

Hyper研削によるCFRPの高品位加工

東京農工大学 ○鈴木 光希, 子安 玲, ◎笹原 弘之

要旨

CFRPの切削加工ではバリ、デラミネーションの発生や激しい工具摩耗など多くの問題がある。そこで本研究ではCFRPの端面仕上げ加工に対して砥石内部から研削液を供給するHyper研削を適用し、その加工特性を明らかにすることを目的とする。エンドミルによる切削加工と比較した結果、表面粗さが1/10以下となった。また外部ノズルから研削液を供給する場合と比較した結果、重研削を行った場合でも良好な加工状態になることを示した。

1. 緒言

炭素繊維強化プラスチック（CFRP）は、高比強度、高比弾性率を有するため、特に軽量化が求められる航空宇宙分野において多用されている。一般的にCFRPを積層・硬化後の寸法精度は低いため、アブレイシブウォータージェットやエンドミルによる切削加工が必要になる。しかし、前者は加工可能な形状に制約があり、後者はバリや毛羽立ちによる加工精度低下、激しい工具摩耗など多くの問題がある。そこで、新たなCFRP加工技術として高精度な加工が可能である研削加工が考えられているが、CFRPの研削加工では研削熱や砥石の目づまりが問題となっている。

本研究では、砥石内部から研削液を供給し同時多軸制御工作機械で研削加工を行うHyper研削の研究・開発を進めている。それにより加工温度・研削抵抗の減少、砥石摩耗の抑制、表面粗さの向上などの優位性が示されている²⁾。そこで本研究ではCFRPに対するHyper研削の加工特性を明らかにし、その優位性を示すことを目的とする。

2. CFRPの端面仕上げ加工に対するHyper研削の適用

Hyper研削のCFRPの端面仕上げ加工に対する適用可能性を示すため、現在広く用いられているエンドミルによる切削加工とHyper研削による研削加工でCFRP板材の端面加工を行い、加工面品位を比較した。表1に実験条件を示す。切削加工の場合は工具メーカー推奨の条件を使用した。一方Hyper研削の場合は、鉄系材料に対する研究で実績のある条件を使用した。本研究では特に航空機向けCFRP部品の加工を想定しているため、被削材も航空機部材向けのCFRPを使用している。試験片は東邦テナックス社製の一方方向プリプレグQU135-197Aを積層したCFRPプレートを用いた。本試験片の積層構成は0°、45°、-45°、90°とした擬似等方材である。被削材の形状は長さ200mm幅100mm厚さ7.8mmの板材である。ここで、図1にHyper研削における工具の構造を示し、図2に実験装置の概略を示す。今回の実験では被削材に対し200mmを1パスとする端面加工を実施した。

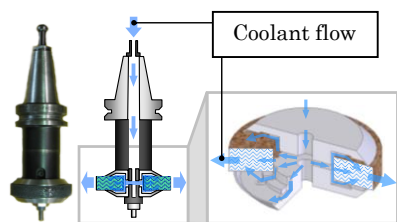


Fig. 1 Schematic of tool holder

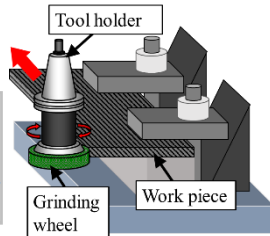


Fig. 2 Experimental set up

Table 1 Machining condition

	Grinding	Cutting
Type of coolant supply	Internal	Dry
Material of tool	WA Vitrified bounded	Diamond coated cemented carbide
Tool diameter mm	75	10
Cutting speed m/min	1200	151
Feed rate mm/min	500	540
Depth of cut mm	0.2	
Cutting method	Down cut	
Type of coolant	Emulsion	-
Amount of coolant supply L/min	10	-
Work piece	CFRP (TOHO TENAX QU135-197A)	

図3に、送りに垂直な方向の表面粗さを示す。加工距離2mにおいて、Hyper研削の表面粗さは、切削加工の10分の1以下となっていた。また、切削加工の場合には加工距離が長くなるにつれて粗さが増大しているのに対し、Hyper研削では加工距離50mまでほとんど変化が無かった。さらに加工距離10mの最大高さRzにおいて、切削加工ではHyper研削より50 μ m以上大きく、切削加工では加工表面の高低差が大きくなっていた。

ここで、図4に走査型電子顕微鏡により観察した加工面の様子を示す。切削加工では大きくぼみや繊維の剥離が発生しているのに対し、Hyper研削では平坦できれいな加工面になっている。また、切削加工の場合には繊維の断面をはっきりと確認することができる。これは繊維がエンドミルの切れ刃にせん断されて破壊したのではなく、引張破壊したためであると考えられる³⁾。さらに、-45°と90°の層では、短い繊維が、繊維配向方向とは異なる方向を向いて付着していた。これは加工によって発生した切りくずが溶着していると考えられる。本研究で使用しているCFRPのエポキシ樹脂のガラス転移点温度は180℃であるため、加工面では180℃を超えていたことが伺える。一方Hyper研削の場合には、切削加工の場合のような繊維の引張破壊の痕跡やくぼみは見られない。これは、砥石内部から直接研削液を加工面に直接供給することで効率よく冷却が行われたことにより樹脂の軟化が抑制されたことと、すくい角が負である砥粒によって炭素繊維は大きく曲げられることにより引張破壊が抑制されてせん断破壊となったためであると考えられる。さらに、砥石には多数の砥粒が存在するため一つの砥粒が切り取る量は非常に少なく、上述の現象が繊維一本一本に対して確実に作用したことで良好な加工面が得られたのだと考えられる。

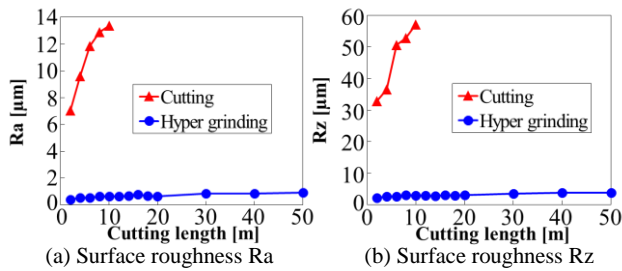


Fig. 3 Surface roughness

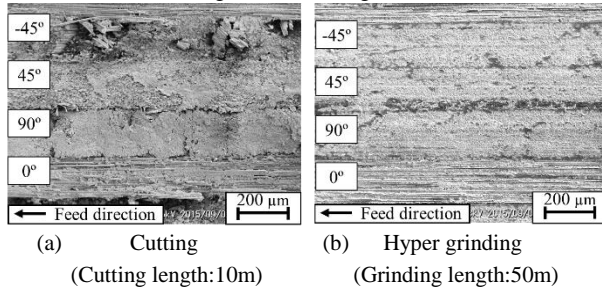


Fig. 4 SEM images of machined surface

3. CFRPの重研削におけるHyper研削の効果

CFRPの研削加工において、砥石内部から研削液を供給するHyper研削と外部ノズルから供給する場合との比較を行った。実験条件を表2に示す。この実験では切込み量が最大4mm、送り速度が1000mm/minという研削加工としては非常に過酷な条件を設定している。100mmを1パスとして端面研削を行った。

Table 2 Grinding condition

Type of coolant supply	Internal	External
Cutting speed	m/min 1200	
Feed rate	mm/min 1000	
Depth of cut	mm 0.2, 2, 4	
Cutting length	m 2	
Cutting method	Down cut	
Type of coolant	Emulsion	
Amount of coolant supply	L/min 10	

図5に切込み量4mmで加工後の加工面の写真を示す。外部ノズルによる研削液供給では加工面の損傷が見られた。これは樹脂が軟化して炭素繊維の保持力が低下したことにより、繊維は加工面よりも深い位置で破断して抜け落ちた跡だと考えられる。この損傷は研削面全体に分布しており、研削面はエポキシ樹脂のガラス転移温度の180℃を超える温度環境下であったと言える。一方Hyper研削の場合には損傷は見られなかった。切込み量が増えると、外部ノズルによる研削液供給では研削点の十分な冷却が出来ない。しかし、Hyper研削では砥石の気孔を通して研削液を直接研削点へ供給できるため、切込み量が増えた場合でも十分な冷却が可能であるといえる。また、図6に2mm加工後の研削抵抗の平均値と切込み深さの関係を示す。両条件とも切込み量の増加に伴い研削抵抗は増加するが、外部ノズルによる研削液供給の場合はHyper研削よりも大きく、かつその増加量も大きくなっていることが分かる。これはHyper研削の潤滑効果が表れた結果であると言える。

図7に表面粗さの測定結果を示す。表面粗さ測定の際、図5で示したような窪みは避けて測定した。Hyper研削の場合は切込み量が増えるにつれて粗さが増大するのに対し、外部ノズルによる研削液供給の場合にはほぼ一定の粗さを示した。ここで田代ら⁴⁾は、SEM内単粒切削実験を行い、せん断破壊した繊維周りの樹脂は破壊されずに繊維の穴を埋めるように押し

込まれると報告している。本実験においてもこの押し込み作用が働いていたと考えられ、加工面が高温になっていたと考えられる外部ノズルによる研削液供給では樹脂が軟化して押し込まれやすくなり、研削面を樹脂が覆うことで表面粗さが繊維切断状態の影響を受けなかったのだと考えられる。

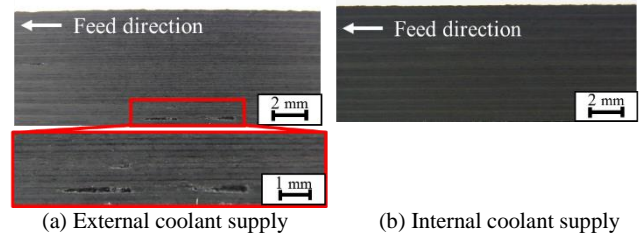


Fig. 5 Effect of coolant supply on grinding surface

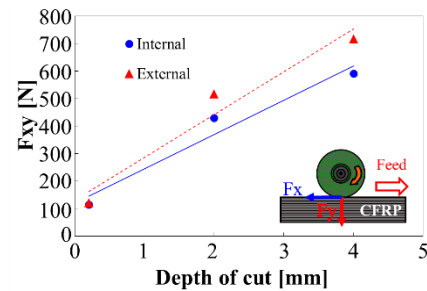


Fig. 6 Effect of coolant supply on grinding force (grinding length:2m)

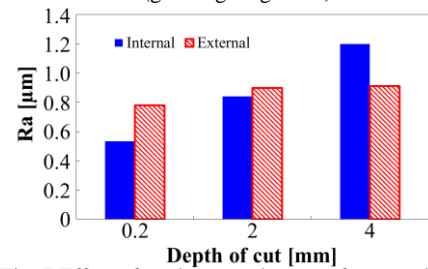


Fig. 7 Effect of coolant supply on surface roughness

4. 結言

Hyper研削を用いてCFRPの端面仕上げ加工を行い、以下のことを明らかにした。

- 1) エンドミルによる切削加工と比較した結果、表面粗さが10分の1以下になることを示し、Hyper研削の有用性を確認した。
- 2) 外部ノズルによる研削液供給方法と比較した結果、Hyper研削は冷却・潤滑効果が優れていることを示した。
- 3) 切込み量4mmにおいて、表面粗さは外部ノズルによる研削液供給方法を用いた場合の方が小さくなった。これは軟化した樹脂が押し均されたためである。

参考文献

- 1) 前島豊, 炭素繊維の最先端技術 (普及版), 株式会社シーエムシー出版, (2013), pp.159-209
- 2) Hiroyuki Sasahara, Tomoko Kikuma, Rei Koyasu, Yasuhiro Yao, Surface grinding of carbon fiber reinforced plastic(CFRP) with an internal coolant supplied through grinding wheel, Precision Engineering, Vol.38, (2014), pp.775-782
- 3) 八代毅, 炭素繊維強化プラスチック (CFRP) のエンドミル加工における切削機構に関する研究, 平成 25 年度東京農工大学博士論文
- 4) 田代徹也, 藤原順介, 花崎伸作, 藤原進一, 超砥粒ホイールによる CFRP の乾式研削, 砥粒加工学会誌, Vol.48, No.11, (2004), pp.623-628