

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	切削条件がPTFEの加工面性状に与える影響に関する研究
Title	Study on Effect of Cutting Parameter on Surface Roughness in the Milling of Polytetrafluoroethylene
著者(和文)	原幹也, 朱疆, 田中智久, 齋藤義夫
Authors	Mikiya Hara, Jiang Zhu, Tomohisa Tanaka, Yoshio Saito
出典 / Citation	, , , pp. 214-216
Citation(English)	, , , pp. 214-216
発行日 / Pub. date	2013, 8

切削条件が PTFE の加工面性状に与える影響に関する研究

原 幹也*¹, 朱 疆*¹, 田中 智久*¹, 齋藤 義夫*¹

Study on Effect of Cutting Parameter on Surface Roughness in the Milling of Polytetrafluoroethylene

Mikiya HARA, Jiang ZHU, Tomohisa TANAKA, Yoshio SAITO

PTFE(四フッ化エチレン樹脂)は、高い自己潤滑性や電気絶縁性・耐薬品性など優れた性質を有するため、工業材料としての利用が注目されているが、加熱しても流動しづらく射出成形が困難な材料であるため、切削による PTFE 加工の要求が高まっている。しかし、PTFE は弾性体かつ熱可塑性プラスチックであるため切削時に弾性変形や熱変形を起こしやすく、良好な表面性状を得ることが難しい。本研究では、PTFE の加工面性状と切削条件との関係を調べるために、種々の切削条件でエンドミル加工面の表面粗さの測定およびバリの観察を行った。その結果、一刃一回転あたりの送りの大きさが加工面の算術平均粗さに大きく影響することや、切削速度を大きく取る事でバリの発生が抑制できることがわかった。また、加工面に残されたカッターマークの形状の調査を行い切削中に起きている現象について考察した。

Key words : polytetrafluoroethylene, milling, surface roughness, burr, resin ,

1. 緒言

PTFE は、耐熱性・非粘着性・自己潤滑性・電気絶縁性・対紫外線性や耐薬品性に優れた性質を持つため、工業材料として利用されている。また、多品種少量生産の需要の増加に伴い切削による創成加工の要求が高まっている。特に PTFE のように加熱しても流動せず射出成形が困難な材料の成形には切削加工が有効であると考えられる。しかし、PTFE は弾性体かつ熱可塑性プラスチックであり、加工面は切削抵抗や切削熱による影響を大きく受けるため、良好な加工面性状を得るのは難しい。

PTFE の加工性について研究は過去いくつか為されている。小林¹⁾は種々のプラスチックの旋削を行い、PTFE などゴム状高弾性を示すプラスチック材料は低速切削時に連続した切りくずを生成することを明らかにした。平ら²⁾は PTFE を含む複数のフッ素樹脂に対して表面温度の制御下で小径エンドミルによる微細切削を行い、試料温度が低温の場合はバリが抑制されかつ良好な表面粗さを得られる傾向があることを示した。また、Catalin³⁾は、PCD 工具による PTFE 複合材の旋削を行い、切削抵抗が送りと切り込み深さから影響を受け、表面粗さが送りとコーナ半径から影響を受けることを統計処理により明らかにした。しかし、これまでに種々の切削条件が PTFE のエンドミル加工面の表面粗さに与える影響について調査した研究は行われていない。

本研究では、切削速度・一刃一回転あたりの送り・切り込み深さが加工性に与える影響を調査するために上記3つの切

削パラメータを変えて切削を行い、目視によるバリの観察と光学式表面粗さ測定器による算術平均粗さの測定を被削材の各部位毎に行った。また、加工面の拡大図より各切削条件下でのカッターマークの形状について調査し、切削中に起こっている現象について考察した。

2. 実験概要

切削速度・一刃一回転あたりの送り・切り込み深さが加工性に与える影響を調査するために、切削条件の数値変化が PTFE 加工面の表面粗さに与える影響を調査した。具体的には、切削速度・一刃一回転あたりの送り量・軸方向切り込み深さを一つずつ変化させて PTFE のエンドミル切削を行い、目視によるバリの観察、非接触表面粗さ計測器を用いた加工面の表面粗さの測定と加工面上のカッターマークの観察を行った。

2.1 エンドミル切削実験

PTFE 切削時の実験環境を真上から見た概要を図1に示す。図1のように、厚さ 10mm×幅 23mm×長さ 45mm の PTFE 試験片をバイスで挟み反対側を心押台で固定し、バイスの端面から 10mm 離れた直線をエンドミルを用いて切削した。

実験に使用した工作機械は、Rolland 製の四軸 NC フライス盤 MDX-40A である。使用したエンドミル刃は刃径 3mm の樹脂用 2 枚刃超硬エンドミル SEC-PLEM2R3 である(コーティングは無くねじり角は 30°)。

また、表面粗さ計測および加工面の画像取得のために NanoFocus 製の共焦点方式表面粗さ計測器 μ Surf を用いた。 μ Surf によりエンドミル進入部付近・中心部付近・退出部付近の切削面のデータを取得し、算術平均粗さ Ra を計算した。

*1 東京工業大学: 〒152-8550 東京都目黒区大岡山2-12-1
Tokyo Institute of Technology
(学会受付日:2013年 5月 17日)

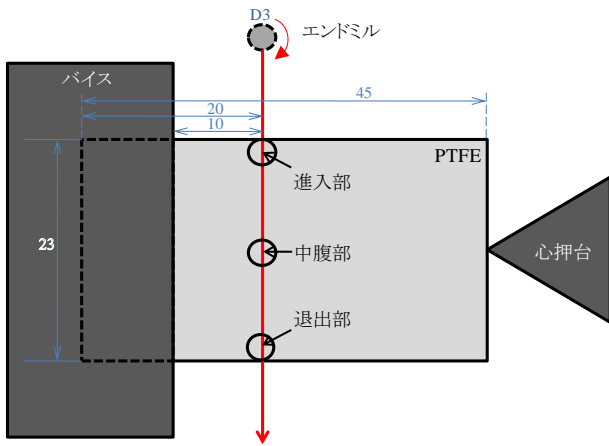


図 1 真上から見た PTFE エンドミル切削実験概要

2.2 切削条件

エンドミルの一般作業における切削条件としては、被削材の特性、切削速度、送り速度、切り込み深さ、切削油剤、切削方向の 6 つが重要である⁴⁾。今回の実験時では切削速度、送り速度、切り込み深さを変更して切削の様子を観察しようと考えている。実験の際は 3 つの切削条件のうち 2 つは固定し 1 パラメータだけを変化させてデータを取った。

(1) 切削速度

切削速度 v [m/min] は、送りを無視した場合にエンドミル直径上の刃が材料と接触する速度であり、エンドミル直径 D [mm] と回転数 N [rpm] を用いて以下のように示される。

$$v = \frac{\pi DN}{1000} \quad (1)$$

本実験では、切削速度 v を [42.39, 75.36, 108.3, 141.3 m/min] と変えて切削を行った。なお、この条件は 3mm 径のエンドミルで回転数に直すと [4500, 8000, 11500, 15000 rpm] である。

(2) 送り速度

被削材とエンドミルとの相対速度、加工面精度などを考える場合は、エンドミル一回転あたりの送り、もしくは一刃一回転あたりの送り (= エンドミル一回転あたりの送り / 刃数) を基準とする。本実験では、一刃一回転あたりの送りを [0.000438, 0.00281, 0.0178, 0.0627 mm/tooth] と変えて切削を行った。

(3) 切り込み深さ

エンドミルにおける切り込み深さは軸方向と半径方向の切り込み深さによって表される。本実験では、半径方向切り込み深さは刃の直径と同じ 3mm とし、軸方向切り込み深さを [0.38, 0.75, 1.5, 3.0] と変えて切削を行った。

表 1 に今回の実験での切削条件をまとめた。なお、2, 7, 12 は同じ条件だが便宜上番号を変えている。

3. 実験結果

3.1 バリ

目視により切削後試験片上のバリや削り残しを観察した。

表 2 試験番号と切削条件の対応

試験片番号	1	2	3	4
切削速度[m/min]	42.39	75.36	108.3	141.3
一刃一回転あたりの送り[mm/tooth]	0.0178	0.0178	0.0178	0.0178
軸方向切り込み深さ[mm]	3	3	3	3
試験片番号	5	6	7	8
切削速度[m/min]	75.36	75.36	75.36	75.36
一刃一回転あたりの送り[mm/tooth]	0.000438	0.00281	0.0178	0.0627
軸方向切り込み深さ[mm]	3	3	3	3
試験片番号	9	10	11	12
切削速度[m/min]	75.36	75.36	75.36	75.36
一刃一回転あたりの送り[mm/tooth]	0.0178	0.0178	0.0178	0.0178
軸方向切り込み深さ[mm]	0.375	0.75	1.5	3

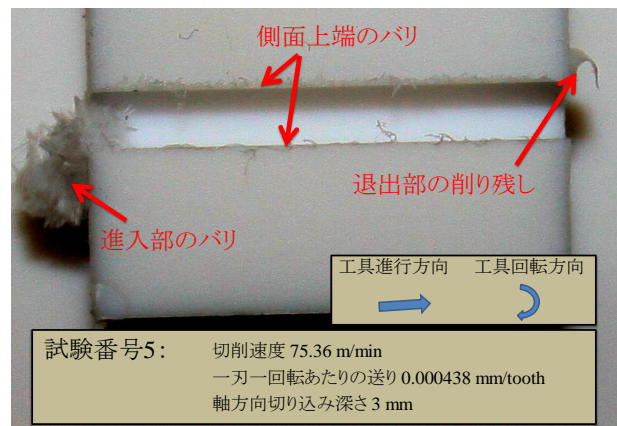


図 2 PTFE 加工後のバリ(真上から観察)

3.1.1 結果

すべての条件において、図 2 のようなシート状の削り残しが退出部のアップカット側に観察できた。また、一刃一回転あたりの送りの小さい試験番号 5, 6 の条件の試験片では、図 2 のように進入部のダウンカット側と側面上端の両側に多量のバリが発生した。切削速度が小さい条件でも進入部のバリは確認されたが、切削速度が大きくなるにつれ見られなくなった。

3.1.2 考察

バリの観察結果より、バリの発生状況は進入部・退出部など各部により異なるため、各部毎の対応が必要である。例えば、退出部にはシート状の削り残しが必ず残ってしまうので、切削後に退出部だけを逆方向から削り直すような処理を施す。一刃一回転あたりの送りが少ない条件では、進入部や加工面側面上端のバリに留意すべきである。

また、バリの発生を抑制するためには、切削速度はできるだけ大きく取り、一刃一回転あたりの送りは適切な値を取ることが必要である。

3.2 算術平均粗さ Ra

3.2.1 結果

図 3 に、計測した切削面から得られた算術平均粗さ Ra の値を試験番号毎にまとめた。

図 3 より、多くの条件で Ra はおよそ 0.8 μm と 1.2 μm の

間の値を取った。最小のRaが得られたのは試験番号6であり、一刃一回転あたりの送りが0.00281 mm/toothと小さい条件下でRaの値は0.158 μm と非常に良い数字が得られた。同様に一刃一回転あたりの送りの小さい試験番号5でもおよそ0.5 μm と小さい値だった。一刃一回転あたりの送りが0.0627 mm/toothと最も大きい試験番号8の条件下では1.653 μm と最大のRaが得られた。また、部位ごとでみると、ほとんどの条件について進入部で最大か最大に近いRaが計測された。

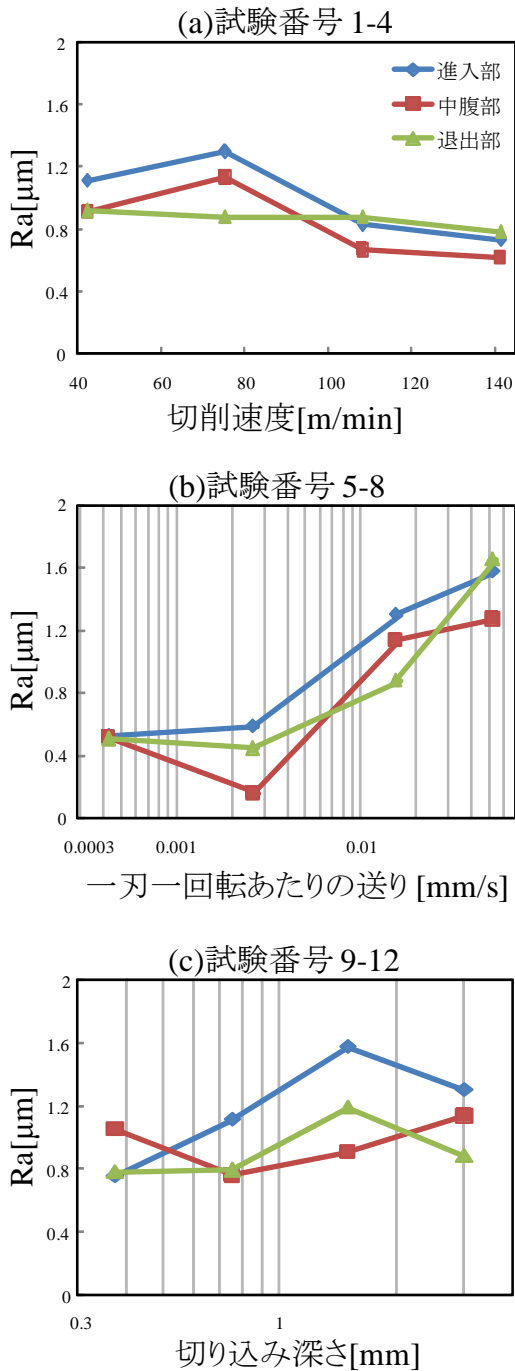


図 3 切削条件毎の算術平均粗さ Ra

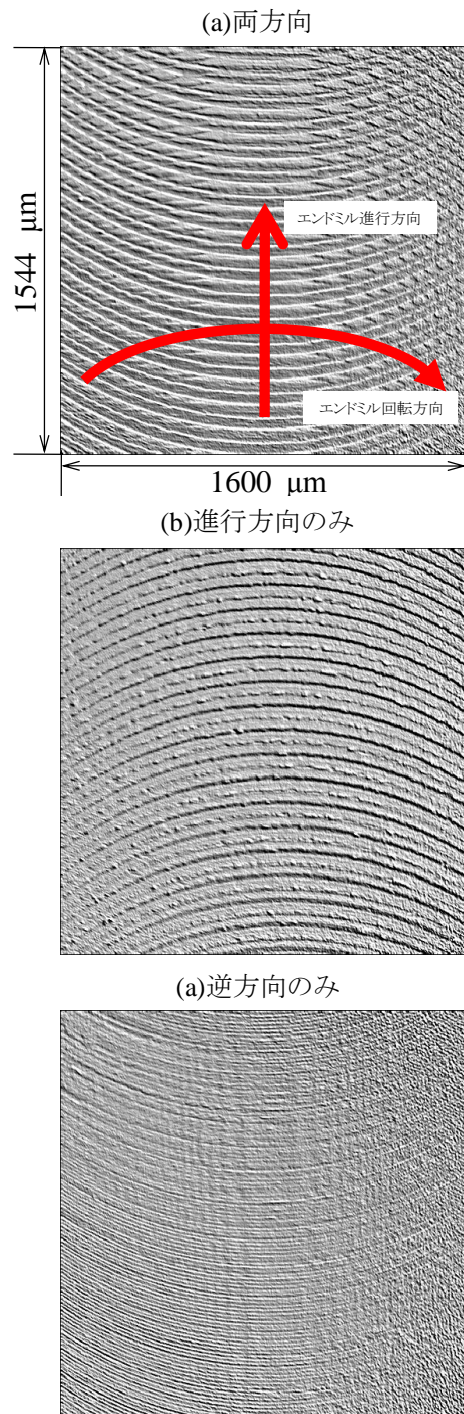


図 4 PTFE 加工面上のカッターマークの形状

3. 2. 2 考察

図 3 より、切削速度や軸方向切り込み深さが変化した場合にも多少の傾向が見られるが、一刃一回転あたりの送りが変化する場合に Ra の値が最も大きく変動することがわかる。特に試験番号 5, 6 と 7, 8 との差は顕著であることから、5, 6 と 7, 8 の条件下での切削では異なる現象が支配的になっている可能性があり、精度の良い結果が得られた 5, 6 で支配的な現象を解き明かすことが良い表面性状を得るための指針になると考えられる。この現象の調査については 3. 3 節で後述する。

3.3 カッターマーク

3.3.1 結果

PTFEの加工面を μ Surfを用いて観察すると、図1に示すように(a)両方向、(b)進行方向のみ、(c)逆方向のみの3パターンのカッターマークが見られた。表2に各試験番号の各部(進入部・中腹部・退出部)で観察されたカッターマークの形状をまとめた。

表2より、両方向のカッターマークはもつとも多くの条件で見られ、特に中腹部では試験番号5, 6, 8以外の条件で観察された。進行方向のみのカッターマークは切削速度・送り・切り込み深さが大きい条件の退出部で見られた他、切削速度の大きい試験番号4の進入部と送りの多い8の全部位で観察された。逆方向のみのカッターマークは送りの小さい試験番号5, 6の条件でのみ観察された。

3.3.2 考察

カッターマークの形状により、切削中に起こっている現象を予想できる。本節では、表2と図3より得られた試験番号5, 6の条件下でのみ観察された逆方向のみのカッターマークが出ている場合について起こっている現象の予想を行う。

図4(c)のような逆方向のみにカッターマークが出ている場合は、まず、図5に示すように切削抵抗によって工具が進行方向に曲げ変形を起こしている可能性が考えられる。工具の曲げ変形には切削抵抗と工具の剛性が深く関わっているので、切削抵抗を計測するか突き出しの長さを変えるなどして工具の剛性を変更し加工面の状態を観測することで曲げが起きているかを確認できると考えられる。

また、図6に示すように切削熱により材料が熱膨張を起こし部分的に変形していた可能性がある。PTFEの線膨張係数は鉄の約10倍かつガラス転移温度は常温付近であるため、20℃付近で約1%体積が増減するともいわれる。したがって、切削熱の影響での表面の数 μ m程度の膨張は十分考えられる。熱膨張の有無は切削中のPTFEの温度変化を計測することで確認できるはずである。

4. 結言

切削条件を変えてPTFEのエンドミル切削を行い、目視によるバリの観察および光学式表面粗さ測定器による加工面の非算術平均粗さの測定と表面の拡大画像の調査をした結果以下の結論を得た。

- (1)PTFEのエンドミル加工物のバリの発生状況は進入部・退出部など各部により異なるため、各部毎の対応が必要である。退出部にはシート状の削り残しが残るので、切削後に退出部だけを逆方向から削り直す。一刃一回転あたりの送りが少ない条件では、進入部や加工面側面上端のバりに留意する。また、バリの発生を抑制するためには、切削速度はできるだけ大きく取る。
- (2)切削速度・一刃一回転あたりの送り・軸方向切り込み深さのうちPTFE加工面の算術平均粗さRaにもつとも大きく影響するのは送りであり、Raを小さくするには送りを小さく取る。

表3 各切削条件・各部位でのカッターマークの方向

試験番号	1	2	3	4
進入部	a	a	a	b
中腹部	a	a	a	a
退出部	a	b	b	b
試験番号	5	6	7	8
進入部	c	c	a	b
中腹部	c	c	a	b
退出部	c	a	b	b
試験番号	9	10	11	12
進入部	a	a	a	a
中腹部	a	a	a	a
退出部	a	a	b	b

a = 両方向カッターマーク

b = 進行方向のみカッターマーク

c = 逆方向のみカッターマーク

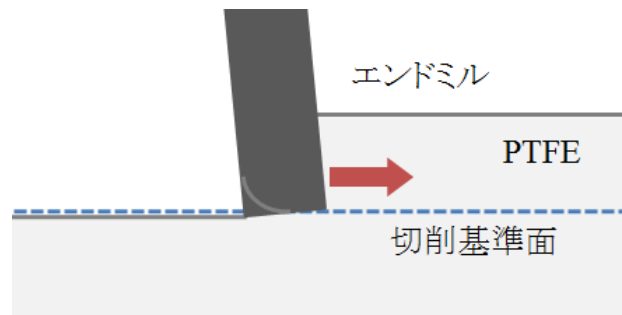


図5 工具の進行方向への曲がり

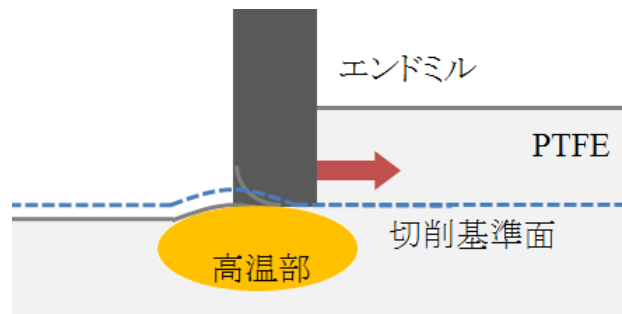


図6 PTFEの熱膨張

(3)カッターマークの形状より、一刃一回転あたりの送りが小さい条件下では、切削中に工具の曲げもしくはPTFEの部分的な熱膨張が起きていると予想される。

5. 参考文献

- 1) A.KOBAYASHI: Mechanism of Chip Formation in Machining Plastics, J.Jpn. Soc. Mech. Eng., 30, 220(1964),1467-1475.
- 2) S.HIRA, M.YOSHIOKA: Fundamental research for microcutting of fluorocarbon resins(Effects of temperature on machining characteristics), J. Jpn. Soc. Abras. Technol., 51, 8 (2007) 488-493(in Japanese).
- 3) Catalin Fetecau, Felicia Stan: Study of cutting force and surface roughness in the turning of polytetrafluoroethylene composites with a polycrystalline diamond tool, Measure, 45,6,(2012), 1367-1379.
- 4) ツールエンジニア編集部: エンドミルのすべて, 大河出版, (1988),45-49.