

## 炭素繊維複合材料の切削加工における工具の経済性

鳥取県産業技術センター 加藤明

## 要 旨

熱可塑性炭素繊維複合材料を工作物とし、各種エンドミルによる側面切削実験を行い、工具摩耗量を比較した。その結果、ダイヤモンドコーティング超硬エンドミルが工具寿命に優れるものの、経済性の観点からは被膜無し超硬エンドミルが優れることが分かった。

## 1. 緒 言

CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic: 炭素繊維強化プラスチック)は、強度が高く軽量であることから、航空機、自動車、スポーツ用具などの分野で利用されている。CFRPは充填される樹脂の特性の違いから、CFRTS(Carbon Fiber Reinforced Thermosetting Resin: 炭素繊維強化熱硬化性プラスチック)とCFRTP(Carbon Fiber Reinforced Thermoplastic: 炭素繊維強化熱可塑性プラスチック)に大別され、近年は、生産コストやリサイクル性に優れるCFRTPの利用が増えている。

CFRPは、成型後の二次加工としてトリム加工や穴加工などが行われる。CFRPの切削加工についての研究は、トリム加工、穴加工、工具摩耗、被削性などについて行われてきたが、その大半はCFRTSを被削材としたものであり、CFRTP切削加工についての検討事例は未だ少ない<sup>1)</sup>。そこで、筆者らはCFRTP切削加工の技術情報蓄積を目指して実験を行ってきた<sup>2)</sup>。本稿では、各種エンドミルによるCFRTP側面切削実験の結果について報告する。

## 2. 実験方法

CFRTP被削材の諸元を表1に示す。実験はNCフライス盤(大島機工製ON-3V II, 最高主軸回転数 $3000 \text{ min}^{-1}$ )を使用した。切削工具には、ダイヤモンドコーティング超硬エンドミル(以下DIA工具)、(Cr, Al, Si)Nコーティング超硬エンドミル(Cr工具)、TiAlNコーティング超硬エンドミル(Al工具)、超硬エンドミル(被膜無し)(HM工具)、TiNコーティングハイスエンドミル(Ti工具)、ハイスエンドミル(被膜無し)(HS工具)を用いた。いずれも工具径8 mm, 工具長60 mm, 2枚刃であり、切れ刃ねじれ角はDIA工具が $35^\circ$ , その他の工具は $30^\circ$ である。工具の諸元を表2に示す。

切削条件は表3のとおりである。加工実験写真を図1に示す。摩耗により生じる切れ刃後退量と逃げ面摩耗幅の合計を工具摩耗量と定義し、切削距離に応じて適宜マイクロscope(ハイロックス製KH8700)により工具摩耗量を測定し、工具の切削性能を評価した。実験終了条件は工具摩耗量が $100 \mu\text{m}$ を超えた場合、または切削距離が8 mに到達した場合とした。

表1 CFRTPの諸元

CF構成	3K平織
CF目付( $\text{g}/\text{m}^2$ )	200
熱可塑性マトリックス樹脂	ポリアミド6
積層数	20
寸法(mm)	$400 \times 300 \times 4$
CF比率(Vol.%)	53

表2 エンドミル工具の諸元

工具	DIA	Cr	Al	HM	Ti	HS
母材	超硬	←	←	←	ハイス	←
コーティング膜	ダイヤモンド	(Cr, Al, Si)N	TiAlN	無し	TiN	無し
硬度(HV)	9000	3100	2800	1600	2000	800
摩擦係数	0.15	0.25	0.3	0.6	0.4	0.5
膜酸化開始温度( $^\circ\text{C}$ )	600	1100	850	—	500	—

表3 切削条件

切削方法	エンドミル側面切削
切削速度(m/min)	75
径方向切込み(mm)	0.4
送り(mm/刃)	0.04
冷却	無し
切削方向	ダウンカット

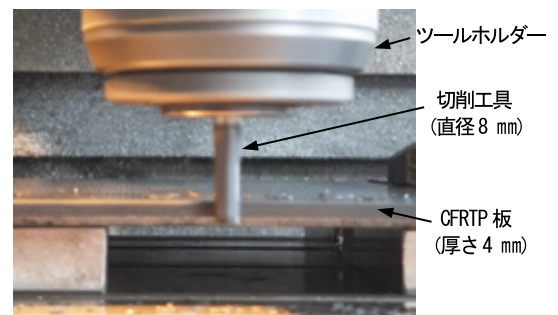


図1 CFRTP加工実験写真

### 3. 実験結果と考察

図2に切削距離と工具摩耗量の関係を示す。超硬工具(DIA, Cr, Al, HM)はいずれも緩やかに工具摩耗が進行し、切削距離8mに到達し、実験を終了した。実験終了時点の工具摩耗量はDIA工具が40  $\mu\text{m}$ 程度、その他の超硬工具は70~80  $\mu\text{m}$ 程度であり、DIA工具の摩耗量が顕著に少なかった。ハイス工具(Ti, HS)は、加工実験開始直後に工具摩耗量が100  $\mu\text{m}$ を超えたため、その時点で実験を終了した。

図3に実験終了時点の切れ刃外観写真を示す。図3(a)~(d)の超硬工具はいずれも切削距離8m、(e)Ti工具は0.8m、(f)HS工具は0.4m時点の写真である。超硬工具はチッピングや異常な工具摩耗などの大きな損傷は見られなかったが、ハイス工具は切れ刃エッジの形状が大きく崩れるほどの著しい摩耗が生じていた。

以上の結果より、本研究で使用した切削工具の中では、DIA工具がCFRTP加工においては最も優れること、その他の超硬工具でもCFRTPの加工は可能であること、ハイス工具はCFRTPの加工には使用が困難であることが分かる。

また、ハイス工具の摩耗の形態から、CFRTP切削加工においては、炭素繊維と工具切れ刃の接触によるアブレイブ摩耗が工具摩耗の主要な要因であること、表2より、膜酸化開始温度が比較的低い特徴があるDIA工具が最も工具摩耗量が少ない結果であったことから、CFRTP加工では切削中の加工温度上昇は限定的であることが推測される。

さらに、先に述べたように、DIA工具がCFRTP加工に最も適するが、一般的にDIA工具は高価であり、経済性の観点からの検討も必要である。HM工具の価格を1とするとCr工具やAl工具などのコーティング工具は1.2程度、DIA工具は3~4程度である。HM工具の工具摩耗量はDIA工具の約2倍であったことからHM工具の寿命はDIA工具の1/2程度と推測されるが、工具寿命に対する価格の比率はDIA工具の1.5~2倍程度となり、経済性の観点からはHM工具が最も優れると考える。

### 4. 結 言

各種エンドミルによるCFRTP切削実験を行い、以下のことが分かった。

- (1) ダイヤモンドコーティング超硬エンドミルは工具摩耗が少なく、工具寿命の観点からはCFRTP切削加工に最も適する。
- (2) ダイヤモンドコーティング以外の超硬エンドミルもCFRTPの切削加工に使用することは可能であるが、ハイスエンドミルは工具寿命が著しく短いため、使用は困難である。
- (3) 被膜無し超硬エンドミルは、ダイヤモンドコーティング超硬エンドミルの約1/2の工具寿命であるが、価格は数分の1と安価なため、経済性の観点からは被膜無し超硬エンドミルが最も優れる。

### 謝 辞

本研究は、産業技術連携推進会議中国地域部会の炭素繊維複合材料加工技術研究会において取り組んだものです。実験に使用した被削材等は国立研究開発法人産業技術総合研究所から提供いただきました。実験に使用したマイクロスコープは、公益社団法人JKAの公設工業試験研究所等における機械設備拡充事業により導入した装置です。ここに感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 田中秀岳：熱可塑性炭素繊維強化樹脂の穴あけ加工，精密工学会誌，81, 6(2015) 507.
- 2) 加藤明：炭素繊維複合材料加工実験(第1報:CFRPに対するCr系コーティング超硬エンドミルの切削性能)，鳥取県産業技術センター研究報告，19(2017) 39.

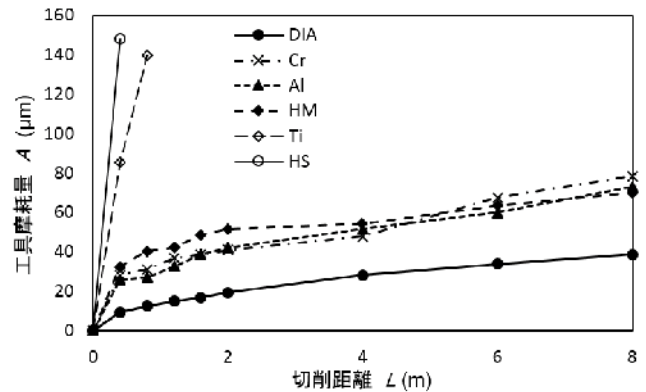


図2 切削距離と工具摩耗量の関係

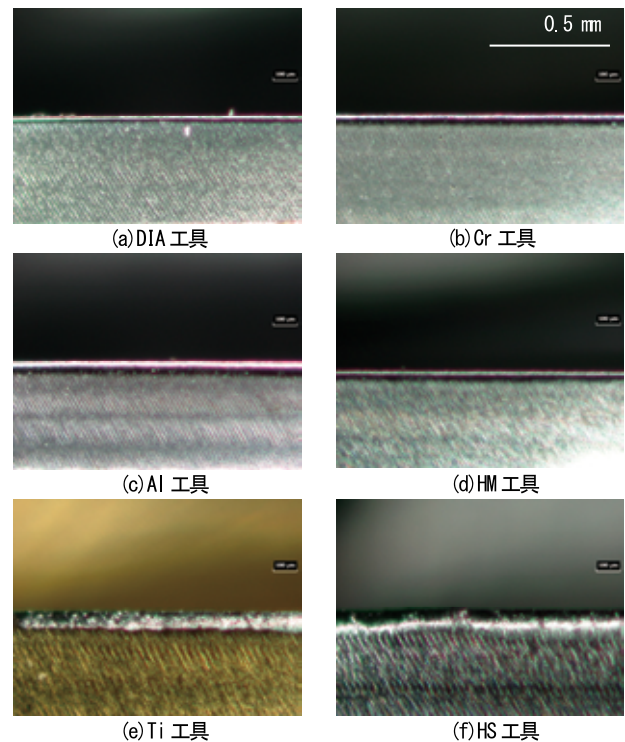


図3 実験終了時点の切れ刃外観写真