

# フェムト秒レーザー誘起衝撃波による薄板の逐次曲げ加工

レーザー計測制御プロジェクトスタッフ 鷺坂芳弘

## Incremental Sheet Metal Bending Using Shock Waves Induced by Femtosecond Laser

Yoshihiro Sagisaka

### 1. はじめに

フェムト秒レーザーはパルス幅が fs( $=10^{-15}$ s)単位と極めて短い超短パルスレーザーである。超短パルスゆえに非熱的な加工が可能であるが、加工効率が悪く、設備も高価であるため、フェムト秒レーザーを応用した加工は実用化が遅れている。そこでフェムト秒レーザー加工機の付加価値向上を目的として、薄板の曲げ加工に着目した。

薄板はスプリングバックが大きいいため曲げ精度の出し難い材料である。スプリングバックの小さい曲げ加工としては熱応力を利用したレーザーフォーミング<sup>1)</sup>が既に実用化されている。また水中での短パルスレーザー誘起衝撃波を利用して、板を逐次的に曲げる方法が考案され、航空機外板の成形への応用が研究されている<sup>2)</sup>。

フェムト秒レーザーは熱影響が少なくレーザー誘起衝撃波を効率よく発生できるという特徴があるので、後者と同じ原理で薄板の逐次曲げに適用することを試みた。本稿では本加工法の基礎的な加工特性を調査した。

### 2. 加工原理

フェムト秒レーザーを金属に集光照射すると金属表面が瞬間的にイオン化され、高圧のプラズマが発生する。プラズマは膨張しようとするが、周囲の雰囲気中に膨張を拘束されることで衝撃波が発生する。衝撃波が金属の降伏応力を超えれば、図1のように

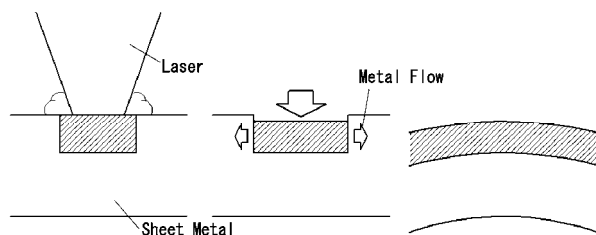


図1 加工原理図

金属表面は縦に圧縮されると共に横方向への材料流動を生じる。塑性変形域が板材の厚さより小さいと照射面のみが延ばされるため、板材のある面積にこの変形を蓄積することで、板材に上側に凸となる方向に有効な曲げを与えることができる。

### 3. 実験方法

使用したレーザーはチタンサファイア発振のフェムト秒レーザーで、中心波長約 810nm、パルス幅約 80fs、発振繰り返し周波数は 1Hz とした。レーザー光は焦点距離  $f=35\text{mm}$  のレンズを通して試験片に集光照射した。

図2に実験方法の概略を示す。試験片として板厚

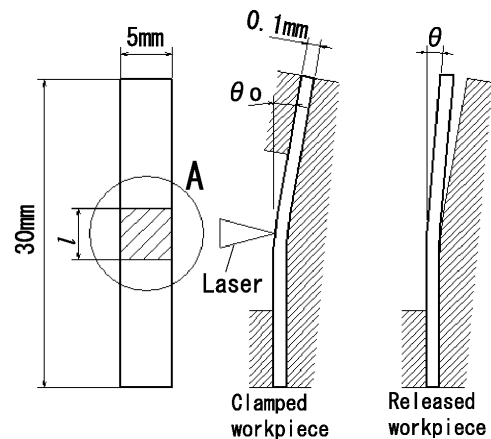


図2 実験方法

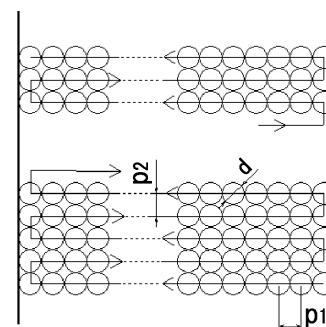


図3 走査経路

【ノート】

0.1mmの純アルミ板材を30mm×5mmにせん断したものをを用いた。照射領域の長さ  $l=4\text{mm}$  とした。試験片はXYZテーブルに固定され、集光点に対して試験片を移動させることでレーザー光を図3のように走査させた。ピッチ  $p_1$  と  $p_2$  は共に  $100\mu\text{m}$ 、スポット径も  $d=100\mu\text{m}$  で一定とした。曲げ加工は複数回走査を繰り返すことで行った。

板材に予備曲げを与えた状態で加工すると予備曲げ応力が変形を助長して曲げ効率が向上する。そこで板材を曲げダイス上に拘束して予備曲げを与えた状態で照射を行った。予備曲げ角  $\theta_0$  は試験片の弾性変形範囲内から  $10^\circ$  を選択した。また水中での衝撃波は水の慣性により空気中の10~100倍になるといわれるため、雰囲気の影響を比較するため工全体が水槽に浸かることが出来る構造とした。

4. 実験結果と考察

図4に水中、図5に空気中での走査回数に対する曲げ角  $\theta$  の変化を示す。走査回数0での  $\theta$  のばらつきは試験片製作時の歪みによるものである。空気中では衝撃波が小さいため水中より  $\theta$  は小さくなった。走査回数とパルスエネルギー  $E$  が大きいほど  $\theta$  は大きくなるが、 $\theta$  が予備曲げ角  $\theta_0=10^\circ$  に近づくと変形が収束した。これは予備曲げによる曲げ応力が小さくなるためと考えられる。 $E$  が大きいと  $\theta$  は  $\theta_0$  より大きい値に収束するが、適度な値に制御すれば  $\theta_0$  に収束させることが出来、製品精度の面で有益である。またレーザー誘起衝撃波を利用する加工は水膜が必須とされていたが、本法は水膜がなくても変形が得られ、設備や防錆の面で都合が良い。

図6に空気中にて  $E=150\mu\text{J}$  で7回走査した試験片形状を示す。照射を行っていないダミーは拘束をはずすとスプリングバックしてほとんど曲げを生じていないのに対し、照射した試験片は曲げダイスと同じ曲げ角が得られている。

5. まとめと今後の展望

レーザー誘起衝撃波を用いて薄板の逐次曲げを実施し、空気中においても正確な曲げ角を得られる可能性を示した。本法は曲げ以外にも図7のようなプ

レス部品の矯正にも応用が可能である。今後このような応用を検討していく。

参考文献

- 1) 大津雅亮他: 塑性と加工, 42 (489), 49-52 (2001)
- 2) Lawrence Livermore National Lab. : S&TR, Oct.2003, 16-17(2003)

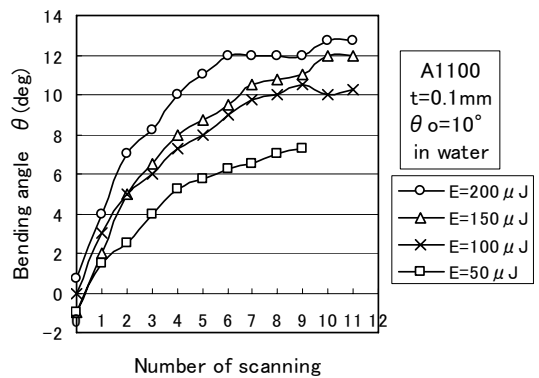


図4 水中での曲げ角の変化

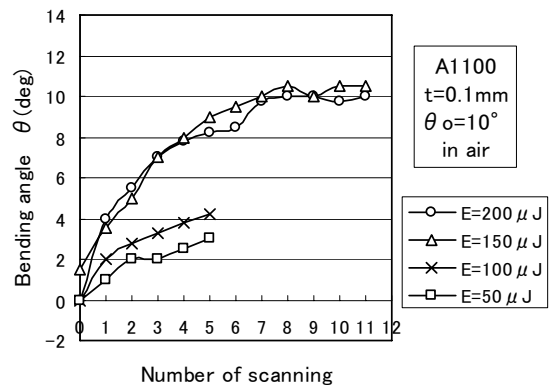


図5 空気中での曲げ角の変化

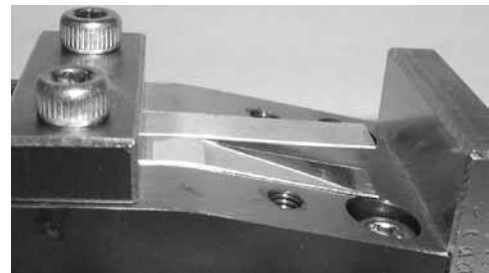


図6 照射済試験片 (手前側) とダミー (奥側)

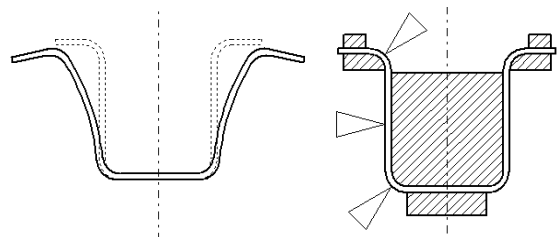


図7 プレス部品の曲げ矯正の概念図