

〈一般研究課題〉 CFRP 加工時の微細粉塵型切りくず抑制による環境改善

助成研究者 大同大学 萩野 将広



CFRP加工時の微細粉塵型切りくず抑制による環境改善

萩野 将広
(大同大学)

Environmental improvement by controlling fine cutting chips during CFRP processing

Masahiro Hagino
(Daido University)

Abstract :

Currently, carbon fiber reinforced plastic (CFRP) is applied to about 50% of the aircraft's weight empty in the new aircraft, the weight of the aircraft structure is reduced by 20% compared to the conventional aircraft. And the dioxide emitted throughout the life cycle that the amount of carbon reduction is estimated to be 7%. On the other hand, drilling is still performed manually at CFRP processing sites such as aircraft manufacturing, and there are some concerns about the scattering of CFRP chips during cutting. The scattered chips become dust about 10 times the cutting volume, and the damage is itching and pain when it adheres to human skin, and the throat feels uncomfortable when the dust is inhaled. We have established a chip disposal technology that suppresses these issues improves the processing environment. A previous study reported that shape of the tool edge is responsible in suppressing the generation of fine cutting chips. Here, we experimentally investigated the effect of tool edge shapes on the chip collection rate and tool life. This time verified whether the same effect can be obtained by using the outside dust-collection method which is known that the dust collection efficiency is low. The tool life is insensitive to coating. A high cutting chip collection rate was obtained even with the outside dust-collection method, which led to an improvement in the working environment.

1. はじめに

現在、新型の旅客機では機体自重量の約50%に炭素繊維強化複合材料(CFRP)が適用されており、従来の機体と比べ機体構造の軽量化が20%、ライフサイクル全体で排出される二酸化炭素の削減量が7%と試算されている。航空機の製造をはじめ、CFRPを加工する現場では未だに手作業で穿孔加工が行われており、切削時のCFRP切りくず(図1)の飛散に関する問題が一部で懸念されている。飛散した切りくずは切削体積のおよそ10倍の粉塵になり、その被害としては、人間の皮膚に付着した場合に痒みや痛みを伴い、粉塵を吸引した場合に喉に違和感が生じる¹⁾。このような作業への健康被害の他、電気機器の防爆対策、工作機械の摺動面への付着および堆積対策の必要性がある。また、この切りくずが遊離砥粒に近い働きをし、工具摩耗を著しく進行させるため工具交換過多による作業への負担が大きい。しかし、この微細な粉塵型切りくずに関する環境問題や、環境改善に関する研究報告は非常に少ない現状である。

これまでに穿孔加工後に生じる切りくずを加工と同時に99%以上集塵回収する装置の開発した²⁾。その中で、工具刃先を鋭利にすることで微細粉塵型切りくずの発生を抑制する知見を得た。本申請では作業環境改善のため、穿孔加工における微細粉塵型切りくずの発生を抑制するとともに、切りくず形状の違いが工具寿命に与える影響を評価する。



図1 穿孔加工で生じる微細粉塵型切りくず

2. 試料および実験方法

2.1 供試材

本研究では図2に示す炭素繊維強化プラスチック(CFRP)を使用した。表1にその仕様を示す。

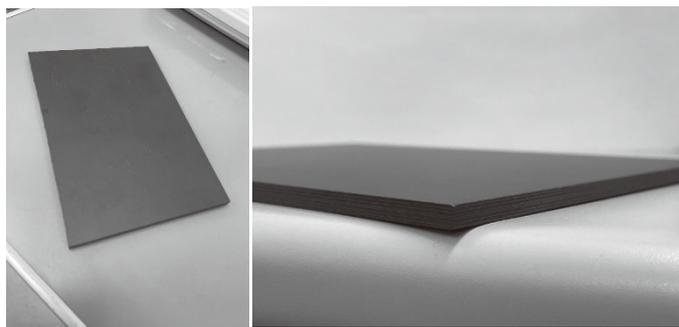


図2 供試材CFRPの外観

表1 CFRPの仕様

Material type	Quasi isotropic (Unidirection)
Fiber orientation (deg.)	0, 45, 90, 135
Ply	26
Thickness (mm)	4
Tensile strength (MPa)	2060
Bending strength (MPa)	1620
Interlaminar shear strength (MPa)	103
Binder	Thermosetting resin
Content rate (%)	60

2.2 切削工具

本研究では、超硬合金(WC)を母材とした工具を用意した。特殊な再研磨により刃先のホーニングを取り除き鋭利にした³⁾。また、再研磨した工具にそれぞれ特性の異なるコーティング処理を行った。

図3に本実験で使用した工具の代表例としてDLCコーティング工具を示す。Non Coat, AlCrSi,

TiAlN, DLC(Diamond Like Carbon), に加え刃先形状の異なる汎用ツイストドリルの5種類を用いた。これらの仕様を表2に示す。

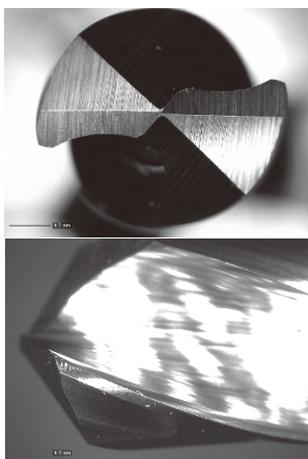


図3 実験に使用した工具
(DLCコーティング)

表2 切削工具の仕様

Diameter (mm)	6				
Point angle (deg.)		138			140
Web thickness (mm)		1.57			-
Chisel edge angle (deg.)		129			-
Relief angle (deg.)		11.3			-
Rake angle (deg.)		26.7			-
Land width (mm)		0.3			-
Thinning width (mm)		0.14			-
Thinning angle (deg.)		140			-
Thinning radius (mm)		0.12			-
Flute length (mm)		35			-
Honing (μm)		-			50~70
Coating	Noncoat	DLC	TiAlN	AlCrSi	General purpose
Hardness (HV)	1400~1800	3000~3500	2400~2600	3000	-
Coating layer thickness (μm)	-	0.5~3	2~4	2~4	-

2.3 実験方法

本実験にはオープン型のNCフライス盤を用いて切削試験を行った。図4に切りくずの集塵回収方法を示す。集塵機と集塵ヘッドの間にサイクロンセパレータを設置し、微細な切りくずを回収できるようにした。また、サイクロンセパレータで取りこぼした切りくずが集塵機側のダストボックスに侵入しないようにホースの出入り口2か所にフィルターを設置した。

集塵ヘッドと工具とのクリアランスは、安全を考慮し20~30mmとした。

それぞれの実験方法の詳細については次節以降に詳細に記す。

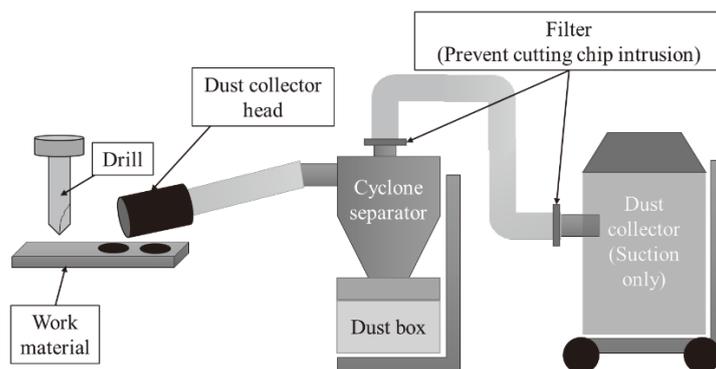


図4 切りくず回収方法の模式図

2.4 切りくず回収率測定方法

本研究では、CFRPにφ6×5個の連続穿孔を行った。NCフライス盤に厚さ4mmのCFRPを固定し、直径6mmのドリルで穴中心間距離8mm、切削速度75m/min、送り量0.05mm/revの条件で試験を行った。

穿孔後、静電気除去ブラシやティッシュを用いてサイクロンセパレータのダストボックス内の切りくずを回収し電子天秤で重量を測定した。サイクロンセパレータと集塵機の間に設置したフィル

ターも集塵前後の重量測定を行い、その差分を実回収量として計上した。

これらを以下の式(1), (2)を用いて切りくず回収率を算出した。

$$\text{試験時に発生した切りくず量(g)} = \text{切削前のCFRPの質量} - \text{切削後のCFRPの質量} \dots\dots (1)$$

$$\text{回収率(\%)} = \frac{\text{実回収量(g)}}{\text{試験時に発生した切りくず量(g)}} \times 100 \dots\dots (2)$$

2.5 寿命試験方法

コーティングが工具寿命に与える影響について評価した。コーティング硬度が最も高いDLCがより大きく差が生じると考えられる。そのため本実験では、Non CoatとDLCを比較する。切りくず回収率測定試験と同様、NCフライス盤に厚さ4mmのCFRPを固定する。直径6mmのドリルをチャックにセットし、穴中心間距離8mm、切削速度75m/min、送り量0.05mm/revの条件で穿孔を行い、5、10、20、40、60、80、100、120、140、160穴目で工具摩耗の測定を行った。

工具摩耗の測定は、目に見える摩耗幅はコーティングが剥がれた痕跡と実際の逃げ面摩耗幅の判別が困難なため消失摩耗の変化を算出し摩耗率として評価した。図5に示すように、基準を決め未使用時の逃げ面幅の任意点3点をマイクロスコープで測定し、X穴目における逃げ面幅を測定し、逃げ面幅の平均を取り、以下の式(3)を用いて摩耗率を算出した。

最大160穴目まで行う。試験中CFRPの裏面に、切り残しが大きく発生し加工穴を塞いでしまった場合、160穴目に到達していない場合でも実験を中止する。

$$\text{摩耗率(\%)} = \frac{\text{0穴目時の逃げ面幅} - \text{X穴目時の逃げ面幅}}{\text{0穴目時の逃げ面幅}} \times 100 \dots\dots (3)$$

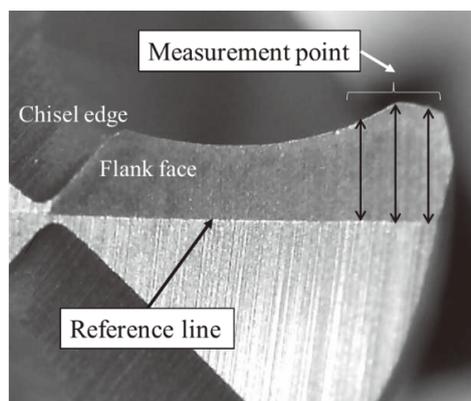


図5 摩耗率測定方法

3. 実験結果

3.1 切りくず回収率測定試験

図6に各工具の切りくず回収率を示す。この結果、切りくず回収率は、コーティングの種類の違いおよび刃先形状の違いによる明確な差異は認められなかった。

コーティングの違いによる切りくず回収率の差が約10%あったが、1%あたりの切りくずの質量が0.011gであるため、誤差の範囲内と考えられる。そのため、コーティングの違いによる切りく

ず回収率に明確な差異はないと言える。

図7に刃先が鋭利工具と、汎用ツイストドリルの切りくずを示す。刃先が鋭利なNon Coat, AlCrSi, TiAlN, DLCの切りくずは汎用ツイストドリルの切りくずに比べ大きくなった。このように刃先形状を鋭利にすることで生成する切りくずの大きさが、汎用ツイストドリルに比べ大きくなるため、切りくず回収率に大きな差が生じると考えていたが、どちらの工具とも明確な差異は認められなかった。

この原因を調べるため、ハイスピードカメラを用いて切削時の観察を行った。結果を図8に示す。刃先が鋭利なNon Coat, AlCrSi, TiAlN, DLC は長い切りくずが生成されるため、図8に示すように連続加工を行った場合、工具に切りくずが巻き付いていた。この巻き付いた切りくずが遠心力で集塵機とは反対方向に飛散していることが確認できた。一方で微細粉塵型の切りくずを生成する汎用ツイストドリルでは、工具への切りくず巻き付きは生じなかったが、生成する切りくずが微細なため、多くは大気中へ飛散していったと考えられる。

これらの結果より、切りくず回収率に明確な差異はなかったが、刃先形状が鋭利なNon Coat, AlCrSi, TiAlN, DLCでは、微細粉塵型切りくずが発生しにくいことが明らかになった。切りくずが大きくなることで粉塵発生を抑制し、作業者および作業環境への悪影響低減でき加工環境改善につながる成果を得られた。

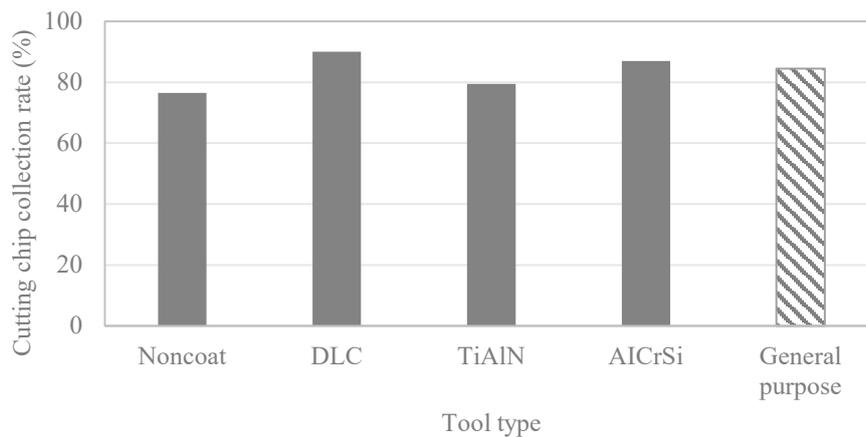


図6 切りくず回収率と工具の種類の関係

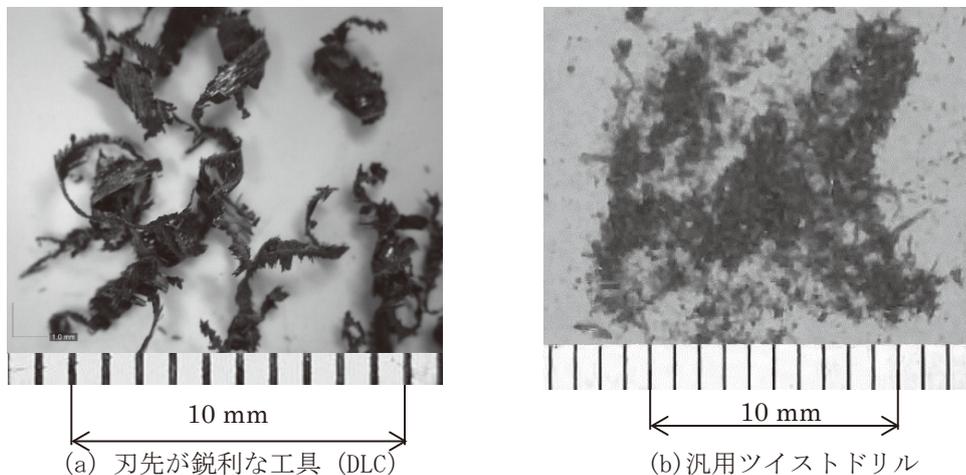


図7 切りくず形状の違い

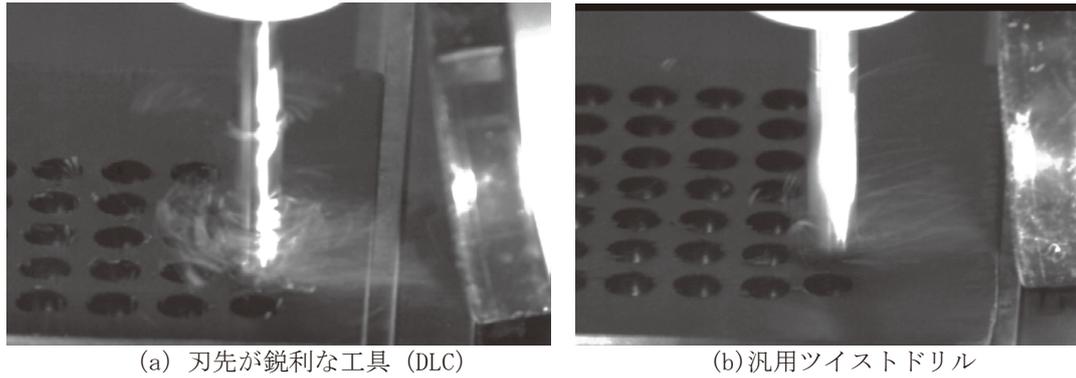


図8 ハイスピードカメラによる観察

3.2 寿命試験結果

図9に工具寿命の評価として工具逃げ面の摩耗率を測定した結果を示す。結果、DLC工具では初期摩耗が大きく、40穴目まで摩耗率がNon coatと比べ1.5倍程度大きかった。これは、コーティング層の剥離が進行していることが影響していると考えられる。60穴目以降は両工具ともに摩耗率の増加傾向に明確な差異は認められない。このような傾向になった原因として、加工開始初期にDLCのコーティング層が剥離し、母基材であるWCが露出したことが影響していると考えられる。初期の段階では、コーティング層の剥離が進行しているため摩耗量が増加しているように見えている。その後、切削に寄与する部分に母基材のWCが露出することで、Non coatと同じ傾向になったと言える。

図10に未使用時の刃先と、160穴加工後の刃先を示す。図10(a)にはNon coatを、図10(b)にはDLCを示す。逃げ面摩耗状態はDLC、Non coatともに差異は認められない。DLCの場合にチゼル部およびシンニング付近の摩耗が大きいように見えるが、これはDLCのコーティングが剥離していることが原因であると言える。また、新品時の刃先形状に比べると160穴加工後はどちらの工具も鋭利さが損なわれていたが、その損傷具合に差異はなかった。

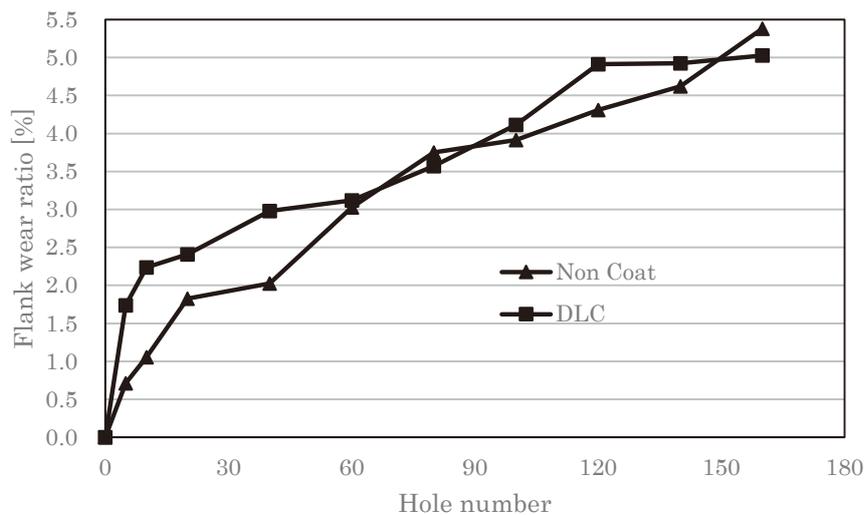


図9 工具摩耗率と加工穴数の関係

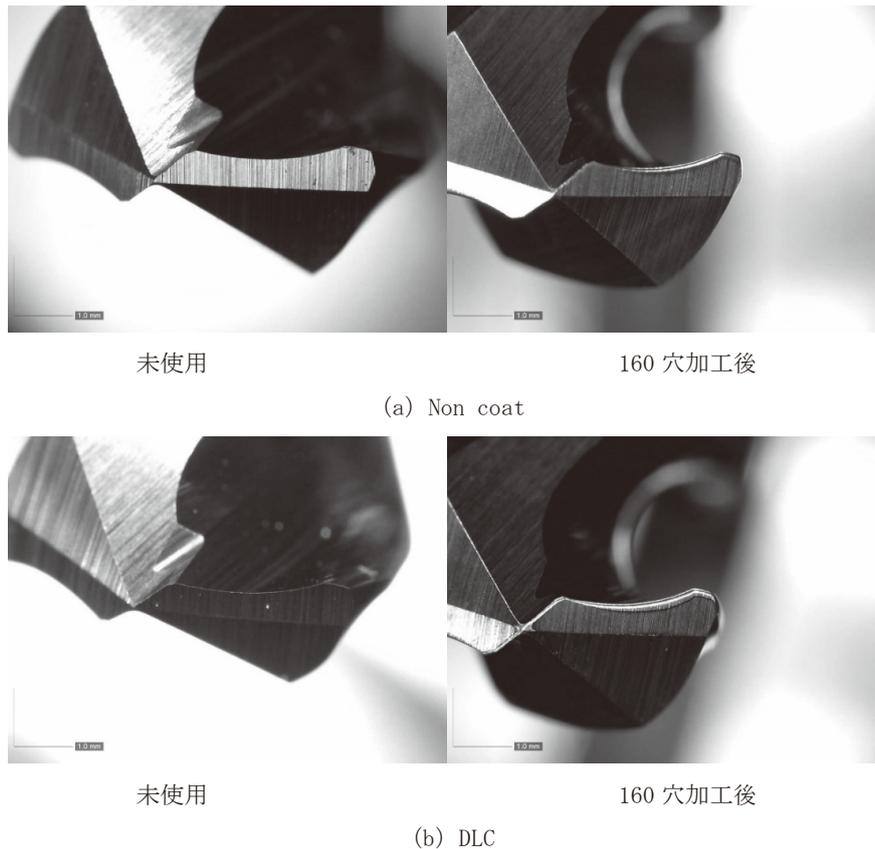


図10 加工前の刃先と160穴加工後の刃先の比較

4. まとめ

本研究では、以下のことを明らかにした。

- ・従来の集塵機を用いた方法でも約80%の切りくずを回収することに成功した。
- ・今回の実験では、刃先形状やコーティングの違いによる切りくず回収率に明確な差異はなかった。
- ・刃先を鋭利にすることで、切りくずが大きくなることが確認でき、加工環境の改善につながる結果を得た。
- ・寿命試験結果から、摩耗率はNon Coat, DLCともに明確な差異はなかった。

参考文献

- 1) Hagino, M., Inoue, T., A.G.Olabi, Aoki, W., and Matsumoto, F., “New Machine Tool on Collecting Cutting Chips of CFRP for Working Environment Improvement,” Journal of Advanced Materials Research, Vol.816-817, pp. 211-215, 2013.
- 2) Masahiro Hagino, Takashi Inoue, Masanobu Mizoguchi, Wataru Aoki and Fumiaki Matsumoto, “Dust Collection Validity and Effect of Hole Shape Accuracy of CFRP with Developed Hollow-Type Drill and Dust Collector,” International Journal of Automation Technology, Vol.10, No.3, pp. 324-333, 2016.
- 3) Masahiro HAGINO, Takashi INOUE, Tsuyoshi FUJITA and Hiroshi USUKI, “Effects of Tool Edge Form during the Drilling of CFRP,” Journal of the Key Engineering Materials, Vol. 749, pp. 141-147, 2017.