

CFRP および難削性金属材料の加工技術の開発(第 1 報)

—CFRP の効率的エンドミル切削加工技術の研究—
CFRP の切削加工における基礎的加工条件の把握

水江宏*・橋口智和*

*機械・金属担当

Efficient Cutting Technology of CFRP (The 1st)

Hiroshi MIZUE*・Tomokazu HASHIGUTI*

*Mechanical and Metallurgical Engineering Gr.

要 旨

CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic=炭素繊維強化プラスチック)に対し、市販の超硬合金エンドミルおよびドリルを用いて穴加工実験を行い、切削抵抗・工具摩耗・加工穴の品質について調べた。汎用タイプの超硬合金ドリル・エンドミルと比較して、ダイヤモンドコーティングが施された工具は刃先の摩耗が少なく長寿命であり、切削抵抗が低く保たれ、加工穴の品質が高いことが確かめられた。

1. はじめに

CFRP は、炭素繊維を樹脂によって成形した複合材料であり、鉄と比較すると比重は 1/4 以下、比強度は 8 倍以上と優れた性質を有している。現在、航空機やレーシングカー、スポーツ用品、高級車などに適用範囲が広がっており、普及価格帯の自動車部品などへの使用が期待されている。

一方カーボンファイバーはジュラルミンなどの金属材料と比較して重量当たり単価が高く、また、成形時間もかかるといった問題のほか、成形後の切削加工においては、カーボンファイバーが工具摩耗を増大させ、樹脂材のは

く離などによる加工品質の低下などが問題となっている。

本テーマでは、成形後の後工程で必要となる切削加工について、市販のエンドミル・ドリルを用いて穴加工実験等を行い、工具の長寿命化、加工品質の向上を目指す。

使用した工具は、Table 1 に示すとおり超硬合金を母材とした市販工具 4 種類である。今回は、汎用タイプの超硬ドリル B を基本工具として、その他の工具との比較を行う。Tool A,B はダイヤモンドコーティング無、Tool C,D はダイヤモンドコーティング有である。Tool D は CFRP 加工用である。

Table 1 Tools specification

Tool	Diameter (mm)	Specification
A	Endmill 5.0	Two-flute Square end cutting edge Cemented carbide (Al,Ti)N coating Flute length 20mm
B	Drill 6.0	Cemented carbide Cr coating Point angle 140° Normal type
C	Drill 6.0	Cemented carbide, Diamond coating Point angle 120°
D	Drill 6.0	Cemented carbide, Diamond coating for CFRP Point angle 90°

2. 実験方法

被削材となる CFRP は、カーボンファイバーに東レ社製 T700 を使用し、上下面の表層に 0° /90° 平織を 1 層ずつ、内層として UD(ユニダイレクショナル材=単方向

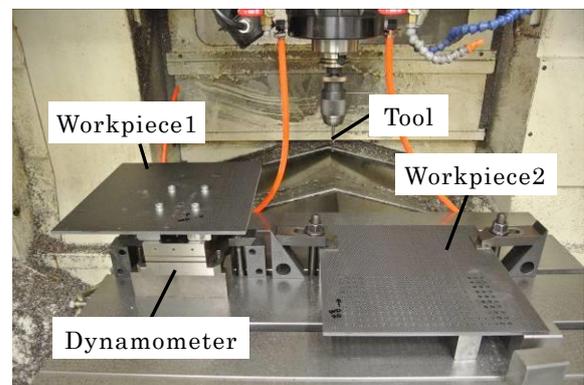


Fig.1 Setup for experiment

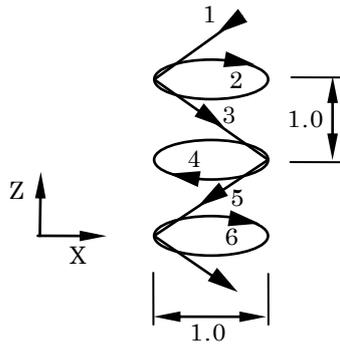


Fig.2 Cutting pass for tool A

Table 2 Cutting conditions

Cutting conditions	Tool A	Tool B,C,D
Cutting speed m/min	60	60
Rotational speed min ⁻¹	3820	3183
Z-direction Feed rate mm/rev	0.05	0.05
Cutting direction	Up cut	-
Workpiece	CFRP	CFRP
Workpiece thickness mm	6.0	6.0
Coolant	Dry	Dry

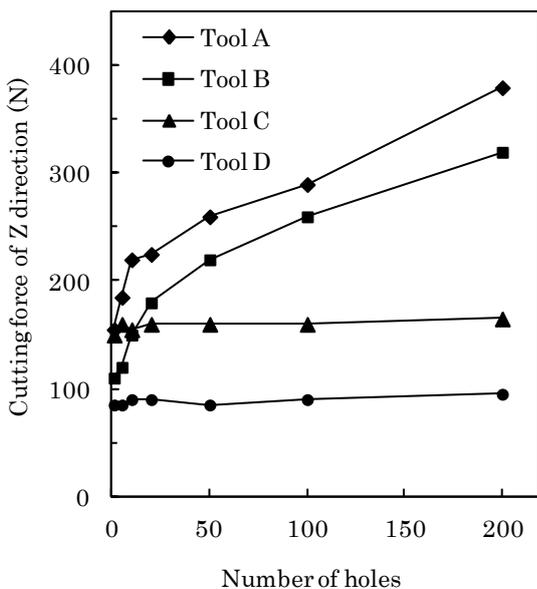


Fig.3 Relation between number of holes and cutting force

材)を $0^\circ / 90^\circ / 45^\circ / -45^\circ$ を複数積層し、熱硬化性樹脂で厚さ 6mm に成形したものである。

加工実験の構成を Fig.1 に示す。安田工業製マシニングセンターYBM850V の加工テーブル上に、キスラー製 3 成分工具動力計 9257B を固定し切削抵抗を測定した。加工液は使用せず、吸塵装置により切りくずを排出した。

加工条件を Table 2 に示す。エンドミル(Tool A)の工具パスを Fig.2 に示す。エンドミルでは、はじめに Z 方向の切込みと同時に直径方向に移動させ、次にその深さにおいて円弧切削を行う。これを繰り返し穴を貫通させた。直径 5.0mm のエンドミル Tool A で直径 1.0mm の円弧切削を行い、穴直径 6.0mm とした。

ドリル(Tool B,C,D)では、ステップ送りは行わず等速直線運動のみとし、直径 6.0mm の穴加工とした。

全ての工具で、200 穴まで貫通穴加工を実施し、切削抵抗・工具摩耗状態・穴の入口出口の状態を取得・観察・評価した。

3. 実験結果

3.1 切削抵抗

Fig.3 に加工穴個数と Z 方向の切削抵抗の関係を示す。Tool A,B は、加工穴数の増大に従い切削抵抗は増加した。一方、Tool C,D は、1 穴目から 200 穴目まで大きな変化は確認されなかった。Tool C,D に施されたダイヤモンドコーティングの効果と思われる。

Table 3 に 1 穴加工中の時間変化に対する Z 方向の切削抵抗の変化を示す。Tool A では、直径方向のくり広げの工程が必要なため、通常のドリル加工の 3 倍程度の時間を要している。Tool C,D では、切削抵抗の変動幅も小さく安定した加工が行われていることが分かる。特に CFRP 専用工具 Tool D では顕著である。

3.2 工具摩耗

Fig.4 に加工穴個数と逃げ面摩耗幅の関係を示す。Tool A,B は、加工穴数の増大に従い急速に逃げ面摩耗が進行した。一方、Tool C,D は、1 穴目から 200 穴目まで緩やかに増大した。ダイヤモンドコーティングの効果と思われる。なお、本グラフは、1 穴目終了時の逃げ面形状を基準とし(逃げ面摩耗幅=0)として、以降の逃げ面摩耗幅を計測している。

Table 4 に刃先の逃げ面の状態を示す。Tool A,B の刃先の摩耗表面は、カーボンファイバーで研磨され光沢面を生じている。また、Tool D では、摩耗の進行がほとんど確認されない。全ての工具でチップングなどは確認されない。

Table 3 Cutting force of Z direction

Number of holes	Tool A	Tool B	Tool C	Tool D
1st				
10th				
50th				
100th				
200th				

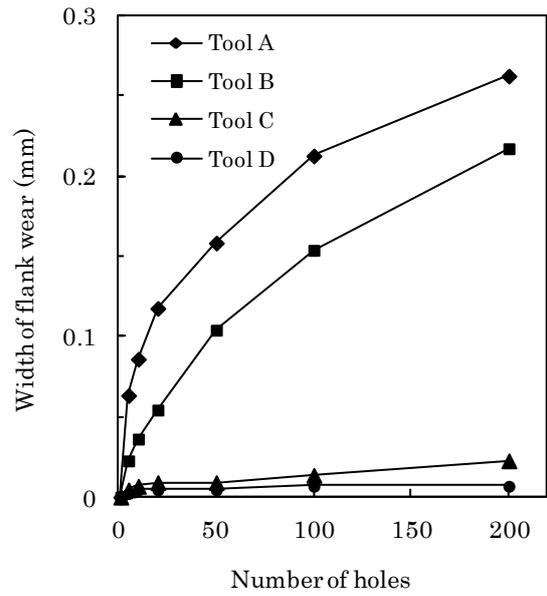


Fig.4 Relation between number of holes and flank wear

Table 4 Conditions of cutting edge

Number of holes	Tool A End cutting edge	Tool B Major cutting edge	Tool C Major cutting edge	Tool D Major cutting edge
1st				
10th				
50th				
100th				
200th				

3.3 穴の状態

Table 5 に穴入口・出口での剥離の大きさと発生頻度についてまとめた。この結果は穴の品質を目視により確認したものである。剥離の半径方向の大きさはおおむね 0.5mm 以上のものを剥離とする。そのなかで「L」の剥離とは表層平織りの 1 ストランドの幅の 1/2 以上が剥離したのも、「S」は剥離の幅が 1 ストランドの幅の 1/2 未満のものとする。小さなファイバーの浮き上がりも「S」に含める (Fig.5 参照)。削り残しの不良は含めない。

Tool A の入口側の剥離は、S は 6 穴目から時々発生が確認され、100 穴以上ではほぼすべての穴で発生する。L は 100 穴目前後から発生し始め、120 穴以上ではほとんど発生する。また、出口側の剥離は、S はごく初期穴から確認される。L は 10 穴目程度から発生し始め、100 穴目以降では多く確認される。側面加工により、穴入口部で多くの剥離が生じたと思われる。

Tool B の入り口側の剥離は、S は初期から確認されるが 200 穴まで発生頻度は多くない。L は確認されない。出口側は、S は初期から頻出し、L は 30 穴前後から発生し始め、100 穴以降は多くの穴で確認されるようになる。

Tool C の入り口側の剥離は、ごく稀に S が発生する程度である。出口側は、S は初期の段階から多く確認される。L は時々発生する。

Tool D の入り口側の剥離は、S が時々発生する。出口側は、稀に S が発生する。

Table 5 Delamination size and frequency

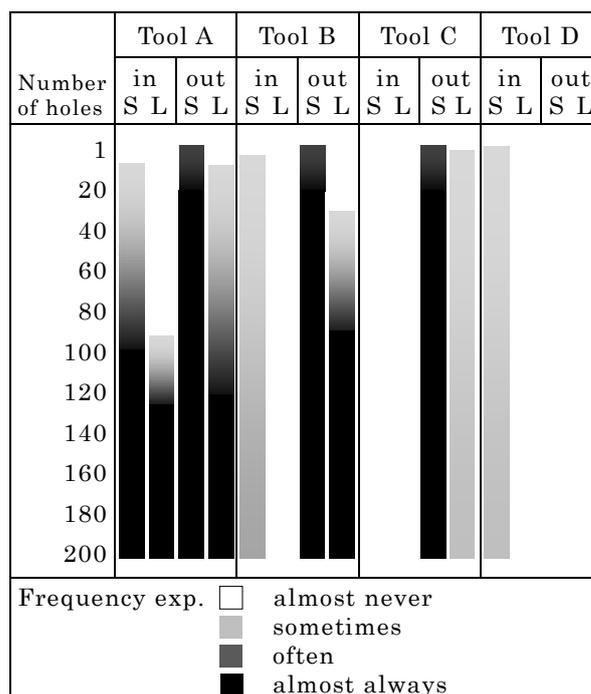


Table 6 Conditions of hole (Hole diameter: 6mm)

Number of holes	Tool A		Tool B		Tool C		Tool D	
	in	out	in	out	in	out	in	out
1st								
10th								
50th								
100th								
200th								

Table 6 に穴入口出口側の写真を示す。剥離の状態はばらつきが大きく、前後の穴で品質が大きく異なることがあることに留意してほしい。

4. まとめ

限られた条件のもとであるが、CFRP の穴加工の目安を以下に示す。

汎用の超硬合金エンドミル(Tool A)は、工具摩耗の進行が早く、穴出口部の小さい剥離に目をつぶれば 20 穴程度加工が可能である。穴入口・出口両方の品質を問わなければ、例えば下穴加工などであれば 200 穴でも加工可能である。穴径の拡大にも対応可能であり、工具コストも安価なためドリルの臨時的な代替利用として活用できる。

汎用の超硬合金ドリル(Tool B)は、摩耗の進行は早く、穴出口部の小さい剥離を許容できれば 20 個程度の穴加工は可能である。また、穴入口部は大きな剥離が生じ無いので、品質が入口部のみ要求される用途では 200 穴の加工も可能である。工具コストはダイヤモンドコーティング工具の 1/4 以下であり、工具刃先の再研磨費用も安価である。

工具メーカー推奨の超硬合金母材+ダイヤモンドコーティングドリル(Tool C,D)は、CFRP 加工において切削抵抗・工具寿命において非常に高性能である。特に

CFRP 専用とされる工具(Tool D)は、数 100 穴以上の穴加工が必要な場合、工具交換工程の短縮などが見込める。Tool C,D の工具コストはほぼ同等であり、一般的に工具の摩耗状態、切削抵抗を比較すると、Tool D が推奨される。しかしながら、厳しい穴品質が要求される場合、穴入口部に小さな剥離が時々発生することに留意する。

金属加工の場合は、工具は経常的に進行する逃げ面摩耗と欠損・破損など突発的な損耗の形態をとり、寿命の予測は難しいが、CFRP 加工の場合、突発的な損耗は発生せず工具の寿命を予測しやすい。

また、材料の加工品質は、CFRP の場合、剥離が突発的に発生することがある。穴の要求品質が高い場合、例え専用工具を使用しても全数検査以外での品質の保証は難しいと思われる。

追記

本テーマは、九州各県工業系公設試連携研究で実施したものである。

謝辞

本研究に多大なる支援をいただいた九州各県公設試の担当研究員に心よりお礼申し上げます。