

フェムト秒レーザーによるレーザーピーンフォーミング —バネ材薄板の曲げ加工への応用—

レーザー計測制御プロジェクトスタッフ 鷺坂芳弘

Laser Peen Forming with Femtosecond Laser

—Application for bending of thin sheet metals for spring—

Yoshihiro Sagisaka

1. はじめに

板材の曲げ加工には生産性の高いプレス加工を採用するのが一般的である。しかし薄板や、ヤング率が小さい材料、降伏応力の大きい材料はスプリングバック（弾性回復）が大きいいため、プレス加工では形状や曲げ精度が出しにくい。バネ材の薄板はそのような成形が困難な材料の代表といえる。

ところで、短パルスレーザーを物質表面に集光照射すると照射部に衝撃波を誘起できることが知られている。この衝撃波を板材の表面で誘起すれば板材を湾曲させて成形できることが知られており、レーザーピーンフォーミング（以下LPF）として航空機の外板の成形に应用されている¹⁾。LPFは逐次成形でスプリングバックの影響が小さいため、バネ材の曲げ精度向上に有効である。

一方、フェムト秒レーザーは超短パルスレーザーの一種で、衝撃波も誘起できる上に被加工物に与える熱影響が小さいという特徴がある。微細部品や薄板の場合、熱影響が発生するとそれが一部に生じたものであっても、影響度が相対的に大きくなってしまふ。よって、熱影響の小さいフェムト秒レーザー

は微細部品や薄板のLPFに好ましいといえる。

そこで本報ではフェムト秒レーザーによるLPFを薄板の曲げ加工法として確立することを目的として、バネ材であるリン青銅とSUS304の薄板の曲げ加工に適用し、各種形状の曲げ加工を試みた。

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表面が瞬時にイオン化されて高圧のプラズマが発生する（レーザーアブレーション）。プラズマは急激に膨張しようとするが雰囲気圧が膨張を妨げることで板材にも衝撃波が伝播する。照射面は図1のように衝撃波の圧力で圧縮されるとともに板面方向に延ばされる。レーザーを走査させてこの変形を蓄積することで照射面が凸となる方向に板を曲げることができる。

既存のLPFではナノ秒レーザーが用いられるが、衝撃波を大きくするため照射面に黒鉛皮膜や水膜を張る必要があった。フェムト秒レーザーではそれら無くても加工が可能なが判明している²⁾。

3. 実験方法

使用したレーザーおよび加工装置は既報³⁾と同じである。図2に実験方法の概略を示す。試験片は板厚 $t=0.05\text{mm}$ のリン青銅およびSUS304を $30\text{mm} \times 5\text{mm}$ にせん断したものである。試験片の片端をクランプで挟んでXYZテーブル上に固定した。レーザー光はXYZテーブルを駆動することで走査させ、図中A部の斜線部に照射した。照射領域の長さ w および

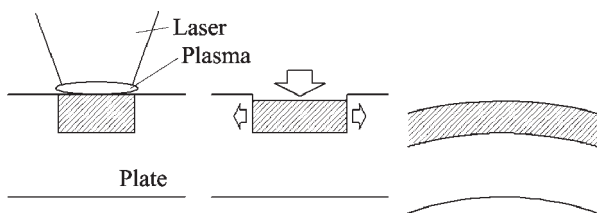


図1 レーザーピーンフォーミング (LPF) の加工原理

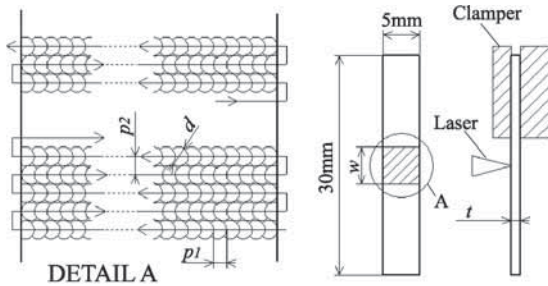


図2 実験方法概略

その位置は目標形状に応じて任意とした。図2の左図に走査経路を示す。ピッチ p_1, p_2 およびスポット径 d は目標とする形状に応じて変化させた。また照射は空気中で行い、板表面に被膜処理等は行わなかった。

4. 結果

図3から図10に曲げ加工した試験片の例を示す。いずれの材料でも空気中において有効な曲げ加工ができた。

図3から図6はパルスを高密度に照射して大角度に曲げた例である。プレス加工ではスプリングバック分を見越して過度の曲げを与える必要があるが、このような大角度の曲げを与えようとする加工中に試験片が自己接触してしまうため成形できる形状が制限される。LPFではスプリングバックが無いためこのような曲げが可能となる。

図7はレーザーを試験片に対して斜めに走査させて斜め曲げした例である。レーザーを走査する方向を変えることで曲げの方向を選択できる。図8は照射領域を複数に分けた例、図9は表と裏に交互に照射した例である。照射領域を適切に選択することで複数の曲げ変形を組み合わせることができ、より複雑な形状に成形できる。図10は試験片の先端を小さなスポットで加工し、根元に行くほど徐々にスポットを大きくしていった例である。空気中ではフルエンス（単位面積あたりのパルスエネルギー）が大きいほど大きな曲率が得られる²⁾ため、スポットを変化させることで連続的に曲率を変えることが可能である。これらはいずれもLPFの自由度の高さを示す加工例である。

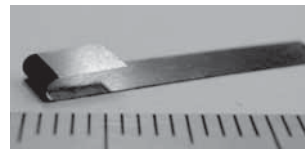


図3 U曲げ（リン青銅）

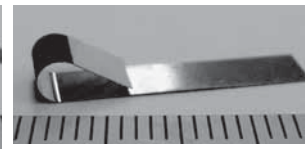


図4 カール形状（リン青銅）

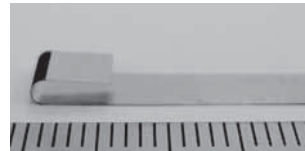


図5 U曲げ（SUS304）

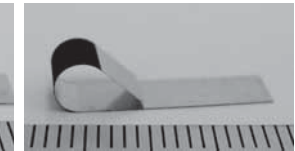


図6 カール形状（SUS304）

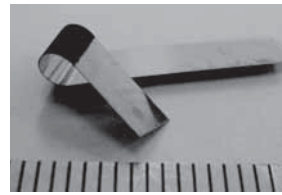


図7 斜め曲げ（リン青銅）

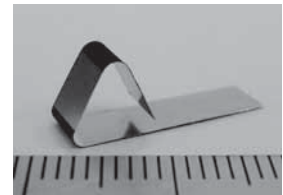


図8 三角曲げ（SUS304）



図9 波形状（リン青銅）

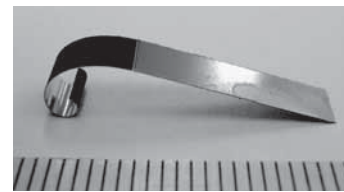


図10 スクロール形状（リン青銅）

5. まとめ

フェムト秒レーザーをもちいたLPFがバネ材薄板の曲げ加工として有効であることを確認した。また本法は照射条件や走査経路を適切に選択することで複雑な曲げ形状にも適用が可能である。

参考文献

- 1) Lawrence Livermore National Lab. : S&T R, Oct.2003, 16-17(2003).
- 2) 鷲坂芳弘：2008年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, 967-968(2008).
- 3) 鷲坂芳弘：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, 静岡県工業技術研究所研究報告, 1, 117-118(2008).