

X線CTを用いたCFRPの切削加工における内部欠陥評価

機能素材加工課 川堰宣隆 製品・機能評価課 羽柴利直

1. はじめに

炭素繊維強化プラスチック(CFRP)は、高強度でありかつ軽量な材料であることから、航空、宇宙、自動車など様々な分野で使用されている。CFRPを切削する際には、高強度な炭素繊維によって工具摩耗が進行しやすいとともに、加工面性状やデラミネーションなどの欠陥が課題となる。同時に、内部では加工力によってクラックの発生などの懸念があるものの、表面からの直接観察は困難である。一方、X線CTは、内部の状態を非破壊で観察できることから、その評価に有効である。

既報²⁾では、CFRPをエンドミル加工したときの内部欠陥の状態を明らかにするためにX線CTを活用し、加工方法や繊維の方向を変化させたときの内部欠陥の変化について検討した。これより、単一方向性CFRPを加工した場合、加工方法、繊維方向によって、その加工特性は大きく変化することを明らかにした。

本報では、疑似等方性CFRPをエンドミル加工したときの内部欠陥の生成状況を明らかにするとともに、最適な加工条件について検討した。

2. 実験条件および方法

被削材には、厚さ0.2mmのプリプレグを45°ごとに回転させて積層し、成形した、厚さ2.4mmの疑似等方性CFRPを使用した。加工実験には、マシニングセンタ(キタムラ機械(株)製 Mycenter-3XiG)を使用した。工具には、直径6mmのダイヤモンドコーティッド工具を使用した。加工方式はアップカットとし、乾式で加工を行った。繊維の方向は、図1に示すように定義した。表1は、加工条件である。加工後の試料の内部欠陥の評価には、X線CT(ブルカー社製 SKYSCAN 1272)を使用した。

3. 実験結果および考察

各種条件で加工したCFRP表層部に対して、X線CTを用いた内部観察を行った。図2は、両端部が0°方向のCFRPを加工したときのX線CT像である。繊維方向によって、内部欠陥の状況は大きく変化した。繊維方向が0°方向や135°方向の場合、内部欠陥は観察されない。45°方向の場合、深さ最大57μmまで内部クラックが生じた。表層では炭素繊維の破断や炭素繊維の変形など、多くの欠陥が見られる。さらに、加工終了部では、大きな欠けが

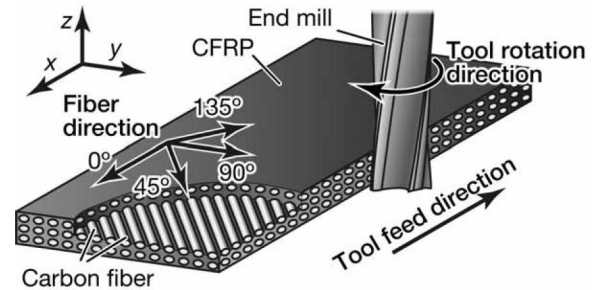


Fig. 1 Schema showing machining CFRP

Table 1 Cutting conditions

Tool	φ6 Carbide endmill
Coating	Diamond coating
Number of tooth	4
Helix angle (°)	10
Cutting speed (m/min)	120
Feed rate (mm/tooth)	0.05
Radial depth of cut (mm)	0.5
Cutting distance (mm)	75
Cutting method	Upcut
Lubrication method	Dry cutting

生じていた。90°方向の場合、45°方向よりも発生領域は小さいものの、表層での繊維の破断、加工終了部での繊維の変形やクラックの発生が見られた。これらの内部欠陥は同一方向の繊維層のみで生じており、他の繊維の層への伝播は見られなかった。また、被削材端部のバリ周辺部のクラックは端部の繊維方向に依存し、その方向が45°方向、90°方向となる場合に生じた。

単一方向材の結果²⁾と比較すると、内部欠陥の方向依存性は同様である。一方、内部クラックの最大深さは単一方向材の291μmから大きく減少するなど、その発生領域は小さくなった。単一方向材では、加工の進行にともない欠陥は工具軸方向(z方向)とともに、切込み方向(y方向)にも進展する。一方、疑似等方材では繊維方向が変化する箇所では工具軸方向の欠陥等の進展が阻害され、その発生領域が切込み方向にも拡大しにくくなるといえる。

以上の結果より、疑似等方材では内部欠陥の発生する傾向が単一方向材のそれと同様であるものの、その発生領域は小さくなるのがわかった。つぎに角度依存性について、より詳細に検討するため、繊維方向を図2から15°および30°傾けた実験を行った。図3は、端部の繊維方向を15°として加工したときのX線CT像である。15°

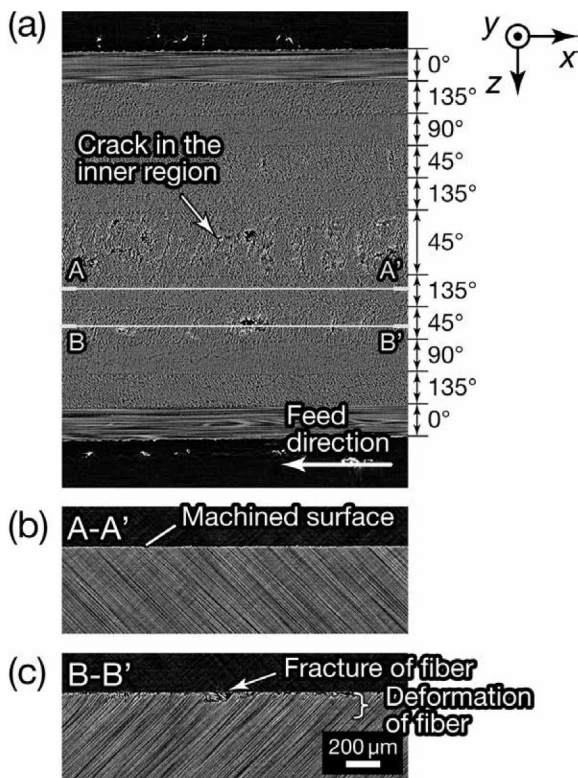


Fig. 2 Cross-sectional image of CFRP, with 0° direction of surface layer, prepared using upcut method, measured by X-ray CT. (a) Cross-sectional image in z-x plane at the depth of 41 μm, and in x-y plane area denoted by (b) A-A', and (c) B-B'.

方向では表面層で繊維の破断が生じ、深さ 25 μm の表面欠陥が生じた。一方、それ以外の層では、60°方向で表層の繊維の破断が生じるものの、表面欠陥および内部欠陥はわずかであった。他の方向の結果も総合すると、CFRP をアップカットで加工した場合、繊維方向 45°方向のときに、内部欠陥が最大となる。一方、表面欠陥は 30°~45°の時に最大となり、これらの角度から 15°程度変化することで、欠陥は小さくなる。すなわち、これらの繊維方向の影響を考慮したうえで、加工方向や繊維方向を設定するこ

キーワード：CFRP、X 線 CT、ミリング加工、内部欠陥

Evaluation of internal defects generated in machined carbon fiber reinforced plastic using X-ray computed tomography

Functional Material Processing Section; Noritaka KAWASEGI, and
Product and Function Evaluation Section; Toshinao HASHIBA

In this study, X-ray computed tomography was used to investigate internal defects generated on machine milled CFRP. Defects were generated based on the direction of the fibers for machining quasi-isotropic CFRP, and the trend was similar to that of unidirectional one though the magnitude was inhibited. The defects were shrunk by avoiding 30° to 45° direction, indicating that the directions should be avoided in machining and designing industrial parts made from CFRP.

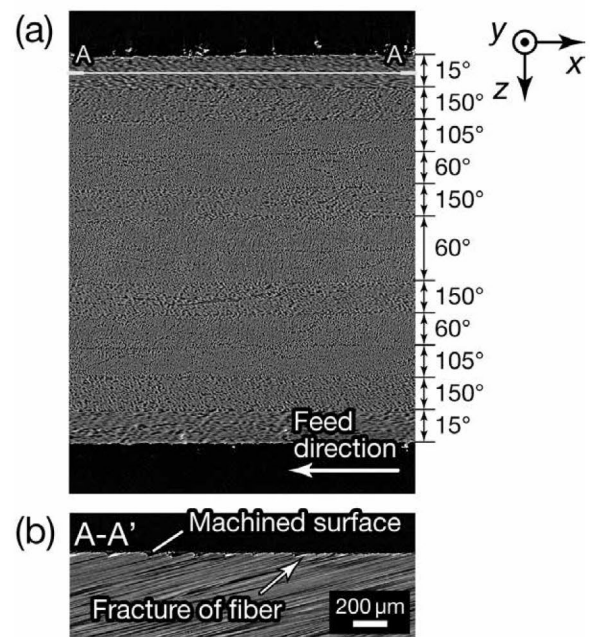


Fig. 3 Cross-sectional image of CFRP, with 15° direction of surface layer, prepared using upcut method, measured by X-ray CT. Cross-sectional images (a) in z-x plane, and (b) in x-y plane area denoted by A-A'.

とで、内部欠陥や表面欠陥を抑制できると考える。

4. おわりに

本研究では、エンドミル加工した疑似等方性 CFRP の内部欠陥の生成について、X 線 CT を用いた評価を行った。その結果、疑似等方材の内部欠陥は、単一方向材のそれと比較して小さくなり、また繊維の方向によって、内部欠陥や表面欠陥を抑制できることを明らかにした。

参考文献

- 1) W. Hintze et al.: Compos. Sci. Technol. 71 (2011) 1719.
- 2) N. Kawasegi: Prec. Eng., 60 (2019) 257.