

CFRP 板材の貫通穴を対象とした幾何特性評価

長岡技術科学大学 工学部 機械創造工学課程 ○竹内千明
長岡技術科学大学 ©田中秀岳
柳和久

近年、航空機や自動車の軽量化のため、CFRP が着目されている。これらの材料は軽量で強度が高いが、層間剥離が起りやすく加工が困難な難削材として知られている。これらに対して有効な穴あけ加工として、著者らは傾斜プラネタリ加工を考察している。本研究では傾斜プラネタリ加工装置を用いて CFRP 板材に対する穴あけ加工を行い、貫通穴の幾何特性について評価した。工作物となる CFRP は熱硬化性及び熱可塑性の 2 種を用いた。

1. 背景

近年、航空機や自動車の環境問題への対策として低燃費化及び軽量化を目的として、より軽量で比強度の高い CFRP (炭素繊維強化プラスチック:Carbon Fiber Reinforced Plastics) の適用が増加している。CFRP は使用される樹脂マトリックスの種類で CFRTS (炭素繊維強化熱硬化性プラスチック:Carbon Fiber Reinforced Thermosets) と CFRTP (炭素繊維強化熱可塑性プラスチック:Carbon Fiber Reinforced Thermoplastic) に大別される。航空産業においては CFRTS が主流であるが、次世代の自動車用材料として成形時間の短縮やリサイクルが可能といった点から生産性の向上やコストダウンが期待できる CFRTP が注目されている。

2. 傾斜プラネタリ加工

層間剥離が起りやすく加工が困難な難削材として知られている CFRP に対する有効な穴あけ加工として、著者らは傾斜プラネタリ加工を考案し研究を行っている²⁾。傾斜プラネタリ加工は、切削工具の自転運動に加え、偏心軸回りの公転運動を組み合わせた加工である。傾斜プラネタリ加工では従来のオービタル加工と違い、工具に傾斜を付け工具先端から偏心させることにより公転機構の小型化、公転による振動の低減、切削抵抗の低減を実現している。

3. 目的

CFRTP は CFRTS の課題を克服しているため、通常の自動車のようなより一般向けの分野への需要拡大がみこめる。しかし、CFRTP はマトリックスの特性上、切削時に発生する熱で樹脂が溶融する可能性が高く、穴の品質低下および切削工具への溶着による切削性の低下が問題となる。本研究では傾斜プラネタリ加工機による CFRTP の穴あけに関する知見を得ることを目的とし、CFRTS と CFRTP それぞれに加工実験を行い幾何特性の評価及び比較を行った。

4. 評価方法

本研究では真円度と加工穴の観察により幾何特性の評価を行った。以下に測定条件を示す。

①真円度測定：CFRTS は工具の入り側から 1mm 間隔で 3 箇所、CFRTP は 2 枚を貼り合わせて CFRTS と同じ厚みを持たせたため中心の接着層を除いた 2 箇所の真円度を測定した。

②外観観察：レーザー顕微鏡を用いて工具の入り側出側の二方向から穴の外観を観察した。

5. パラレル MC による加工実験

工具摩耗による穴幾何特性の推移とエンドミル刃数による差を検証するため、パラレル MC を用いて CFRTS、CFRTP それぞれに 3 種類のエンドミルを用いて 1000 穴の穴あけ加工を行った。

実験条件を表 1 及び表 2 に示す。

Table.1 Experimental conditions

	CFRTS	CFRTP
Cutting speed [m/min]	90	70
Spindle revolution [rev/min]	5700	4500
Tool diameter [mm]	5	
Feed rate [mm/rev]	0.25	
Revolution [rev/min]	180	
Inclination[deg]	1.433	
Eccentricity [mm]	0.675	
Tool	Radius endmill	
Cutting method	Down-cut	

Table.2 Cutting tools

	Work piece	Number of tooth
ODA1	CFRTS	2
ODB1	CFRTS	3
ODC1	CFRTS	4
ODA2	CFRTP	2
ODB2	CFRTP	3
ODC2	CFRTP	4

6. パラレル MC による加工実験結果の評価

各条件の加工穴における真円度の推移を図 1 に示す。

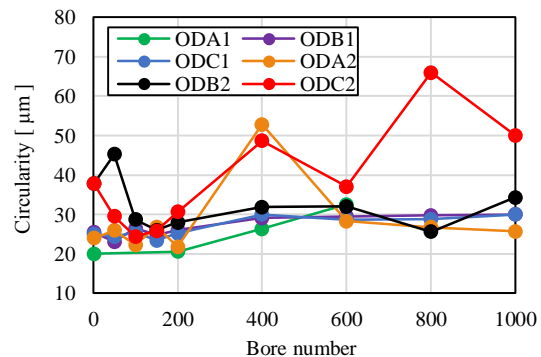


Fig.1 Measurement results of circularity

真円度測定に関しては 2 枚刃エンドミルによる加工結果が CFRTS、CFRTP の両条件において真円度において良好な値を示した。加工回数が増えるにつれて真円度も悪化した。

図2に加工穴の写真を示す。

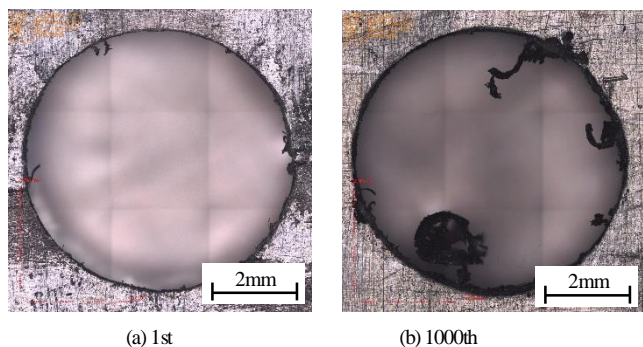


Fig.2 Appearance of drilled holes (2 flute, CFRTIP)

CFRTIPの加工穴には熔融マトリクスが付着しており、加工回数を重ねるにつれてより大きな熔融マトリクスの塊が観察された。

刃数が少ないエンドミルは切り屑排出性が高く、良好な真円度を示す結果となった。加工数が増加するにつれて工具の摩耗により切れ味が低下し熔融マトリクスが付着しやすい状態になったと考えられる。真円度の悪化は熱によるマトリクスの熔融や工具の摩耗による影響が大きいと推察される。熱で熔融したマトリクスが工具に付着し真円度が急激に悪化し、異常値を測定する場合があった。

7. 傾斜プラネタリ加工機による加工実験

傾斜プラネタリ加工機を用いて以下の実験を行った。

- (1)パラレルMCによる加工の再現
- (2)高切削速度による加工

加工機の仕様の問題から同じ工具突き出し量が得られないため傾斜角を変更することで同様の偏心量を得た。

表3に実験条件を示す。

Table.3 Experimental conditions

	Reproduction experiment		High cutting speed experiment	
	CFRTS	CFRTP	CFRTS	CFRTP
Cutting speed [m/min]	90	70	565	439
Spindle revolution [rev/min]	5700	4500	36000	28000
Tool diameter [mm]	5		5	
Feed rate [mm/rev]	0.25		0.25	
Revolution [rev/min]	180		180	
Inclination[deg]	0.3		0.3	
Eccentricity [mm]	0.675		0.675	
Tool	Radius endmill		Radius endmill	
Number of tooth	2		2	
Cutting method	Down-cut		Down-cut	

8. 傾斜プラネタリ加工機による加工結果の評価

パラレルMCによる加工実験と傾斜プラネタリ加工機による再現実験における真円度を1～3穴目の値の比較を表4に示す。

Table.4 Measurement results of circularity (mean value)

experiment	CFRTS	CFRTP
Inclined planetary milling system	7.66	6.45
Parallel machining center	19.95	24.00

各実験の真円度のグラフを図3に示す。

パラレルMCによる加工と比較して再現実験の真円度が良好な値を示した。これはパラレルMCと比較して傾斜プラネタリ加工機では幾何学的工具軌跡の真円度が高く、加工穴の真円度も向上したと考えられる。

CFRTIPへの穴あけでは高切削速度での加工の方が良好な真円度を示した。Fig.5に加工穴の写真を示す。

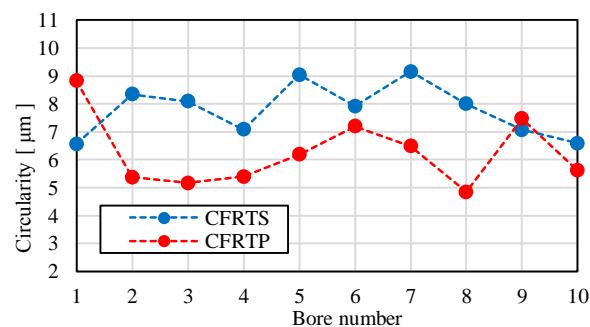


Fig.3 Measurement results of circularity (Vc = 90, 70)

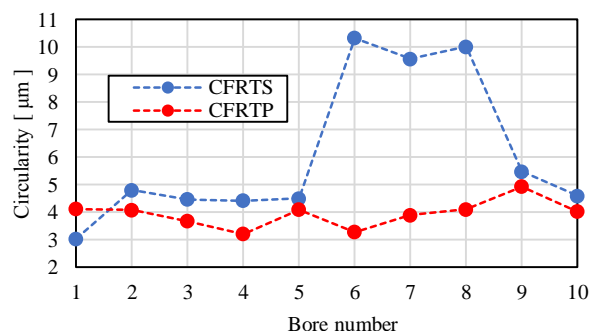


Fig.4 Measurement results of circularity (Vc = 565, 439)

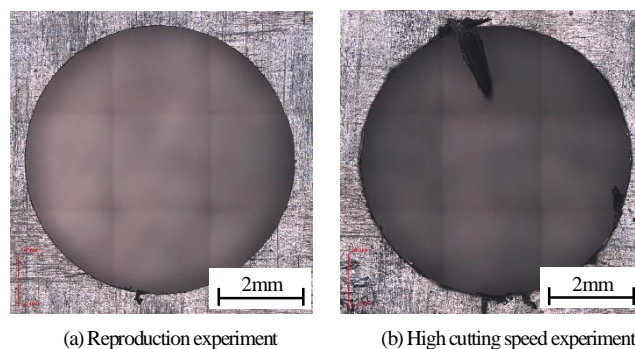


Fig.5 Appearance of drilled holes (bore #4, 2 flute, CFRTIP)

高切削速度による加工では再現実験に比べて早い段階からCFRTPに熔融マトリクスの付着が見られた。

高切削速度によるCFRTPの加工では良好な真円度を示す半面、早い段階から熔融マトリクス見られるといった結果となった。

9. 結言

傾斜プラネタリ加工によるCFRTP加工穴の幾何特性評価を通して以下の知見を得た。

- ・CFRTPへの穴あけ加工では熱によるマトリクスの熔融が幾何特性に強い影響を与える。
- ・高切削速度による加工の方が真円度が良好である。

参考文献

- 1) 福田博, 邊吾一, 末益博志 新版 複合材料・技術総覧, 株式会社産業技術サービスセンター, (2011)
- 2) 田中秀岳, 太田和樹, 武田広貴, 滝沢亮, 柳和久: 炭素繊維強化プラスチックを対象としたプラネタリ機構による穴あけ加工に関する研究(第2報), 精密工学会誌, vol 80 No 3, (2014)