の場合2倍以上の差が生じることが分かった。このことから良好な表面粗さを得るためにはワーク1回転あたりの送り量を小さくすることが、本実験の範囲においては有効である。

Table 2 Experimental results

D_w [mm]	58.5	59.0	59.5	60.0	60.5	61.0
V_f [mm/min]	6.0	12.0	18.0	24.0	30.0	36.0
f_w [mm/rev]	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00
f_t [mm/tooth]	0.092	0.093	0.093	0.094	0.095	0.096
Ra [μ m]	3.48	6.75	4.69	7.55	7.30	8.51

図7に示す加工面の模様より、ワーク1回転あたりの送り量 f_w が増加することで工具軌跡の間隔が大きくなっていると考えられる。そのため、図8に示す粗さ曲線を用いて検証した。このとき、粗さ曲線の横軸

は0.1mm/div、縦軸は5 μ m/divである。

図8より、粗さ曲線における山の間隔とワーク1回転あたりの送り量の値がほぼ一致することが分かる。このことから、加工面に現れる工具軌跡の間隔及び粗さ曲線に現れる山の間隔がワーク1回転あたりの送り量であると言える。

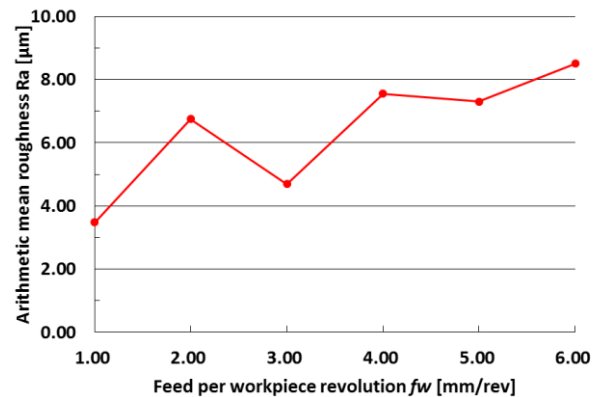
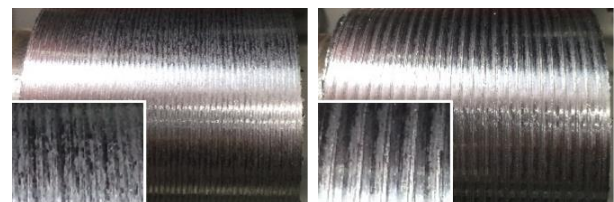
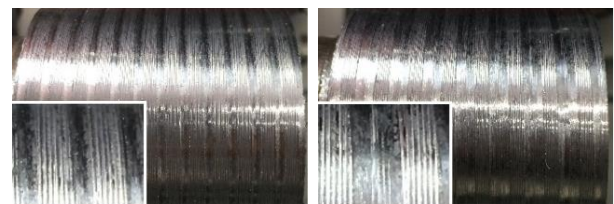


Fig. 6 Influence of f_w on Ra



(a) $f_w=1.00$ mm/rev

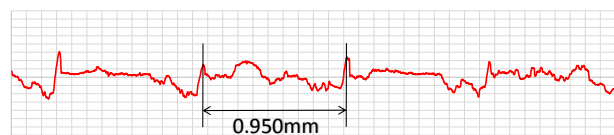
(b) $f_w=2.00$ mm/rev



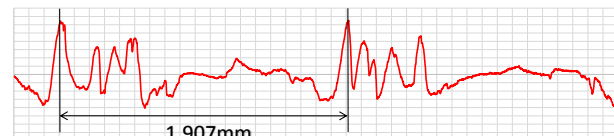
(c) $f_w=4.00$ mm/rev

(d) $f_w=6.00$ mm/rev

Fig. 7 Pattern of machined surface



(a) $f_w=1.00$ mm/rev



(b) $f_w=2.00$ mm/rev

Fig. 8 Roughness curve

6. 結 言

- 3次元CADを用いた切削シミュレーションは、実加工における加工模様と十分に類似しており、予備実験として有効な手段であると言える。
- ワーク1回転あたりの送り量 f_w は表面粗さに大きく影響し、良い表面粗さを得るためには f_w を小さく設定する必要がある。
- 加工面の工具軌跡はワーク1回転あたりの送り量 f_w によって大きく左右され、その間隔は f_w の値とほぼ一致する。また、その傾向は粗さ曲線にも現れる。