

# 板材のレーザフォーミングにおける表裏温度差の変形メカニズムへの影響

金沢大学自然科学研究科 ○千徳英介 金沢大学工学部 上田隆司, 山田啓司, 細川晃, 田中隆太郎

## Effect of Temperature Difference on Deformation Mechanism in Laser Forming

Kanazawa University Eisuke SENTOKU, Takashi UEDA, Keiji YAMADA, Akira HOSOKAWA, Ryutaro TANAKA

A thin stainless steel is bended by the irradiation of CO<sub>2</sub> laser. Then both temperatures at irradiated and opposite surfaces are measured using two sets of the two-color pyrometer with an optical fiber. In this study, we investigate the effect of temperature difference between irradiated and opposite surfaces on deformation mechanism. The increase of diameter of laser beam and the decrease of thickness of material make the temperature difference smaller and change deformation mechanism from Temperature Gradient Mechanism (TGM) to Buckling Mechanism (BM).

### 1. 緒言

レーザフォーミングは、レーザ照射によって発生する熱応力を塑性変形に利用する加工法である。本加工法では加工条件によって変形メカニズムが異なることが知られている。

最も一般的な温度勾配メカニズム(TGM)による加工では、加工物はレーザビーム側へと変形する。一方、バックリングメカニズム(BM)では、レーザ照射時の熱応力による材料の座屈によって変形が生じるため<sup>1)</sup>、その変形の方向が一定しない。変形メカニズムがTGMからBMへと変化するには、表裏温度差が小さい必要があり、加工条件としてレーザビーム径が加工物の板厚の約10倍以上となる必要があると報告されている<sup>1)</sup>。

このようにレーザフォーミング加工の変形メカニズムの解明に対して、加工時の板材の温度や表裏温度差などは非常に重要であるが、レーザ照射部のような微小な領域の温度測定は困難であり、温度測定の報告は非常に少ない。本研究では光ファイバ型2色温度計を使用してレーザ照射部の温度を加工物の表面、裏面から測定し、表裏温度差、ビーム径、板厚が変形メカニズムの変化に及ぼす影響について調べた。

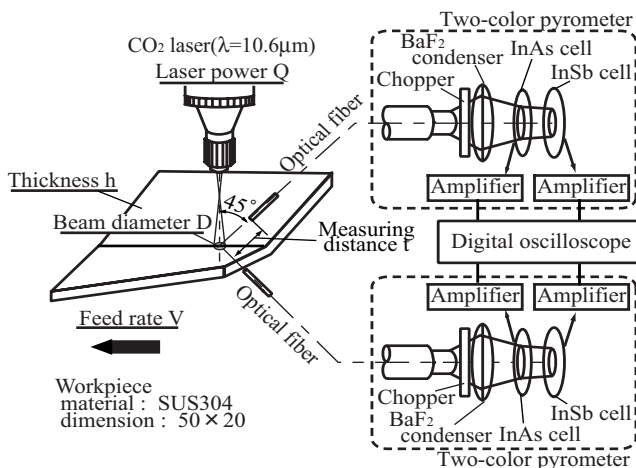


Fig.1 Scheme of experimental apparatus

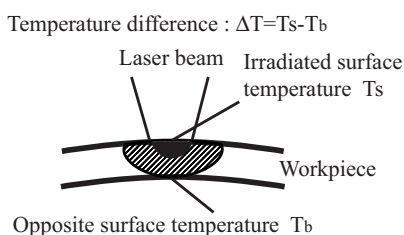


Fig.2 Temperature measured

### 2. 実験方法

#### 2.1 実験装置

図1に実験装置の概略図を示す。加工物にはSUS304板材を用いた。一定の送り速度Vでステージを移動させ、CO<sub>2</sub>レーザ光を加工物上に走査する。このときレーザ照射部表面と裏面の温度を測定している。光ファイバはレーザ光軸に対し45°傾けてレーザ照射部中心と照射部裏面に向け、測定距離t=4mmだけ離して設置する。本実験では加工物が移動するため加熱部と光ファイバの位置関係は変わらず、常に加熱部の温度測定を行うことができる。光ファイバで受光した赤外線はチョッパ、BaF<sub>2</sub>レンズを介して2層構造の光電変換素子(InAs, InSb素子)へ伝送され、得られた2素子からの出力の比を校正曲線より温度へ換算している<sup>2)</sup>。表1に実験条件を示す。レーザパワーQ、送り速度V、ビーム径Dをそれぞれ変化させて、図2に示すように加工中の表面温度T<sub>s</sub>、裏面温度T<sub>b</sub>を測定し、表裏温度差ΔTを算出している。変形角度θを加工後に測定した。

#### 2.2 TGM, BMの判断方法

図3に板厚h=0.2mm、ビーム径D=1.82mm、送り速度V=2.5~10mm/sで加工を行ったときのレーザパワーQと変形角度θの関係を示す。図においての正の角度と負の角度は、図4に示すようにそれぞれレーザ照射側への変形とその反対側への変形と定義する。図5からこれらの加工条件ではBMによる変形が生じており、同条件であっても正、負の角度がランダムに生じていることがわかる。本論文では、ある加工条件での変形がBMであるかどうかを判断するために、加工実験は各条件につき5回づつ行い、一度でも負の角度が生じた場合をBMによる変形とした。なお、測定温度は5回の平均値である。

### 3. 加工条件と表裏温度差の変形メカニズムへの影響

#### 3.1 板厚の影響

図5は板厚hと温度差ΔTの関係である。図においてシンボルは同条件での5回の加工のうち1回でも負の方向の変形が生じ、BMによる変形と考えられる点を示している。図が

Table.1 Experimental conditions

Material		SUS304
Dimensions	mm	20×50
Thickness h	mm	0.2-0.5
Laser power Q	W	100-1048
Beam diameter D	mm	1.82-2.62
Feed rate V	mm/s	2.5~12.5
Measuring distance t	mm	4

ら板厚が大きいほど  $\Delta T$  が大きくなることわかる。

図5からビーム径  $D=2.22\text{mm}$  において、板厚  $h=0.3\text{mm}$  では負方向の変形が見られるが、 $h=0.4, 0.5\text{mm}$  では正方向の変形のみが生じた。 $D=2.62\text{mm}$  では  $h=0.3, 0.4\text{mm}$  では生じた負方向の変形が  $h=0.5\text{mm}$  では見られない。このことから板厚の減少により BM へと変化することがわかる。

3.2 ビーム径の影響

図5はレーザービーム径  $D$  と温度差  $\Delta T$  の関係である。図から  $\Delta T$  は  $D$  が大きくなるほど、小さくなっていることがわかる。 $h=0.3\text{mm}$  ではビーム径を小さくした場合も負方向の変形が生じ、 $h=0.5\text{mm}$  ではいずれのビーム径でも負方向の変形は生じなかった。しかし  $h=0.4\text{mm}$  では  $D=1.82, 2.22\text{mm}$  において正方向の変形のみであったが、 $D=2.62\text{mm}$  では負方向の変形が生じた。このことからビーム径が大きくなることで BM へと変化することがわかる。

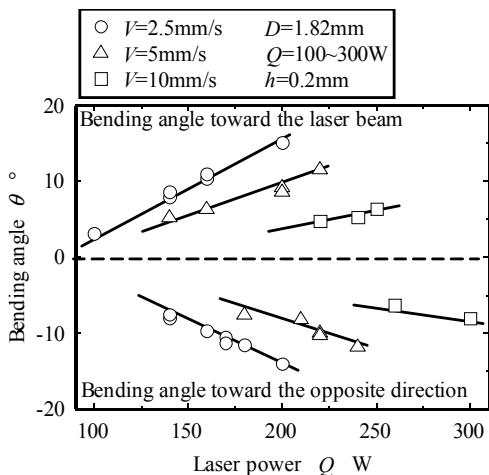


Fig.3 Relations between laser power and bending angle

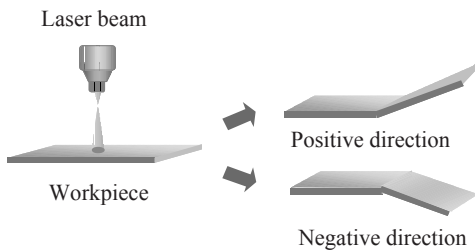


Fig.4 Definition of bending directions

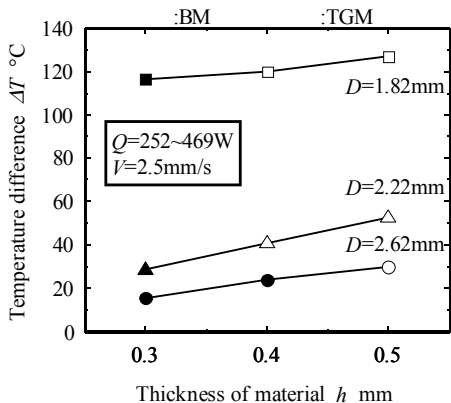


Fig.5 Influence of thickness on temperature difference

3.3 表裏温度差の影響

図7は、図5, 6においてビーム径の変化によってメカニズムの変化が確認できた  $h=0.4\text{mm}$  において  $Q, V$  を変化させたときの表裏温度差と負方向に変形した割合の関係である。図から  $D=2.22\text{mm}$  では、温度差が小さい場合には負方向の変形が見られるが、大きくなると見られなくなっており、表裏温度差  $\Delta T$  の低下によって BM へと変化することがわかる。また  $D=1.82\text{mm}$  では、 $D=2.22\text{mm}$  の場合よりも小さな  $\Delta T$  であっても負方向の変形が表れず、 $D=2.62\text{mm}$  では、 $D=2.22\text{mm}$  の場合より大きな  $\Delta T$  であっても負方向の変形が表れた。このことからビーム径が大きいほど BM に変化する温度差は小さくなることわかる。ただし、図に見られるような  $\Delta T$  の減少とともに負方向への変形の割合が増加する関係についてはさらに検討が必要である。

4. 結言

板材のレーザーフォーミング加工を行い、光ファイバ型2色温度計を使用してレーザー照射部の表面、裏面温度を測定し、表裏温度差が変形メカニズムの変化に及ぼす影響について調べた。板厚が小さくなり、ビーム径が大きくなると変形メカニズムが BM へと変化した。また表裏温度差が小さくなることで変形メカニズムが BM へと変化することがわかった。

参考文献

- 1) F.Vollertsen : Mechanisms and models for laser forming, Laser, Assisted Net shape Engineering Proceedings of the LANE'94, Vol.1 (1994) 345.
- 2) 上田隆司, 山田啓司, 及川志郎, 細川晃: レーザーフォーミング加工に関する基礎的研究, 精密工学会誌, 67, 2(2001)300.

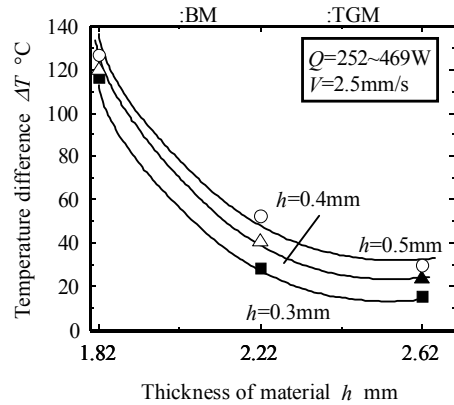


Fig.6 Influence of beam diameter on temperature difference

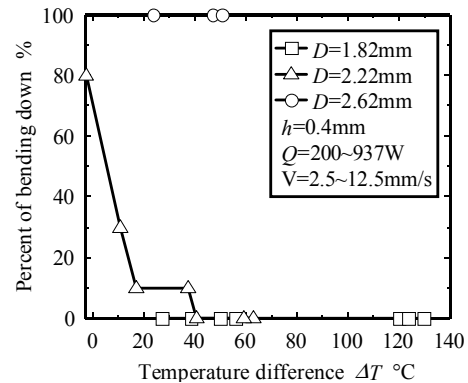


Fig.7 Influence of temperature difference on bending direction