

ミルターニング加工における切削痕の制御に関する研究

大阪工業大学 ○海部 隼弥, 辻 和孝, ◎井原 之敏

要 旨

ミルターニング加工は加工面に特有の模様が生成されるため荒加工にしか使われたいと言われてきた。そこで、加工面に現れる模様を滑り止めや撥水性、デザイン性などで利用し、仕上げ加工として応用することを目指す。具体的な製品例として、運動器具のグリップ部分に様な模様を施す。しかし、曲率が変化する場合、均一な模様を生成することは難しい。そこで、直径の異なる被削材において加工を行い、曲率が与える影響を考察する。

1. 緒 言

近年の工作機械は、増加する複雑形状の部品や製品に対して、加工時間の短縮や低コストで生産できることが要求されている。そこで旋削機能とミリング機能の両方を有する複合加工機がユーザー側の要望により開発された。これまで複数の工作機械を必要としてきた複雑形状部品の加工が1台の工作機械に集約されたため、複合加工機の需要が急速に増加している。また最近では、航空機の需要が増加しており、日本においても国産の航空旅客機の製造が再開されるなど、航空機部品の高生産性への期待が高まっている。その中で難削材の加工方法において注目されているのが、複合加工機を用いて回転する被削材の外周面を断続切削するミルターニング加工法である。本加工法は加工面に特有の螺旋模様が生成され仕上げ面粗さが悪くなるため荒加工にしか使えないと言われてきた。しかし、加工面に現れる特有の模様を制御することで撥水性やデザイン性のある製品に応用できるため、仕上げ加工においても用いることができると考えられる。

そこで本報では、金属バットやマラカスなど径が変化する(テーパ)部分に様な模様を施すことを目的として、直径が異なる被削材においてミルターニング加工を行い、被削材の曲率が加工模様及ぼす影響について調査した。

2. ミルターニング加工に関する切削条件

ミルターニング加工は、従来の旋削加工とミリング加工を1つに組み合わせた加工法である。そのため、それぞれの切削条件を導出する式を組み合わせることで、ミルターニング加工の切削条件を導出することができる。ミルターニング加工の定義図を図1に示す。

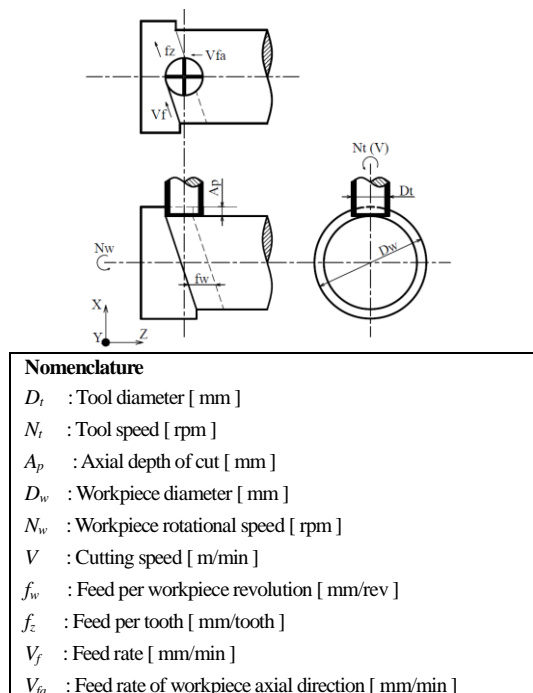


Fig. 1 Geometrical model of turn-milling process

本加工法はミリング加工と旋削加工を組み合わせた加工であるため、ミリング加工における切削条件に置き換えることでプログラム作成に必要な値および工具側の切削条件との関連性が明確になる。そこで、側面加工におけるエンドミルの切削条件と本加工法における切削条件との関連性について確認した。エンドミルによる側面加工時の定義図を図2に示す。

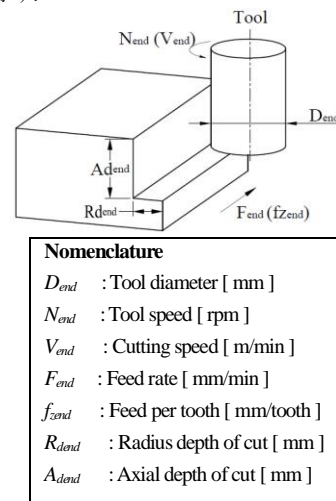


Fig. 2 Geometrical model of side milling by endmill

加工する際のプログラム作成に必要な値として、工具回転数 N_t 、ワーク軸方向送り速度 V_{fa} 、ワーク回転数 N_w 、ワーク直径 D_w 、軸方向切込み量 A_p の5つが挙げられる。5つの値がミリング加工およびミルターニング加工の切削条件に与える影響を図3に示す。

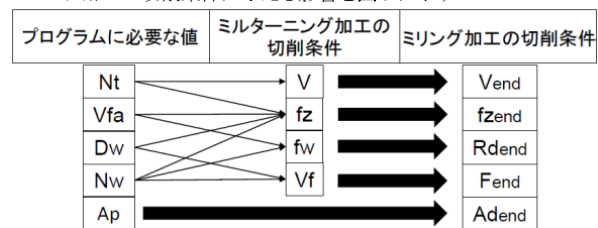


Fig. 3 Relevance of each parameter

図3より、軸方向切込み量 A_p 以外の値の変化は、ミルターニング加工の切削条件に複雑に影響している。中でも1刃当たりの合成方向送り量 f_z は、4つの値から影響を受けている。このことから、プログラム作成に必要な1つ1つの値が複数のミルターニング加工の切削条件に影響しており、加工面性状に及ぼす影響を複雑にしている。そして、エンドミルによる側面加工時の切削条件に置き換えて考えると、切削速度 $V \cdot 1$ 刃当たりの合成方向送り量 f_z 、合成方向の送り速度 V_f についてはミリング加工時の切削条件と同様の考え方ができる。このとき、ワーク回転数 N_w は、ワーク1回転当たりの送り量 f_w 、合成方向の送り速度 V_f 、1刃当たりの合成方向送り量 f_z に大きく影響するため、値の設定には注意が必要である。

3. 実験概要

実験条件を表1に示す。本実験における加工機は複合加工機を使用し、ボールエンドミル (φ10.0mm, 2枚刃, 超硬) を用いて、クーラントありの条件下で15mmをミルターニング加工した。被削材はS50C (φ49.0mm) と S35C (φ24.5mm, φ12.25mm) を用いた。本実験ではワーク軸方向の送り量 V_{fe} を 4.8~19.2mm/min, ワーク回転数を 8~32rpmまで変化させ、異なる被削材において同様の切削痕が現れるのか調査した。このとき、本実験では長方形をした切削痕が一直線上に配列する加工模様が現れる条件とする。また、被削材の直径がとても大きい場合での加工表面の曲率は、平面形状の被削材における曲率度合いとおおよそ同じであると考えられる。そのため、2章を参考にミルターニング加工の切削条件をミリング加工の切削条件に置き換え、平面形状の被削材においてミリング加工を行った。評価方法として粗さ測定器を使用し、最大高さ粗さ R_z について比較する。

Table 1 Experimental conditions

Ball radius	R [mm]	5
Material of tool		Carbide
Number of tooth		2
Rotational speed of tool	N_t [rpm]	4400
Rotational speed of workpiece	N_w [rpm]	8~32
Feed speed of workpiece direction	V_{fe} [mm/min]	4.8~19.2
Cutting depth	A_p [mm]	0.05
Workpiece material		S50C
Workpiece diameter	D_w [mm]	φ12.25~φ49.0
Type of milling		Up cut
Coolant		Wet

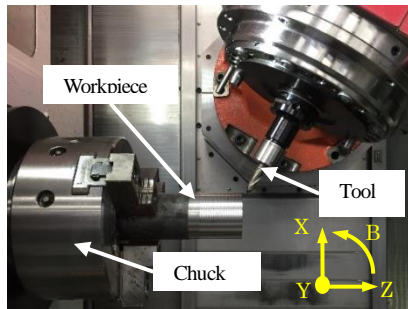


Fig. 4 Experimental equipment

4. 実験結果と考察

デジタル顕微鏡を用いて加工模様の観察を行った。測定倍率 50 倍で観察した画像を図5に示す。このとき、加工模様における縦方向を送り方向 (円周方向)、横方向をピック方向 (軸方向) とする。

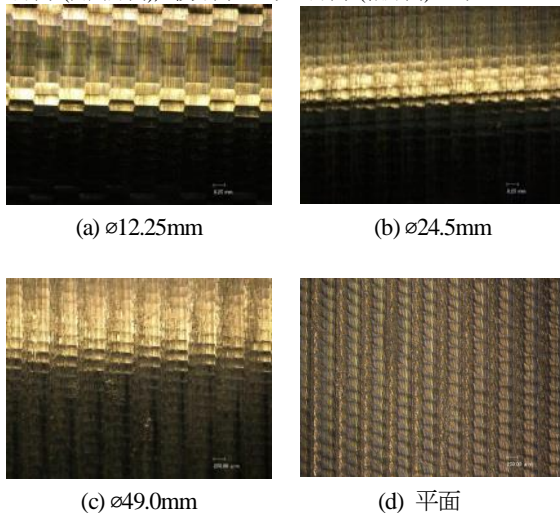


Fig. 5 Cutting texture

図5(a)では切削痕形状が横長の六角形で交互に規則的に配列した加工模様、(b)では横長の六角形で右上がりに規則的に配列した加工模様、(c)では横長の六角形で右下がりに規則的に配列した加工模様、(d)では横長の平行四辺形と判断しづらい切削痕形状でピック方向におおよそ規則的に配列した加工模様となり、各被削材の直径において加工模様が異なった。加工模様には、工具回転数とワーク回転数の比から求める回転数比が影響する。そのため、工具およびワーク回転数に回転速度誤差が発生すると理論通りの加工模様が生成されないことから、回転速度誤差が影響していると考えられる。また、表面粗さについて確認すると、最大高さ粗さは (a)・(b)・(c)・(d) では $6.75\mu\text{m} \cdot 7.75\mu\text{m} \cdot 11.56\mu\text{m} \cdot 16.64\mu\text{m}$ と曲率が大きくなるにつれて良好となり、加工模様の明瞭度合も良くなった。そこで、被削材の曲率が大きくなるにつれて加工模様の明瞭度合が良好になった原因について考察するため、加工面における工具刃先と被削材の関係を図6に示す。

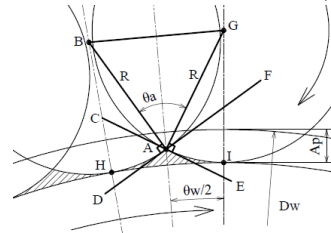


Fig.6 Relationship between tool edge and workpiece

被削材の直径が小さくなると、ワークの回転数を速く回転させていることから1刃当たりの円周方向送り角度 θ_w は大きくなる。また、本実験では切削方式をアップカット方式としていることから、工具および被削材の回転方向が相反する。したがって、工具刃先が被削材に食い込み量がゼロからはじまり最大値に達するため、被削材の曲率により工具刃先の入射角度が変化する。このことから、工具の1刃目と2刃目により削り残される頂点Aの角度が異なり、加工模様の明瞭度合に影響を及ぼすと推測できる。そこで、曲率が異なる被削材において頂点Aにおける入射角度を求めた。このとき、工具の1刃目を考慮した入射角度は、 $\angle FAE$ と定義できるため $\angle BAG$ と同じであり、円弧HIは1刃当たりの送り量 f_z と一致する。したがって、円筒形状の被削材における入射角度は式(1)で表すことができる。また、被削材が平面形状のとき1刃当たりの円周方向送り角度 θ_w は1刃当たりの送り量 f_z とおおよそ一致するため、入射角度は式(2)で表すことができる。

$$\theta_a = f_z \left(\frac{1}{R} + \frac{2}{D_w} - \frac{2A_p}{D_w \times R} \right) \times \frac{180}{\pi} \quad (1)$$

$$\theta_a = \frac{f_z}{R} \times \frac{180}{\pi} \quad (2)$$

式(1)、式(2)より、各被削材における工具刃先の入射角度は図5(a)では 2.902° 、(b)では 2.253° 、(c)では 1.926° 、(d)では 1.604° となり、被削材の直径が小さくなるにつれて、工具刃先の入射角度が大きくなった。このことから、曲率が大きくなるにつれて、工具刃先が被削材に食い込まれやすくなり切れ味が良好となったと推測できる。したがって、1つの切削痕の輪郭部分が鮮明に現れたことから、加工模様の明瞭度合および表面粗さが良好になったと考えられる。

5. 結言

- 1) 各条件において加工模様が異なった原因としては、被削材直径が小さくなるにつれてワーク回転数を速く回転させているため、回転速度誤差が異なり加工模様に影響したと考えられる。
- 2) 被削材の曲率は、曲率が大きくなるにつれて工具刃先の入射角度が大きくなり、工具刃先が被削材に食い込まれやすくなるため切れ味が良好になると考えられる。そのため、1つの切削痕の輪郭部分が鮮明に現れたことから、加工模様の明瞭度合および表面粗さが良好となる。