

CFRP 穴加工の高速・高品質化及び工具摩耗の測定

上智大学理工学部 ○佐々井 宏典, ◎田中 秀岳

要旨

CFRP は難削材として知られ、ドリルを使った穴加工においてはバリや層間剥離が発生しやすい。筆者らは CFRP の高精細穴あけ加工に特化した傾斜プラネタリ加工を提案しているが、加工速度が問題となっている。本報では、傾斜プラネタリ加工により穴加工品質を保ちつつ切削速度を向上させる実験を行い、加工時間と工具摩耗状態と穴品質に関して実験を行った結果、公転速度と送り量の関係から工具摩耗及び穴品質に関する考察を行った。

1. 緒言

炭素繊維強化プラスチック (CFRP) は比強度が非常に高い材料のため、近年航空機や医療機器などで使用されている。今後自動車産業などにおいても使用量が増えてくると予想されているため、注目を集めている。しかし CFRP は難削材であり、図 1 のようにバリが発生しやすく繊維層も剥離しやすい。

また、現在 CFRP は高価だけでなく、加工速度も遅く工具寿命も短いため大量生産に向いていない。したがって、穴品質を損なわずに加工の高能率化を行うことが必要とされている。

CFRP 専用ドリルに比べ穴品質の向上が可能な傾斜プラネタリ加工機を穴加工に採用している。本研究では、加工の高速化・穴品質の向上及び工具摩耗という生産能率にかかわる三つの事柄に関して検討した。

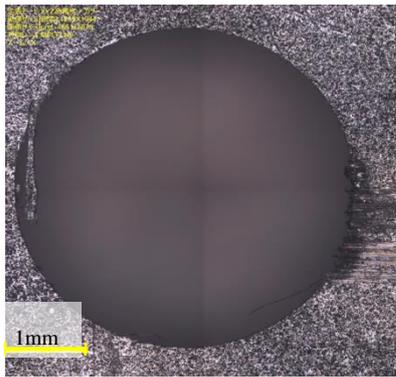


Fig.1 Example of uncut fiber and surface delamination

2. CFRP

CFRP には熱硬化性 (Carbon Fiber Reinforced Thermo Set : CFRTS) と熱可塑性 (Carbon Fiber Reinforced Thermo Plastics : CFRTP) がある。航空機用の CFRP の大半は、180℃硬化のエポキシ樹脂を用いた熱硬化性 CFRP である、品質要求も厳しい。そして金属との共孔あけ加工や、狭い部分へのアクセスが必要な場合もある。上述の理由から、孔加工には、品質・加工コスト・及び作業性の面で、多くの課題が存在する。現在の一般的な CFRP の孔明けに用いる機械加工法には、超硬やダイヤモンドなどの硬質材質を刃先に用いたエンドミル、ルータービット、ドリル、リーマなどの切削工具が主に使われる。しかし、これらを用いた CFRP の機械加工は価格、工具摩耗、切屑処理など、多くの課題を有している¹⁾。

3. 傾斜プラネタリ加工

傾斜プラネタリ加工では、小さい傾斜角度で工具先端の偏心が得られるため、図 2 に示すように、偏心量が同じ場合のオービタル加工と比較すれば、傾斜プラネタリ加工装置における偏心機構の移動量は少なくなる。結果として偏心機構の小型化および振動の低減が可能となる。

また、傾斜プラネタリ加工は、図 3 に示すように切削開始時に底刃中心部を避けることから、底刃中心の押し込み作用が存在せず、切削力が低減できると考えられる。加えて、切削工具が工作物を貫通する際には、加工穴のエッジがデバリングされることから、

バリが発生しにくい加工法である²⁾。

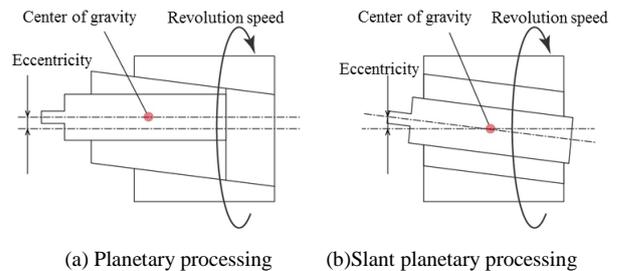


Fig.2 Eccentric mechanism

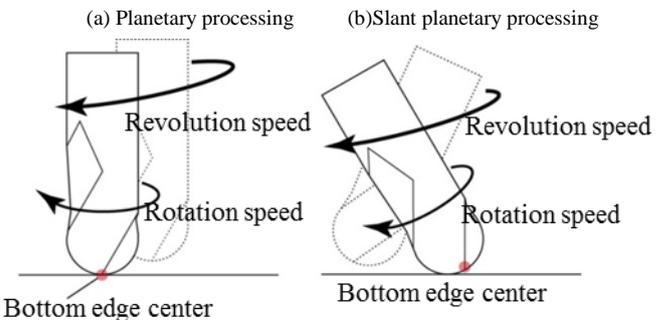


Fig.3 Pushing effect of bottom edge center

4 実験概要

実験の概要図は図 4 に示す。本実験では先行研究で開発した傾斜プラネタリ加工機に搭載されていない公転回転数も用いて実験を行うため、汎用旋盤を用いた。刃物台を傾斜させることで傾斜プラネタリ加工とした。この際の旋盤の回転数は公転回転数である。本実験では、公転回転数と送り量を変化させることで、穴品質にどのような影響を及ぼすか実験により検証した。

実験に用いた切削工具の条件並びに加工条件を表 1・表 2 に示す。レーザ顕微鏡(オリンパス;LEXT OLS4100)で撮った写真を用いてバリ・剥離の有無並びに CFRP の穴あけ加工を視覚的に評価した。また、評価基準は少しでもバリ・剥離が見られた際はバリ・剥離として評価し、一般的に許容されるバリ・剥離も許容していない。



Fig.4 Experimental apparatus

Table.1 Cutting tool

Tool	Radius endmill	
Model number	No1~14	DG-CPR-3XR0.2X0X20
	No15~146	XAL-CR-EM2S3-R0.2
No. of cutting edge	2	
Diameter	3	
Corner	0.2	

Table.2 Cutting conditions

Rotation speed	30000	rpm
Revolution speed	395・710・1010	rpm
Feed rate	0.052~0.209	mm/rev
Inclination angle	0.5	deg
Eccentricity	0.5	mm
Extrusion length	22.7	mm
Hole diameter	4	mm
Cutting direction	Down cutting	
Coolant	Dry	

本実験で行った穴あけ加工の公転回転数と送り量に対する1分当たりの送り量を表3に示す。本研究では150mm/minを目標としている。

Table.3 Feed rate [mm/min]

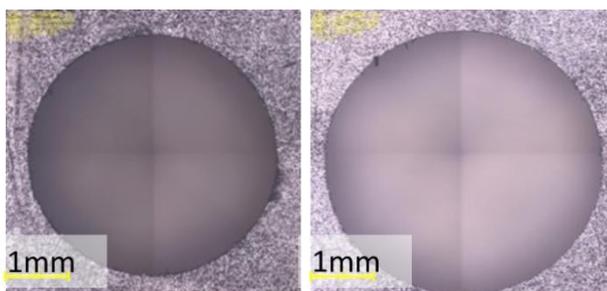
Feed amount(mm/rev)	Revolution speed (rpm)		
	395	710	1010
	Feed rate(mm/min)		
0.052	20.54	36.92	52.52
0.057	22.515	40.47	57.57
0.062	24.49	44.02	62.62
0.07	27.65	49.7	70.7
0.079	31.205	56.09	79.79
0.09	35.55	63.9	90.9
0.097	38.315	68.87	97.97
0.105	41.475	74.55	106.05
0.114	45.03	80.94	115.14
0.125	49.375	88.75	126.25
0.132	52.14	93.72	133.32
0.139	54.905	98.69	140.39
0.157	62.015	111.47	158.57
0.179	70.705	127.09	180.79
0.193	76.235	137.03	194.93
0.209	82.555	148.39	211.09

5. 結果

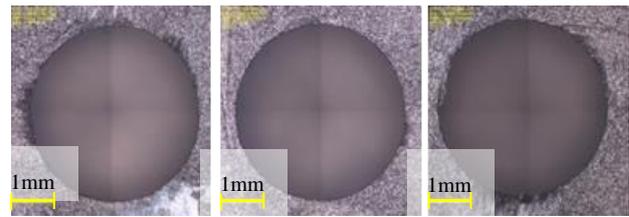
本実験で得た代表的な結果を図5に示す。

図5(a)と(b)は良好な穴品質となっている。公転回転数1010rpmを用いても、穴品質に悪影響を及ぼしていない。(c)・(d)・(e)は同条件で実験したにもかかわらず、バリ・剥離に大きな差が見られた。

(a) (b)



(a) Revolution speed 1010rpm Feed amount 0.105mm/rev
(b) Revolution speed 1010rpm Feed amount 0.179mm/rev



(c) (d) (e) Revolution speed 1010rpm Feed amount 0.105mm/rev

Fig.5 The back side after processing

6 考察

CFRPの穴あけ加工において、重要な要因は切れ刃一枚当たりの送り量である。したがって、本研究では自転回転数が公転回転数の30~76倍で実験を行っているため、公転回転数が穴品質に及ぼす影響は非常に小さいと考えられる。

(c)・(d)・(e)1番目が良好な穴品質であれば、工具摩耗によって穴品質が変化したと考えられるが、2番目が良好な穴品質であり、1番目と3番目の穴品質が悪い結果が得られたため、偶発的なもの、あるいは綾織による繊維配置の違いによる工作物の条件によって、穴品質が変化するのではないかと考えている。

高速化に関しては表4に示す。

ナンバリングは (1)良好な穴品質の実験値 (2)実験値から加工時間を高速化させた場合 (3)プラネタリ加工機条件の1例 (4)N社のCFRP専用ドリルとする。

(1)は、現時点で良好な穴品質の割合が多い公転回転数・送り速度から切れ刃一枚当たりの送り量を算出した。

その結果から(2)で傾斜プラネタリ加工機の最大の自転回転数を仮定して送り速度を算出した。(3)及び(4)と送り速度を比較すると、現状CFRPドリルよりも3.74倍、かつ傾斜プラネタリ加工機での穴あけ加工1例よりも15.7倍の速度で加工できる。

Table.4 Different of cutting duration

	(1)	(2)	(3)	(4)	unit
Rotation speed	30000	60000	20000	5040	rpm
Revolution speed	1010	1010	200	0	rpm
Feed speed	180	711	60	252	mm/min
No. of cutting edge	2	4	2	2	
Amount of feed per one cutting edge	0.0029	0.0029	0.0015	0.025	mm/rev

7 結言

本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) 穴品質は切れ刃一枚当たりの送り量に依存することが分かったため、公転回転数より自転回転数の方が寄与率は大きい。
- (2) 傾斜プラネタリ加工機を用いれば、CFRP専用ドリルに比べ工具切れ刃一枚当たりの送り量を小さくし、かつ加工時間の高速化が望める。
- (3) 刃数を変化させることで、本実験で検証したものの以上の高品質・高速化が望める。
- (4) 工具の性能による差、CFRPの繊維配置及びCFRPの個体差も穴品質に影響する。

8.参考文献

- 1)航空機用CFRPに対するプラストを用いた高効率孔あけ技術の開発, 深川 仁, 博士(工学) 甲第484号, 2015-09-30
- 2)傾斜プラネタリ加工装置を用いたチタン合金の穴あけに関する研究, 長岡技術科学大学大学院, ○佐井 峰史, 田中 秀岳, 柳 和