

# 金属光造形複合加工法に関する研究

## 余剰焼結部の生成過程

松下電工株式会社 ○阿部 諭, 東 喜万, 不破 勲, 金沢大学 古本 達明

Study on the Milling Combined Laser Metal Sintering Process

The generation process of the overhang shape

Matsushita Electric Works, Ltd. Satoshi ABE, Yoshikazu HIGASHI, Isao FUWA

Kanazawa University Tatsuaki FURUMOTO

In the Milling Combined Laser Metal Sintering Process, the sticking-out sintering part is formed in the side of the work piece when the following layer is sintered after completing the side of the work piece by milling process. The processing time is long, because the overlapped area to have contained the sticking-out part has to be milled. Therefore, making the sticking-out sintering part small is required. In this paper, it is evaluated how it is formed in the sintering process after the milling process. Width and depth of the sticking-out sintering part is fixed by the sintering in the first layer after the milling process. As the laser irradiation range sticks out outside than the edge, depth of the sticking-out sintering part becomes deep extremely.

### 1. 結論

金属光造形複合加工法<sup>1)</sup>は、金属粉末にレーザを照射して焼結・積層する工程と、所定の積層ごとに切削による表面仕上げ工程を繰り返し、立体形状を作製する方法である。図1に加工プロセスを示す。この方法を金型加工に適用すると、深いリブなども刃長の短いエンドミルで高精度に加工することができ、また、金型をワンプロセスで加工できるので、設計時間・加工時間ともに短く、金型の製作期間を大幅に短縮することができる。

本加工法では、粉末が付着した余剰焼結部を除去し、高密度に焼結された部分を露出する。そのため、レーザは各層の輪郭部よりはみ出した状態まで照射する。図2に余剰焼結部が形成される状態を示す。(a) 切削仕上げ工程が完了した後、(b) 次の層の粉末を供給し、(c) レーザを走査して粉末を焼結し、(d) 端部では粉末領域までレーザがはみ出して照射されるため、余剰焼結部が側方および下方に形成される。

そのため、余剰焼結部を含むように切削領域をオーバーラップさせる<sup>2)</sup>必要があり、オーバーラップ領域が大きいと切削時間の増大につながる。したがって、加工時間の短縮を図るためにはオーバーラップ量をできる限り小さくすることが要求される。

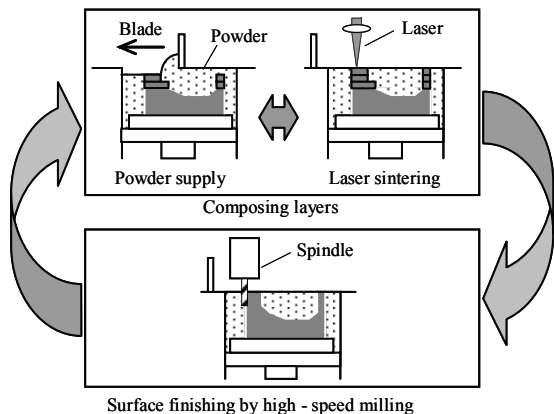


Fig.1 Process image of Milling - Combined Laser Metal Sintering

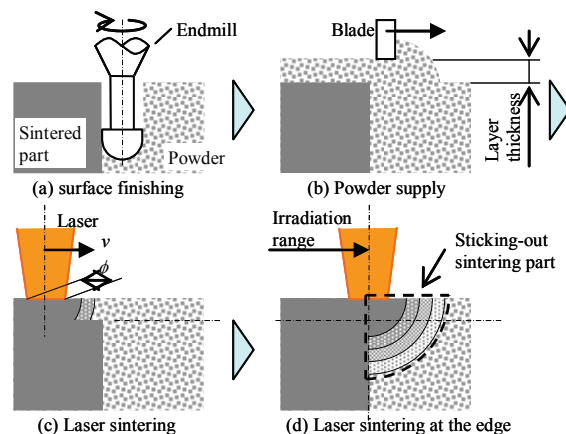


Fig.2 Forming process of the sticking-out sintering part

本報では、切削仕上げ工程後に焼結工程を繰り返し積層するにつれて、余剰焼結部がどのように形成されるかと、レーザの照射範囲が余剰焼結部形成に及ぼす影響を評価する。

### 2. 余剰焼結部の定義

図3に余剰焼結部の断面写真を示す。切削仕上げした側面から、はみ出した焼結部の幅を余剰焼結幅  $S_w$  とする。切削仕上げ工程後に新たに焼結層を積み上げた際に前回切削仕上げした面よりも垂れ下がる深さを余剰焼結深さ  $S_d$  とする。

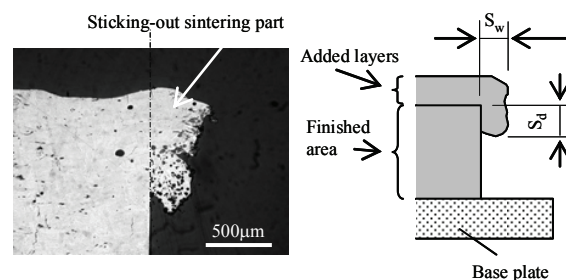


Fig.3 Definition of sticking out sintering part

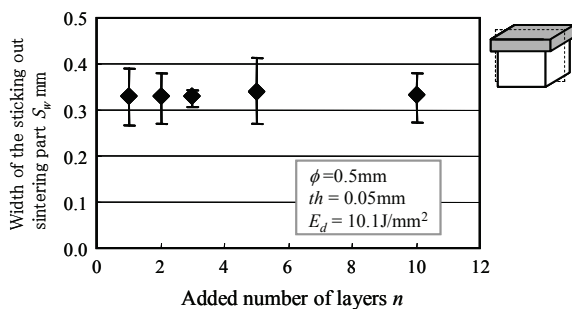
### 3. 積層による余剰焼結部の形成過程

切削仕上げ後の追加積層焼結により、余剰焼結幅、余剰焼結深さがどのように形成されるかを評価した。サイズ  $10 \times 10 \times 10 \text{mm}$  のワークを積層焼結し、側面の切削仕上げを施した後に、1~10層追加して積層焼結した。焼結条件を表1に示す。粉末材料は、平均粒径  $30 \mu\text{m}$  の鉄系粉末<sup>3)</sup>を使用した。エネルギー密度  $E_d$  は、レーザーパワーを  $P$ 、ハッチングピッチ  $\delta$ 、走査速度を  $v$  とするとき  $E_d = P / (v\delta)$  で表される。このエネルギー密度で焼結した時、焼結体はほぼ100%の密度となる<sup>1)</sup>。レーザーの照射範囲は、レーザーの中心と切削された端面が一致する位置までとした。

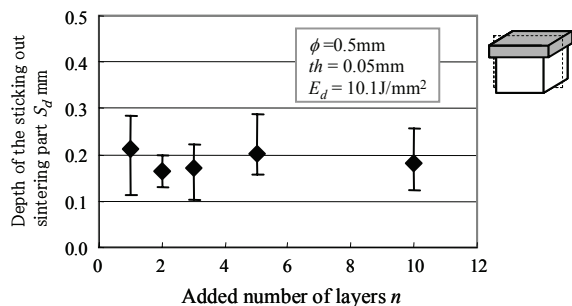
作製したワークを縦方向に切断し、その断面から余剰焼結幅と余剰焼結深さを工具顕微鏡で測定した。余剰焼結幅の測定結果を図4(a)に、余剰焼結深さの測定結果を図4(b)に示す。追加積層焼結を行っても、余剰焼結幅(約0.33mm)、余剰焼結深さ(約0.19mm)ともに、余剰焼結部は拡大せず、切削後の1層目の焼結でそれぞれ決定することがわかる。粉末材料の熱伝導率は  $0.14 \text{W/mK}$  と極端に低いが、焼結されることにより熱伝導率が  $8.0 \text{W/mK}$  と高くなる<sup>4)</sup>ため、1層目で形成される余剰焼結部が熱伝導性の役割を果たし、2層目以降の焼結熱が焼結体側へ流れやすくなるため、さらなる焼結の進行が抑えられると考えられる。この結果より、切削仕上げ工程直後の数層の焼結パターンを制御することで、余剰焼結部を小さくし、加工時間を短縮する可能性が期待できる。

Table.1 Sintering conditions

Laser	CO <sub>2</sub> , pulse (20 kHz), power 300W
Spot diameter $\phi$	0.5 mm
Layer thickness $th$	0.05 mm
Energy density $E_d$	10.1 J/mm <sup>2</sup>

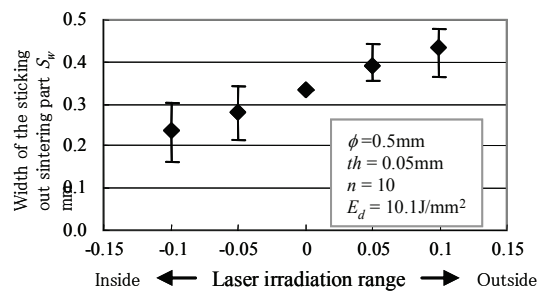


(a) Width of the sticking out sintering part

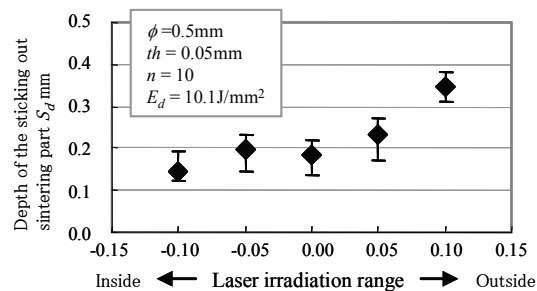


(b) Depth of the sticking out sintering part

Fig. 4 Generating process in the sticking out sintering part by the layer addition



(a) Width of the sticking out sintering part



(b) Depth of the sticking out sintering part

Fig. 5 Relation between the sticking out sintering part and the laser irradiation range

### 4. レーザ照射範囲が余剰焼結部形成に及ぼす影響

レーザーの照射範囲が余剰焼結部形成に及ぼす影響を検討するため、レーザー中心の照射範囲を切削された端面より0.1mm内側から、0.1mm外側まで変化させ、余剰焼結量を評価した。10層追加積層焼結し、余剰焼結幅と余剰焼結深さを測定した。ワークの作製方法、測定方法は前項と同様である。測定結果を図5に示す。余剰焼結幅は、照射範囲に比例していることがわかる。一方、余剰焼結深さは、レーザーの中心が端面より内側の場合はあまり変化がないが、照射範囲が外側に広がるにつれてより深くなる。これは、レーザーが外にはみ出ると、エネルギーが高い中心部が粉末へ直接照射されるため、より深く焼結されるためと思われる。

### 5. 結論

金属光造形複合加工法において、切削仕上げ工程後の積層焼結工程での余剰焼結部の形成過程、およびレーザー照射範囲と余剰焼結量との関係を評価し、以下の結果を得た。

- 1) 余剰焼結幅、余剰焼結深さともに、追加積層による拡大は見られず、切削後の1層目の焼結で決定される。切削仕上げ工程直後の数層の焼結パターンを制御すれば、余剰焼結部を小さくする可能性が期待できる。
- 2) レーザの照射範囲が余剰焼結量に及ぼす影響を評価し、レーザーの中心が端面より外にはみ出ると、余剰焼結部は下方へ垂れ下がる。

本研究は、地域新生コンソーシアム[金属光造形と成形技術の高度化による企業連携グリッドモデル構築](H18-19)の成果である

### 参考文献

- 1) 阿部, 他 4 名: 松下電工技報, Vol.53, No.2(2005), pp5-11.
- 2) 東, 他 7 名: 特許第 3405357 号
- 3) Isao Fuwa: Proc. 8th Int. Conf. on Rapid Prototyping, (2000) 413.
- 4) 古本, 他 6 名: 2007 年度精密工学会春季大会学術講演会論文集