

CFRP 加工におけるエンドミルの評価

熊谷 琢

a) 東北大学 総合技術部 工学部・工学研究科技術部 製作技術班 機械工作第2分室

1. はじめに

近年、炭素繊維と樹脂を掛け合わせた CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastics) という複合材料は、航空・宇宙、自動車産業で多く利用されており、私が所属する機械工作第2分室に於いても加工依頼が年々増加している。CFRP は金属材料と比較して高強度で軽量という機械的性質に優れている一方で、加工中は大きな摩擦や断続切削などによる工具摩耗を引き起こし、切削工具の不良により作業時間の増加や品質低下を招くことになる。今回の評価の目的は、材質や表面処理の異なるエンドミルで CFRP を実際に加工し、刃先の摩耗状態と加工後の表面仕上がりを比較し評価すること。また CFRP の加工に対する技術と知識を習得して加工品質を向上し高度な研究支援に繋げることを目的とする。

2. 評価手順

CFRP 加工に最適なエンドミルを検討するために、以下の手順で評価を行った。

1. 加工材料・エンドミルの選定
2. 加工形状及びNCプログラムの作成
3. CFRP 切削加工
4. エンドミル及び加工物の観察
5. 比較評価

3. 選定工具及び加工材料について

前提条件として、依頼を受けている CFRP 加工を想定した検証とする。エンドミルの刃径は 3mm で使用している工具とは異なる材質やコーティング (表面処理) を用いられている 8 種類のエンドミルを選定した。通常使用している AlCrN コーティングの超合金エンドミルを中心に選定した。ダイヤモンドコーティング (以下 DC と記す) は CFRP 加工に推奨されている。その一方で、価格が高価なため比較的安価で入手しやすい工具に関しても選定した。また、DC 以上に高価で硬度や耐摩耗性が非常に高い PCD 素材のエンドミルも比較加工に加え

た。CFRP 材料に関しては、熱硬化性樹脂であるエポキシ樹脂が複合された CFRP 材料とした。板厚は 3mm で繊維方向は一方向材ではなく 0°, 90°交互に積層してある CFRP 材料を選択した。

4. 加工条件

実際の加工には、機械工作第2分室で所有している NC フライス盤 AEV4A-85 (牧野フライス社製) を使用した。切削条件に関しては、使用する NC フライス盤の最高主軸回転速度である 4000 min^{-1} で設定している。送り速度に関しては、使用している条件に近い値で設定した。材料の固定はベースプレートを土台に用いてクランプバーで固定した。主に依頼を受ける切り抜き加工を想定して試験片 (180mm×15mm) 5 枚を切り抜いた。加工手順は、図 1 に加工後の材料と示す。CFRP 材料を固定する都合上①、②と分割している。①、②の間ではクランプバーの付け替えをしている。切削中は、冷却と潤滑目的に使用する切削クーラントの塗布は材料に対する影響の懸念があり行っていないためエアブローのみでの切削を行った。

- ・主軸回転速度 : 4000 min^{-1}
(切削速度 37.7m/min)
- ・送り速 : 600 (4 枚刃), 450 (3 枚刃),
300 (2 枚刃) mm/min
- ・切込み深さ : 1.5 mm×2 回
- ・加工方向 : アップカット

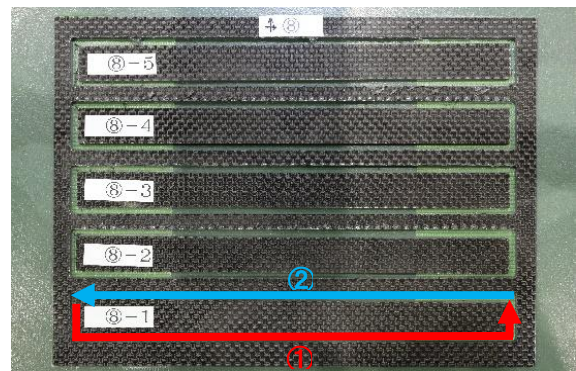


図 1 : 加工後の CFRP 板と加工手順

表 1 試験片の仕上がり比較表

エンドミル					CFRP 加工面の比較					
No	材質	コーティング	刃数	工具摩耗	1 枚目	2 枚目	3 枚目	4 枚目	5 枚目	段差(μm)
1	超硬	AlCrN	4	大	◎	○	△	△	×	50
2	超硬	ノンコート	4	大	◎	○	△	△	×	53
3	超硬	CrN	2	大	△	×	×	×	×	67
4	超硬	DLC	3	大	○	△	△	×	×	-
5	超硬	DC	2	少	◎	◎	○	○	○	74
6	超硬	DC	3	少	○	○	○	○	○	-
7	超硬	DC	4	ほぼ無	◎	◎	○	◎	○	44
8	PCD	ノンコート	2	大	◎	◎	◎	◎	◎	-

※切削面角部の状況（不良：バリやデラミネーション等）

◎：不良がない ○：不良がほとんどない △：不良が少しある ×：不良が多くある

5. 工具摩耗と切削面の比較

エンドミル刃先と CFRP 加工面を測定顕微鏡（ミツトヨ社製 MF-UA1010C）とデジタル一眼レフカメラ（Nikon 社製 Z7II）を使用して観察した。評価に使用したエンドミルと CFRP 切削面の比較及び工具の摩耗具合を表 1 に示す。比較した結果として刃先の消耗に関しては、DC4 枚刃の消耗が最も少なかった。加工した試験片角部のバリやデラミネーション等の不良に関しては、それぞれ特徴があり 1 枚目から不良が存在しているものや徐々に存在しているものなど不規則であった。推測としては、1 枚目から不良があるものは根本的に CFRP の切削に不向きであると思われる。2 枚目以降変化があるものに関しては、エンドミルの CFRP に対しての耐久性の差になると推測される。全ての工具を比較した結果として PCD 素材のエンドミルを使用した場合が 5 枚全ての試験片に対して加工面や角部にバリやデラミネーション等の目立った欠損がなかった。また加工した試験片の加工面に発生した段差の測定も行った。切込み深さ（高さ方向）を 1.5mm ずつ 2 回に分けて加工しているため上下で段差が付く場合があるためである。原因として考えられるのは、切削工具の著しい摩耗による影響である。全工具で最大で 74μm の切削面の段差が発生した。選定したエンドミルの中では、DLC、DC、PCD での加工面にはほとんど段差はみられなかった。

6. 成果

表 1 での結果の通り、全体的には DC のエンドミルが刃先の消耗と切削面の不良も少ない。また PCD

のエンドミルは加工した試験片が優れている結果であった。しかし PCD のエンドミルに関しては、加工後の刃先に摩耗があるため今回の切削距離以上での耐久性には懸念がある。また工具自体の価格が日頃使用している工具の 50 倍程価格が高いことである。そのため選定には要求される加工精度や仕上がりを考慮して費用対効果を見極めなければならないと思われる。

7. まとめ

今回目的としていた複数の異なるエンドミルを用いて CFRP を切削して工具摩耗や加工面の比較・評価をすることができた。今まで工具選択の判断材料がないために消耗しやすい工具を複数回交換して効率を落とすことや加工物に高い寸法精度を必要とする場合などに今回の比較結果を状況に応じて工具選定に利用することが可能となった。このことで加工効率と品質の向上に繋がり今後の教育・研究支援に対する貢献になるであろうと思われる。また、今回はエンドミルの切削条件を工具比較の観点から一定にしていた。だが適切な条件を見つけることでより良い結果を得られる可能性がある。今後は切削条件によつての変化も比較検証して行きたい。

謝辞

今回の取り組みは、令和 5 年度東北大学工学研究科・工学部技術職員技術開発助成を受けて行ったものであり、ご指導ご鞭撻いただいた皆様に謝意を表します。