

航空エンジン用複合材料のレーザー援用加工に関する研究(第2報): 工具形状およびコーティング材種による切削性の評価

著者	近藤 明彦, 古本 達明, 上田 隆司, 細川 晃
著者別表示	Koudou Akihiko, Furumoto Tatsuaki, Ueda Takashi, Hosokawa Akira
雑誌名	精密工学会学術講演会講演論文集
巻	2013 Spring
号	G15
ページ	459-460
発行年	2013
URL	http://doi.org/10.24517/00050007

doi: 10.11522/pscjspe.2013S.0.459.0



航空エンジン用複合材料のレーザ援用加工に関する研究 (第2報)

—工具形状およびコーティング材種による切削性の評価—
 金沢大学大学院 ○近藤明彦 金沢大学 古本達明 上田隆司 細川 晃

Study on Laser-assisted Milling of Ceramic Matrix Composites
 - Evaluation of tool geometry and coating materials on cutting ability -

Graduate school of Kanazawa University Akihiko KONDOU
 Kanazawa University Tatsuki FURUMOTO, Takashi UEDA and Akira HOSOKAWA

Laser-assisted machining (LAM) is a processing method that is used to make the processing of difficult-to-cut materials and improved machinability. This paper deals with the LAM of SiC-based ceramic composites materials (CMCs). The laser beam is used as a heat source and irradiated to the CMCs surface. In this paper, the machinability of CMCs with and without laser assist is investigated. The influence of the cutting geometry and the coating materials on the machinability is evaluated. The results showed that the cutting force decreased with increasing the laser power. The cutting performance with the radius end mill was superior to that of the square end mill. The diamond coating tool was most effective for cutting the CMCs. The tool wear of diamond cutting tool was 97% smaller than that of non-coated tool.

1. 緒言

航空分野では、航空機構造の軽量化、長寿命化、燃費改善などを目的に先進複合材料の適用が増加している。使用環境温度が低い胴体部や翼では、アルミニウム合金の代替として炭素繊維強化プラスチックが開発され、最新機である Boeing787 では 50%以上適用されている⁽¹⁾。一方、エンジン部などの使用環境温度の高い部位では、ニッケル基超合金に替わる材料としてセラミック基複合材料(CMC)が検討されている。CMC は、高温耐熱性、高耐摩耗性、高剛性、高化学的安定性を有する材料である。そのため、従来の耐熱材以上の高温域での使用が可能となり、ニッケル基超合金に比べ大幅な燃費向上が期待されている⁽²⁾。

しかし、CMC は難削材であるためエンドミルやドリルなどによる加工では工具摩耗が激しく、現在は研削による表面加工が主に行われている。そのために、CMC の加工には加工コストや加工効率の点で課題を有している。本研究では、レーザを用いて CMC 表面を局所加熱し、加熱部を切削するレーザ援用加工の可能性を検討している。形状やコーティング材種の異なる工具を用いて、CMC 材の切削性について評価すると共に、レーザ援用加工の効果について調べたので以下に報告する。

2. 実験方法

2.1 レーザ援用加工概略

実験装置の概略図を図 1 に示す。被削材の CMC は、厚さが 4mm である。材料表面でのビーム形状は図 2 に示す

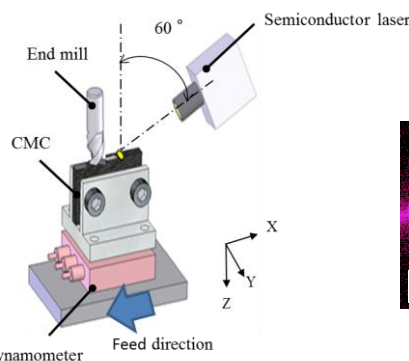


Fig.1 Experimental set up for laser assisted milling

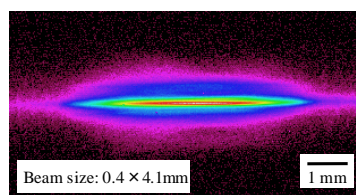


Fig.2 Beam profile at focal spot

ように 0.4mm×4.1mm の楕円状である。レーザは垂直方向に対して 60° 傾けた位置から照射する。レーザ光はエンドミルの前方材料表面を照射するように設置する。つまり、局所的に加熱された CMC 上面をエンドミルで切削することになる。実験条件を表 1 に示す。レーザ照射位置と工具刃先の距離は 5mm とする。直径 10mm の 4 枚刃エンドミルで Z 軸方向切り込み 0.1mm で表面切削を行う。切削抵抗は CMC を固定しているジグの下に設置した切削動力計を用いて測定した。工具回転数を 1300rpm, 被削材の送り速度を 65mm/min とした。切削動力計からの出力は、工具送り方向に生じる分力を F_x , 工具送り方向に対して垂直に生じる分力を F_y , 工具の軸方向に生じる分力を F_z と定義した。

2.2 レーザ出力が切削性に及ぼす影響

実験で使用したのは、直径が 10mm のラディアスタイプの PVD コーティング工具である。レーザ照射による局所加熱が切削性に与える影響を調べるため、表 1 に示すように Z 軸方向に切り込みを 0.1mm と一定として、レーザ出力を最大 120W まで変えながら切削を行い、切削抵抗を測定して評価した。また、切削後の工具刃先について、工具摩耗を光学顕微鏡で観察した。

2.3 工具の形状が切削性に及ぼす影響

実験に使用したのは、直径が 10mm のラディアスタイプ、スクエアタイプの 2 種類の PVD コーティング工具である。表 1 に示すよう Z 軸方向の切り込みを 0.1mm とし、レーザ出力を 60W と一定として行い、切削抵抗を測定して評価し

Table 1 Experimental condition

Revolution	1300 rpm
Axial depth of cut	0.1 mm
Cutting length	10mm
Feed speed	65 mm/min
Distance between irradiation area and cutting position	5.0mm
Beam diameter	0.4×4.1mm

た。また、切削後の工具摩耗について、光学顕微鏡で観察した。

2.4 工具のコーティング材種が切削性に及ぼす影響

実験に使用したのは、直径が 10mm のスクエアエンドミルであり、コーティング材種の異なる 3 種類（ノンコーティング、PVD コーティング、ダイヤモンドコーティング）を用いた。実験条件、評価方法は 2.3 と同様とする。

3. 実験結果および考察

3.1 レーザ出力が切削性に及ぼす影響

図 3 にレーザ出力の違いによる切削抵抗の変化を示す。切削抵抗は、レーザ出力が大きくなるにつれ減少し、特にレーザ出力を 60W にしたときの減少幅が大きくなった。これは、レーザパワーが大きくなるにつれて加熱範囲が深くなり、より多くの切削部が熱せられたためと考えられる。図 4 に示すのはレーザ援用無しで切削後の工具の底刃(a)と 120W のレーザパワーでレーザ援用加工した工具の底刃(b)を光学顕微鏡で観察した結果である。レーザ援用加工を行うことで摩耗が抑制されていることがわかる。このことから、CMC に対しレーザ援用加工が有効であることが確認された。

3.2 工具の形状が切削性に及ぼす影響

図 5 は工具形状による切削抵抗を比較した結果である。また、図 6 は各工具の底刃を光学顕微鏡で観察した結果である。切削抵抗は、3 方向ともラディアス工具が抵抗を抑制できていることが確認された。また、摩耗幅に大きな違いは見られなかったが、スクエアタイプは工具刃先が大きく欠損していた。

3.3 工具のコーティング材種が切削性に及ぼす影響

図 7 にコーティングの種類による切削抵抗の比較、図 8

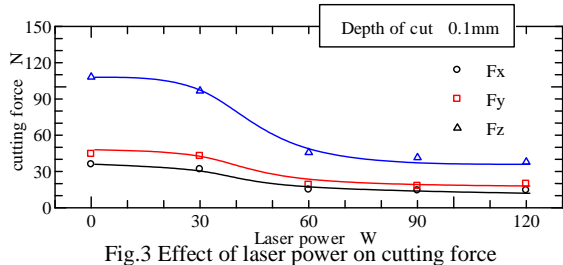
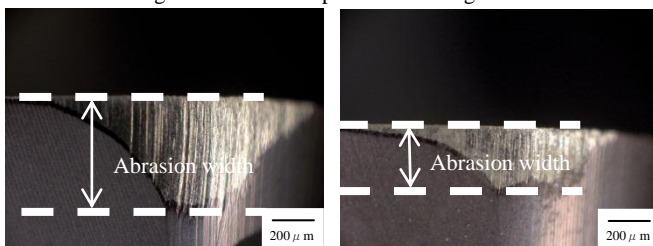


Fig.3 Effect of laser power on cutting force



(a) Without laser assisted

(b) With laser assisted

Fig.4 Comparison of end cutting edge with and without laser assisted

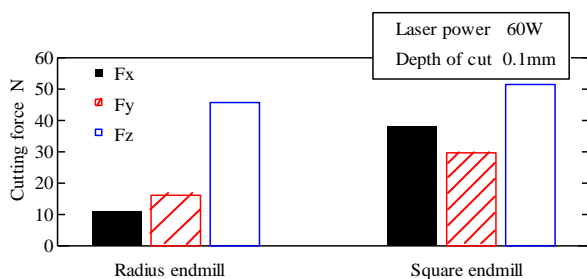


Fig.5 Effect of tool shape with laser-assisted milling on cutting force

にコーティングの種類による工具摩耗幅の割合を、ノンコーティング工具の摩耗を基準として示す。切削抵抗、工具摩耗共にコーティングを施すことにより抑えられている。また、ダイヤモンドコーティングは F_z が F_x と F_y に比べ小さくなっていることから非常に切削性の高い工具であることが分かる。ダイヤモンドコーティングの工具摩耗はノンコーティングに比べ約 97%抑えられており、CMC のレーザ援用加工に非常に効果的であることが分かった。

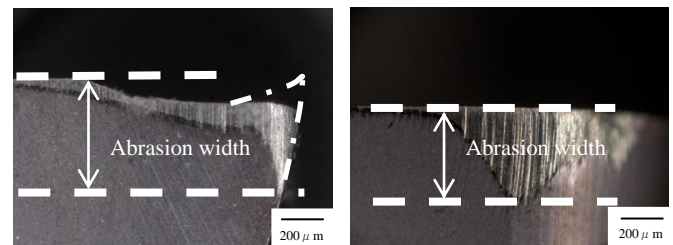
4. 結言

航空機用高温構造部材である CMC について、切削性改善を目的としたレーザ援用加工の効果を評価した。その結果、レーザ援用することで切削性が向上した。また、工具刃先をラディアスタイプにすることで、加工による工具刃先の欠損を抑え、切削抵抗を小さくすることができた。さらに、コーティング工具の中で、ダイヤモンドコーティングが切削性に優れており、CMC の切削に有効であることが分かった。ダイヤモンドコーティングにすることで、大幅に切削性が向上した。

参考文献

- 1) 石川隆司: 航空機における先進複合材の適用と新展開, 日本船舶海洋工学誌, 第 26 号(2009), 27-32
- 2) 小笠原俊夫: 航空宇宙分野における SiC 系セラミックス複合材料開発, プラズマ・核融合学会誌, 80, 1, (2004), 36-41.

本研究は、2012 年度に経済産業省からの研究委託を受けて株式会社 IHI と共同で実施した成果に基づくものです。本研究を進めるにあたって、関係各位からの多くのご協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。



(c) Square end mill

(d) Radius end mill

Fig.6 Comparison of end cutting edge

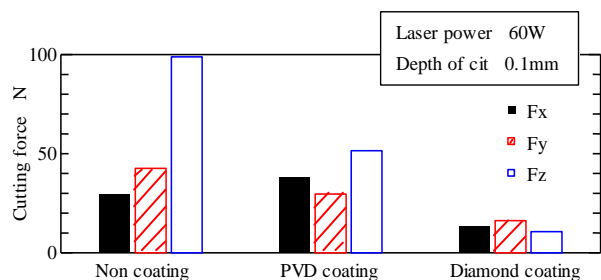


Fig.7 Effect of tool coating on cutting force in laser-assisted milling

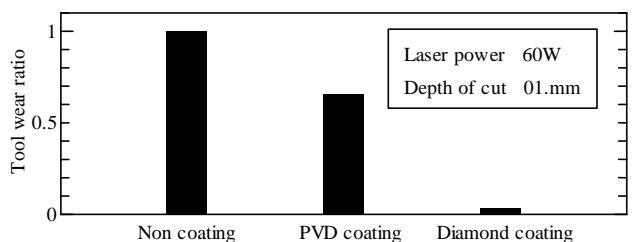


Fig.8 Effect of tool coating on abrasion width in laser-assisted milling