

熱可塑性 CFRP の切削・研削加工技術の確立 (第1報)

柘植 英明、加賀 忠士、萱岡 誠

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

Hideaki Tsuge, Tadashi Kaga and Makoto Kayaoka

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)を実施し、熱可塑性 CFRP の加工特性を把握するとともに、熱可塑性 CFRP の加工に適した加工技術の確立を目指す。今年度は、ダイヤモンドコーティング超硬エンドミルを用いたトリム加工における冷却の影響およびダイヤモンド電着砥石を用いたトリム加工について基礎的な検討を行った。その結果、切削加工においては、加工条件と加工面性状について把握することができたが、冷風による明らかな効果は見られなかった。研削加工においては、回転数および送り速度が大きくなると、工具に樹脂が溶着することにより加工が困難になることがわかった。

1. はじめに

熱可塑性 CFRP は、板材を加熱後にプレス成形することにより、短時間で製品形状を付与することができる。このため、コストを抑えることが必要不可欠な自動車部品等の量産部品に適した材料として注目されており、実用化に向けた研究が盛んに行われている^{1)~3)}。しかし、プレス成形後に製品外周部の端面加工が必要となるが、熱可塑性 CFRP は、熱硬化性 CFRP と同様に工具摩耗やバリ等の欠陥が生じやすい材料である。さらに、加工時の発熱によりマトリックス樹脂が溶融して、所定の形状確保が難しくなることや、工具への溶着により加工性能が低下するといった熱可塑性 CFRP 特有の問題が考えられる。また、熱可塑性 CFRP は、近年注目されてきた新しい材料であることから加工データは皆無なため、切削および研削加工における加工データの収集が必要となっている。

そこで本研究では、熱可塑性 CFRP の切削加工および研削加工によるトリム加工を行い、熱可塑性 CFRP の加工特性を把握するとともに、熱可塑性 CFRP の加工に適した加工技術の確立を目指している。本年度は、ダイヤモンドコーティング超硬エンドミルを用いたトリム加工における冷風の効果およびダイヤモンド電着砥石を用いた研削加工によるトリム加工の基礎的な実験を実施したので報告する。

2. 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、熱可塑性 CFRP は、BOND LAMINATES 社の TEPEX201を用いた。この熱可塑性 CFRP の主な仕様は表1のとおりである。この材料は板厚が2mm であるため、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 の板厚にした。この試料を、55×45mm の大きさに切断し、さらに固定用の

穴あけ加工を行ってトリム加工実験用の試験片を作製した。作製した試験片の外観写真を図1に示す。

3. 実験方法

3. 1 切削加工における冷風の影響

本実験に用いた熱可塑性 CFRP の樹脂材である PA66 は、融点が 265℃と低く、熱変形温度はさらに低いため、加工時に発生する加工熱により溶融・変形する可能性がある。これにより、被削材にバリが発生することや工具への溶着により加工性能が低下することが懸念される。そこで、冷風発生装置を用いて冷風を試料にあてながら加工する手法の有効性を検討した。

加工実験では、切削動力計の上部に試験片を固定する治具を取り付け、冷風が試験片の中央付近にあたるように風向を調整した。加工実験の様子を図2に示す。工具は、φ12 のダイヤモンドコーティング超硬エンドミルを使用した。用いたエンドミルの主な仕様を表2に示す。

表1 被削材料の主な仕様

繊維	樹脂	繊維体積比	引張強度
カーボン	PA66	45%	785MPa



図1 試験片の外観

加工実験は、固定した試験片をエンドミル側面で二つに切断し(半径方向の切込みは、エンドミル直径と同じ12mmのスロッシングで、且つ完全にエンドミルを貫通)、その加工面を評価した。なお、冷風は気温に対しておおよそ15℃程低い冷風を発生する条件に設定した。加工条件は、回転数を6000、9000、12000、15000min⁻¹とし、送り(1刃あたりの切込量)を、0.02、0.05、0.1、0.2、0.3、0.4、0.5mm/toothと変化させて加工実験を行った。表3に加工実験条件を示す。

切削力および研削力の測定には、3軸方向の加工力を計測することができる切削動力計(キスラー、9257B)を用いた。また、加工面の評価として、マイクロSCOPEによる観察と、加工面粗さ(算術的平均粗Ra)の測定を行った。

3. 2 研削によるトリム加工

熱硬化性CFRPのトリム加工ではバリが発生するために、ダイヤモンド電着工具や超硬等のルーターを用いて仕上げ加工を行っている。熱可塑性CFRPの加工においてもバリが発生するため、仕上げ加工が必要となる。今年度はダイヤモンド電着工具による仕上げ加工の可能性について基礎的な検討を行った。用いたダイヤモンド電着工具は、直径φ10mm、ダイヤモンド粒度は#60である。トリム加工実験は径方向の切込みを1mmとし、表4に示す加工条件で加工実験を行った。

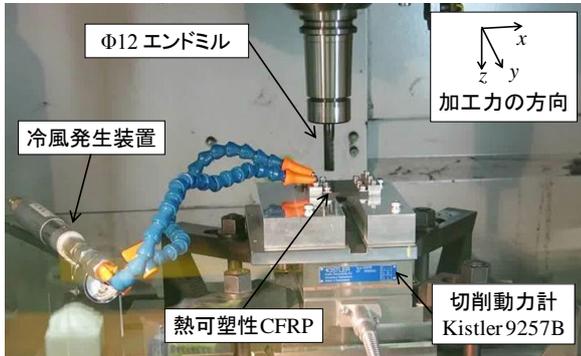


図2 加工実験の様子

表2 エンドミルの仕様

工具材種	超硬(ダイヤモンドコーティング)
直径	12mm
刃数	4枚刃
すくい角	12°
ねじれ角	10°

表3 加工実験の条件(切削加工)

回転数[min^{-1}]	6000、9000、12000、15000
送り[mm/tooth]	0.02、0.05、0.1、0.2、0.3、0.4、0.5
冷却方法	有/無

表4 加工実験の条件(研削加工)

回転数[min^{-1}]	1000、2000、4000
送り速度[mm/min]	50、100、200
ダイヤモンド粒度	#60

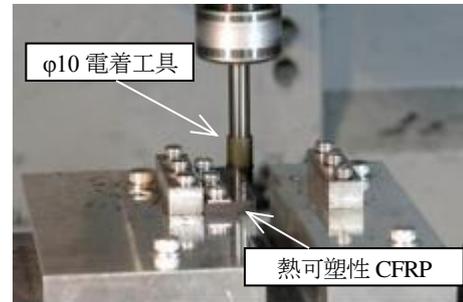
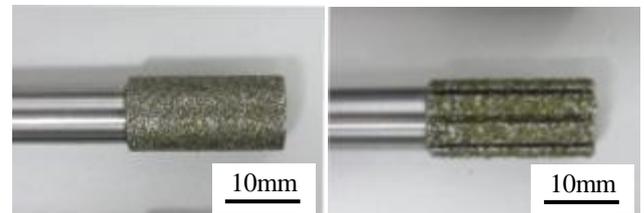


図3 研削加工の様子



スリット無し(#60) スリット有り(#40)

図4 電着工具の外観

図3に研削加工実験の様子を示す。また、比較として、工具に深さ1mm、幅1.5mmのスリットを設けた工具とスリット無しの工具(ダイヤモンド粒度#40)を用いて、工具回転数2000min⁻¹、送り速度100および200mm/minの加工条件にて加工特性の差異を比較した。図4に用いた電着工具の外観写真を示す。

4. 結果及び考察

4. 1 切削加工における冷風の影響

図5に、一例として0.1および0.4mm/toothにて切削加工した場合の加工面の様子を示す。加工面はエンドミルの送り方向に対して左側の加工面がダウンカット、右側がアップカットとなる。図からダウンカットとアップカットでは加工面性状に大きな差は見られなかった。

切削加工による切りくずを図6に示す。送りが大きくなるにしたがって切りくずが溶融していることがわかる。また、図7に示すように、15000min⁻¹、0.1mm/toothの加工条件における切りくずには、冷風の有無による差異は見られなかった。

加工面粗さについては、図8に示すように送りが0.1mm/toothまではRa値が1μm以下であるが、送りが0.2mm/toothからはRa値が1μmを超え、その後は送りが大きくなって粗さに変化は見られなかった。熱可塑性CFRPの場合、樹脂の溶融によって表面が平滑化され加工面粗さが改善されるために、送りが大きくなって粗

さが大きくなると考えられる。

図9に切削加工における平均切削力を示す。この平均切削力は、加工中のXYZ方向の切削力の合力を算出し、平均した加工力である。図9から、冷風がある場合の方が僅かに平均切削力が大きくなっているが、有意な差があると判断することは難しい。以上から、冷風の有無による差異については、図7の切りくずの様子、図8の加工面粗さおよび図9の平均切削力から、今回の加工条件においては冷風の明らかな効果は見られなかった。しかし、今回と異なる加工条件や工具の耐久性については、冷風が有効である可能性があるため、今後は必要に応じて検討を行う。

4. 2 研削によるトリム加工

研削によるトリム加工における加工面の一例として、

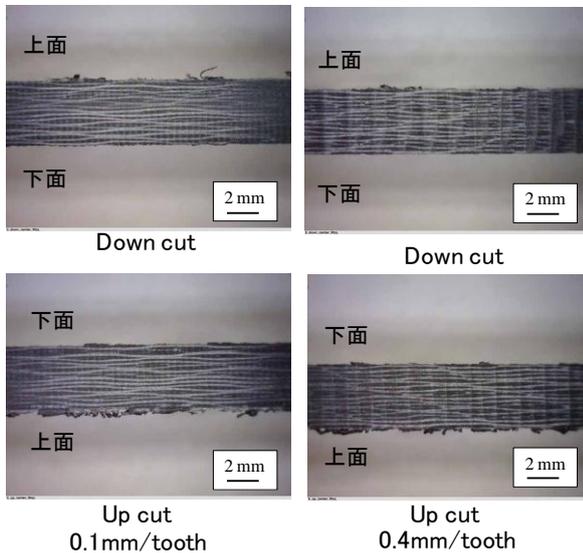


図5 加工面の様子



図6 送り変化による切りくずの様子
(回転数一定：6000min⁻¹)

図10に単位回転あたりの送りが同じになる工具回転数1000min⁻¹、送り速度50mm/minと工具回転数2000min⁻¹、送り速度100mm/minおよび工具回転数4000min⁻¹、送り速度200mm/minにおける加工面の様子を示し、図11に加工後の電着工具の作用面(白枠内)を示す。単位回転あたりの送りが同じであっても、工具回転数および送り速度が高くなるほど、熔融した樹脂が工具に付着し、研削加工が困難となる。このことから、熱可塑性CFRPの研削加工では、加工速度を上げることによって発生する加工熱が大きくなるため、加工速度を高くすることが困難であると言える。加工熱の発生要因としては、加工条件と工具の仕様が考えられるため、今後更に検討する必要がある。

工具の目づまりが加工性能に及ぼす影響について検討するために、スリット有および無し電着工具を用いて、工具回転数2000min⁻¹、送り速度100および200mm/minの条件で加工実験を行ったところ、スリットの有無に関



図7 冷風の有無による切り屑の相違

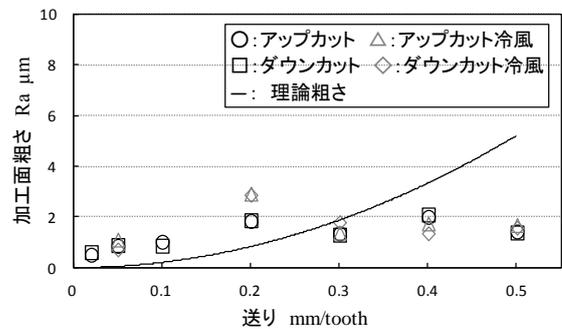


図8 送りと加工面粗さの関係

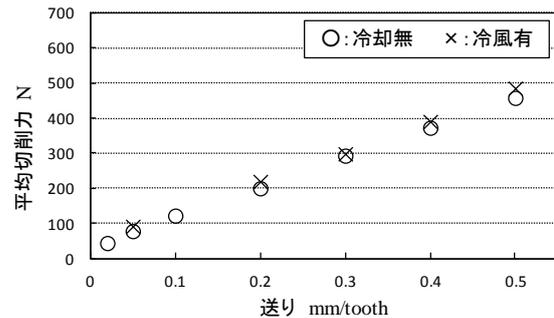


図9 送りと切削力の関係



a) 工具回転数 1000 min⁻¹、送り速度 50mm/min

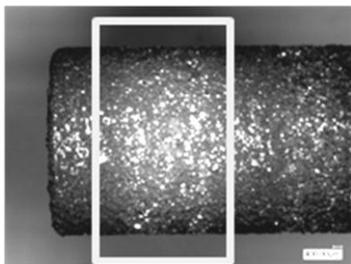


b) 工具回転数 2000 min⁻¹、送り速度 100mm/min

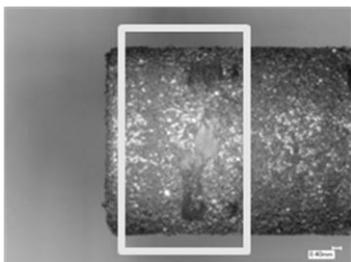


c) 工具回転数 4000 min⁻¹、送り速度 200mm/min

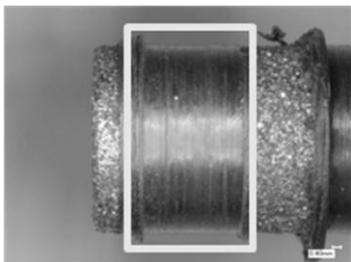
図 10 研削加工面および加工後の工具の様子
(※加工方向は左から右。)



a) 工具回転数 1000 min⁻¹、送り速度 50mm/min



b) 工具回転数 2000 min⁻¹、送り速度 100mm/min



c) 工具回転数 4000 min⁻¹、送り速度 200mm/min

図 11 工具作用面の様子

表 5 加工面粗さ Ra μm

送り速度 回転数	50	100	200
1000	11.4	8.0	-
2000	-	11.4	×
4000	-	×	×

係無く回転数が大きくなると加工面にケバが発生した。このことから、切りくずの排出が加工性能に大きく影響を及ぼしているとは考えにくく、樹脂の熔融により徐々に作用面に切りくずが溶着することの影響が大きいと考えられる。

加工面粗さを測定した結果を表 5 に示す。ここで、表中の‘×’はケバが中央付近に発生したために粗さ測定ができなかった試料である。粗さを測定することができた 3 つの加工条件については、Ra 値が 8~12μm の範囲内であり、加工条件による差異は見られなかった。加工力については、ケバ立ち無が発生することなく加工できた工具回転数 1000 min⁻¹、送り速度 50mm/min の加工条件では、x 方向の最大加工力が 49N であったのに対して、ケバが発生した条件では徐々に加工力が増加し、最大加工力は 100N を超えた。

以上から、熱可塑性 CFRP の研削加工では、加工によって発生する熱を抑える工夫が必要となるため、今後更に加工による熱を抑制できる加工条件および工具仕様について検討する必要がある。

5. まとめ

熱可塑性 CFRP のトリム加工について切削および研削による加工実験を行った結果、下記の結論を得た。

- 1) 切削加工においては、加工条件と加工面性状について把握することができたが、本実験条件では冷風による明らかな効果は見られなかった。
- 2) 研削加工においては、加工によって発生する熱により樹脂が工具に溶着することで加工が困難となり、加工面にケバが発生する。

今後は、他のマトリックス材料の熱可塑性 CFRP についても検討し、加工面性状に優れた高効率な加工条件について検討していく予定である。

【参考文献】

- 1) 前田豊:炭素繊維の応用と市場,シーエムシー出版, 2008
- 2) 伊牟田守:航空機用構造材料の技術研究開発動向, SOKEIZAI,51,11, 2010
- 3) 加賀、安藤,岐阜県工業技術研究所研究報,No.1, pp24-27,2013