

熱可塑性 CFRP の切削・研削加工技術の確立（第3報）

柘植 英明、加賀 忠士、萱岡 誠

Establishment of the cutting and grinding processing technology of CFRTP (III)

Hideaki Tsuge, Tadashi Kaga and Makoto Kayaoka

本研究では、熱可塑性 CFRP の切削および研削加工による端面加工（トリム加工）を行い、加工特性の把握と加工に適した加工技術の確立を目指している。昨年度は、熱可塑性 CFRP に適した切削工具の仕様の検討およびダイヤモンド配列砥石を用いた研削加工について加工実験を行った。その結果、切削加工においては、熱可塑性 CFRP に適した工具のすくい角およびねじれ角を把握した。また、研削加工においては、ダイヤモンド配列砥石の加工性能が通常のダイヤモンド電着砥石よりも非常に優れていることが明らかとなった。今年度はこれらの結果から、切削加工においては、トリム加工に適した試作工具を作製し、その加工性能を評価した。また、研削加工については、ダイヤモンド配列が加工性能に及ぼす影響を検討した。

1. はじめに

熱可塑性 CFRP は、量産が必要となる自動車部品等に適した材料として注目されており、実用化に向けた取り組みが数多く行われている¹⁻⁴⁾。熱可塑性 CFRP の成形にはホットプレスが用いられるため、プレス成形後に製品外周部の端面加工が必要となる。しかし、成形後の切削や研削によるトリム加工は製品の固定が難しく、また板厚が薄いことから板厚方向にバタつくことにより、加工面品質が悪化するという問題がある。特に、熱可塑性 CFRP は、樹脂と炭素繊維の複合材料であるために、バリ等の加工欠陥が生じやすい難削材料である。また、熱可塑性 CFRP は、新しい材料であることから、加工に関するデータが十分に蓄積されておらず、切削および研削加工における加工データの収集が不可欠となっている。

昨年度は、熱可塑性 CFRP に適した切削工具の仕様の検討およびダイヤモンド配列砥石を用いたトリム加工について加工実験を行った⁵⁾。その結果、切削加工においては、熱可塑性 CFRP に適した工具のすくい角およびねじれ角を把握することができた。また、研削加工においては、ダイヤモンド配列砥石の研削速度が一般のダイヤモンド電着砥石よりも 20 倍程度高くても研削可能であることが明らかとなった。

そこで本年度は、これらの結果を基に、切削加工においてはトリム加工に適した試作工具を作製して、その加工性能を評価した。また、研削加工において、ダイヤモンド配列が加工性能に及ぼす影響について検討したので、これを報告する。

2. 実験方法

2. 1 実験装置および被削材料

加工実験には5軸 NC 加工機（ヤマザキマザック、VARIAXIS630-5X）を用い、被削材である熱可塑性 CFRP には、BOND LAMINATES 社の TEPEX201を用い

た。切削加工実験においては、厚さ2mm の板材をそのまま用い、研削加工においてはホットプレス（Pinette Emidecau Industries、ONE DOWN-ACTING SINGLE ACTION 500）を用いて、2枚を重ね合わせて4mm 厚に成形した板材を用いた。この試料を、55×45mm の大きさに切断し、固定用の穴を左右に3穴ずつ設けた。作製した試験片の外観を図1に示す。

2. 2 試作した切削工具および加工条件

熱可塑性 CFRP に適した切削工具として、図2に示すような、ねじれ角 $\pm 10^\circ$ 、すくい角 13° 、工具直径 $\phi 12\text{mm}$ の6枚刃超硬エンドミルを試作した。この切削工具は、交互に正負のねじれ刃が配置されており、正のねじれ角は板材を上方向に持ち上げる力が作用し、負のねじれ角は板材を押え付ける方向に力が作用する。本試

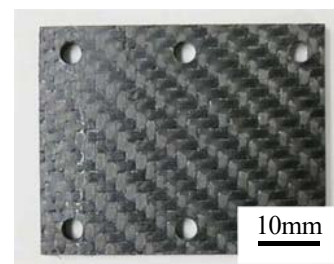


図1 試験片の外観写真



図2 試作した切削工具の外観 ($\phi 12\text{mm}$)

作工具は、これらの力が合算することで板厚方向への力を小さくすることが可能となる。これにより、製品のばたつきを抑制して、良好な加工面に仕上げることが期待できる。

加工条件として、工具回転数を 6000 min^{-1} とし、一刃あたりの送り量を $0.02, 0.1, 0.2, 0.3 \text{ mm/tooth}$ と変化させて実験を行った。比較として、 $\phi 12 \text{ mm}$ 、2枚刃、ねじれ角 30° の一般金属用エンドミルにおいても同様の加工条件にて実験を行った。図3に加工実験の様子を示す。また、熱可塑性 CFRP を用いて成形したオイルパンを製作した専用治具に取り付けてトリム加工を行い、本試作工具を製品へ適用した場合の加工性能を確認した。

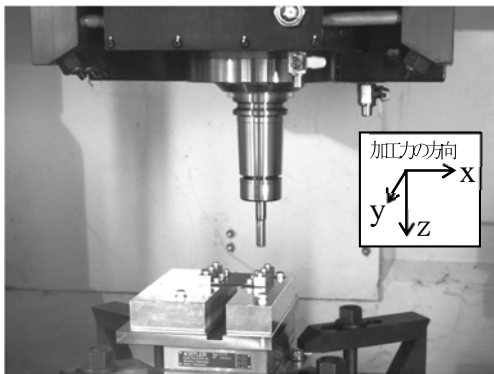
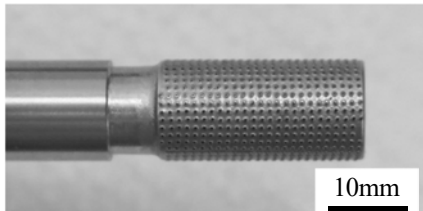
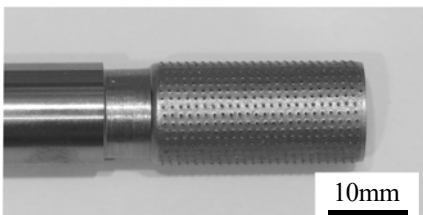


図3 切削加工実験の様子



(a)#60、波型配列砥石



(b)#80、 5.8° 配列砥石

図4 ダイヤモンド電着砥石の外観

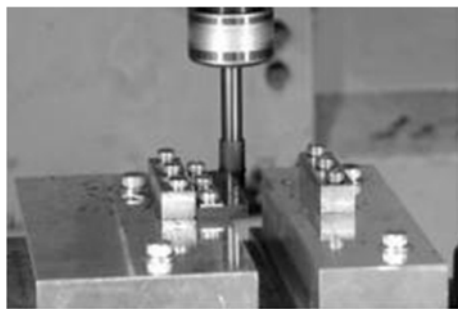


図5 研削加工の様子

2. 3 研削加工工具および加工条件

昨年度、粒度#60のダイヤモンド配列砥石（円周方向に 5.8° の配列：以下、 5.8° 配列砥石）を用いて加工実験を行った結果、同じ粒度の一般的なダイヤモンド電着砥石と比較して、20倍の加工速度においても研削加工が可能であることがわかった。しかし、ダイヤモンド配列と研削性能との関係については検討できていないため、本年度は図4に示すような2種類のダイヤモンド配列砥石について加工実験を実施した。配列方向が加工性能に及ぼす影響を検討するために、粒度#60、砥粒ピッチ 0.8 mm で、配列方向は 90° 毎に円周方向に対して $+5.8^\circ$ および -5.8° となっている工具（以下、波型配列砥石）を用いた。もう1本は、砥粒ピッチが研削性能に及ぼす影響を検討するために、粒度#80、砥粒ピッチ 0.8 mm で、配列方向は円周方向に対して $+5.8^\circ$ となっている工具を用いて実験を行った。

研削加工条件は、径方向切込量を 0.5 mm とし、工具回転数 8000 min^{-1} 、送り速度 4000 mm/min の条件にて加工実験を実施した。図5に加工実験の様子を示す。

3. 結果及び考察

3. 1 試作した切削工具の加工性能

提案する工具を用いたトリム加工（半径方向の切込みは、エンドミル直径と同じ 12 mm のスロットニングで、試験片を2つに分割）における切削実験を行い、加工力を計測した。一例として、切り込み量 0.3 mm/tooth における一般金属用エンドミルと試作工具の板厚方向（z軸方向）に生じる加工力を図6に示す。図から、一般金属用エンドミルにおいては、板厚方向に常に-z方向に -20 N から -80 N の加工力変動が生じているが、試作工具においては -10 N 以下の加工力変動しか生じていなかった。試作工具では、正負のねじれ刃が交互に配置されているため、+z方向と-z方向の力が相殺されて結果として板厚方向の加工力が僅かしか計測されないことが確認できた。

図7に、切り込み量 $0.1 \sim 0.3 \text{ mm/tooth}$ における一般金属用エンドミルと試作工具によるトリム加工面を示す。

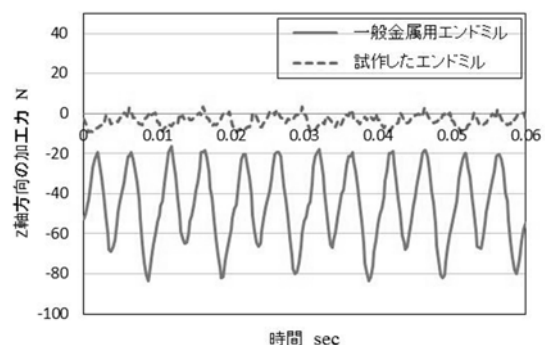


図6 板厚方向における加工力の比較
(工具回転数 6000 min^{-1} 、送り 0.3 mm/tooth)

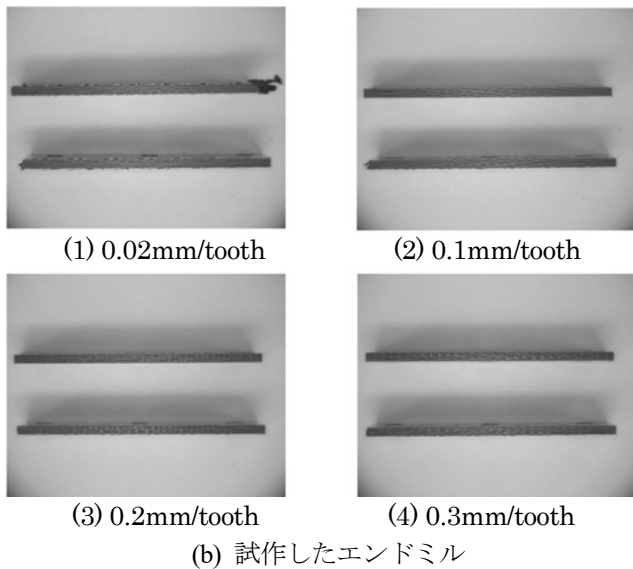
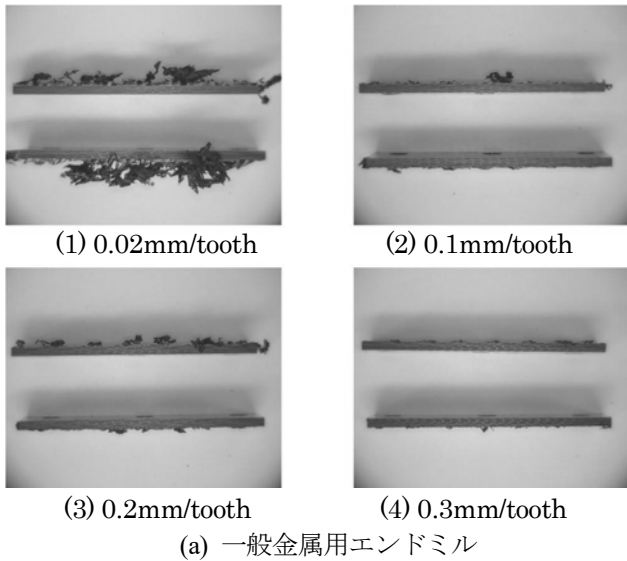


図7 切り込み量と加工面の関係

切り込み量に関係なく、試作工具の方が発生するバリが少なくなっていることが分かる。特に、切り込み量が小さい条件においては、両者に生じるバリに大きな差が生じている。

次に、製品への適用事例として、オイルパンのトリム加工を行った。加工条件は、工具回転数を 6000 min^{-1} とし、送りを 0.2 mm/tooth とし、製品側がダウンカットとなるようにトリム加工を行った。5軸加工機によるトリム加工の様子を図8、トリム加工したオイルパンの外観を図9に示す。試作工具においては、トリム加工終了まで不要な外周部分がほとんどバタつくことなくトリム加工できたのに対して、一般金属用エンドミルでは、不要な外周部分が板厚方向に大きくバタつくことが確認された。また、加工面も図10に示すように、一般金属用エンドミルではバリが生じているのに対して、試作工具ではバリの発生が少ないことがわかる。このことから、試作工具によるトリム加工において、被削材がバタつくこ

となく安定したトリム加工を行うことができ、良好な加工面が得られることが確認された。

3. 2 研削加工におけるダイヤモンド配列砥石の検討

図11に、ダイヤモンド粒度#60の 5.8° 配列砥石と、#60の波型配列砥石において、回転数 8000 min^{-1} 、送り速度 4000 mm/min の加工条件で加工した時の加工面の様子を示す。 5.8° 配列砥石(図11(a))では良好な加工面となっているが、波型配列砥石(図11(b))では、加工面に研削粉が固着していることが分かる。両者の砥石の違いが、配列のみであれば砥粒配列が加工面に影響を及ぼしていると結論付けられるが、両者の砥石における砥粒の接着状況および砥粒形状を確認したところ、両者の砥石に大きな違いが見られた。このため、今回の実験では配列自体が加工性能に及ぼす影響について明確にすることが出来なかったため、今後の課題としたい。

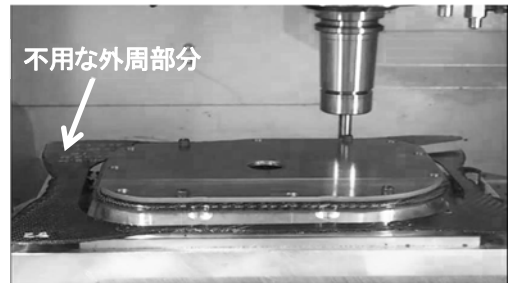
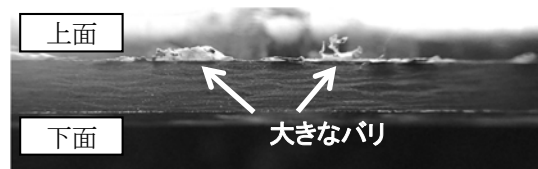


図8 オイルパンのトリム加工の様子



図9 トリム加工後のオイルパンの外観



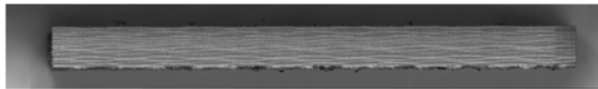
(a)一般金属用エンドミル



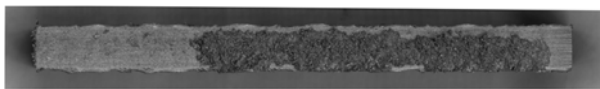
(b)試作したエンドミル

図10 オイルパンにおける加工面の比較

図12に、#80の5.8°の配列で、砥粒配列ピッチが0.6mmと0.8mmの配列砥石において、回転数8000min⁻¹、送り速度4000mm/minの加工条件で加工した時の加工面の様子を示す。図12から、今回の加工条件では、砥粒ピッチが大きい方が良好な加工面となったが、砥粒加工においては、砥粒ピッチが大きくなると加工面粗さが大きくなるため、必要とする加工速度や加工面の粗さによって、砥粒ピッチを決める必要がある。

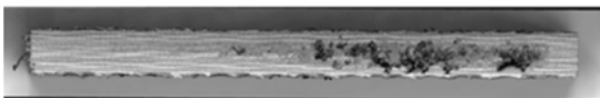


(a) #60、+5.8° 配列砥石

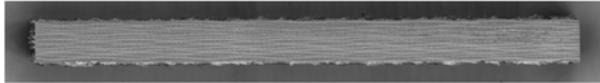


(b) #60、波型配列砥石

図11 ダイヤモンド配列砥石による研削加工面
(工具回転数8000min⁻¹、送り速度400mm/min)



(a) #80、ピッチ0.6mm、



(b) #80、ピッチ0.8mm

図12 ダイヤモンド配列砥石による研削加工面
(工具回転数8000min⁻¹、送り速度400mm/min)

4. まとめ

熱可塑性CFRPの切削および研削加工によるトリム加工実験を行った結果、下記の結論を得た。

- 1) 試作工具は、板厚方向にかかる加工力を抑制することで、バリが少ない良好な加工面になることが確認できた。なお、本工具については、共同研究先の(株)エムテックと実用新案を出願した。
- 2) 砥粒配列砥石による研削加工においては、砥粒ピッチが0.6mmよりも0.8mmの方が、良好な加工面となることが確認できた。しかし、砥粒配列については、加工面性状に及ぼす影響を明らかにすることができず、今後の課題として残された。

熱可塑性CFRPは、樹脂の種類や炭素繊維の配合率、繊維の強度等によって大きく加工条件が異なるため、特定の熱可塑性CFRP材等に適した切削工具の仕様および加工条件について個別に対応する必要がある。

【謝 辞】

本研究の切削工具の開発は、株式会社エムテック様との共同研究により実施しました。ご協力を頂きました皆様に深く感謝申し上げます。

【参考文献】

- 1) 小松隆, 自動車の軽量化とCFRP, プレス技術, Vol.51, No.7, pp27-31, 2013
- 2) 加賀, 安藤, 岐阜県工業技術研究所研究報告, No.1, pp24-27, 2013
- 3) 前田豊, 炭素繊維の応用と市場, シーエムシー出版, (2008) 103.
- 4) 柘植, 加賀, 萱岡, 岐阜県工業技術研究所研究報告, No.2, pp39-42, 2014
- 5) 柘植, 加賀, 萱岡, 岐阜県工業技術研究所研究報告, No.3, pp49-52, 2015