

フェムト秒レーザー誘起衝撃波を利用した微細塑性加工

レーザー計測制御プロジェクトスタッフ 鷺坂芳弘

Micro Metal Forming 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フェムト秒 ($fs = 10^{-15}s$) 単位と極めて短いパルスレーザーで、他のレーザーには無い特異な加工特性を持っている。しかし、フェムト秒レーザーを利用した加工はコスト上の理由から実用化が遅れている。本稿ではフェムト秒レーザーの用途拡大による多機能化を目的として、レーザー誘起衝撃波による塑性変形を利用したかしめ接合法と金属箔への輪郭の転写法を考案し、機能確認と基礎的な加工特性の調査を行った。

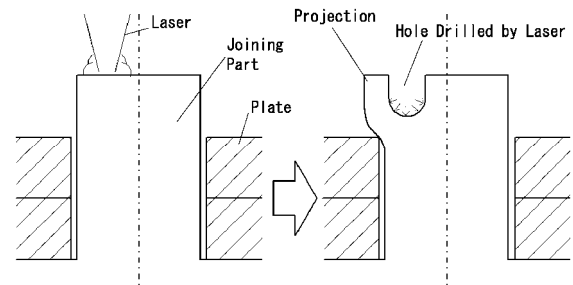


図1 微細かしめ接合原理図

2. 微細かしめ接合法

2.1 加工原理

フェムト秒レーザーを金属表面に集光照射するとアブレーションにより照射部に高圧のプラズマが発生する。水中では水の慣性力によりプラズマの膨張が妨げられるため、金属を塑性変形させるのに十分な衝撃波が得られる。この塑性変形域は照射スポット程度の小さなものであるため微細加工に適している。図1のように穴を開けた板材にかしめ材を吻合し、かしめ材端面にレーザーを照射するとアブレーションによる穴が形成される。穴内でレーザー誘起衝撃波を発生させると、外側の壁が張り出されて、外径に抜け止めとなる突起を形成し、リベット状のかしめ接合を達成出来る。

2.2 実験方法

簡易的なモデル試験を行った。使用したフェムト秒レーザーはチタンサファイア発振で、中心波長約810nm、パルス幅約80fs、発振繰返し周波数は1Hz～1kHzで設定した。レーザー光は焦点距離 $f=35mm$ のレンズで集光照射した。

図2に試験片の概略を示す。かしめ材である線材

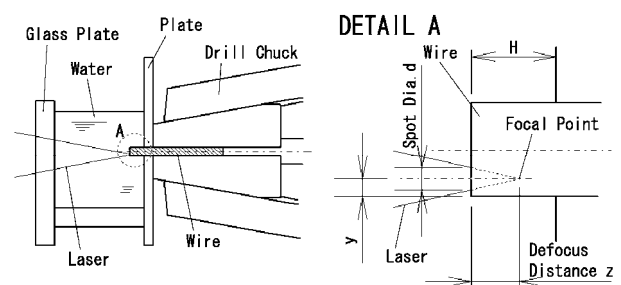


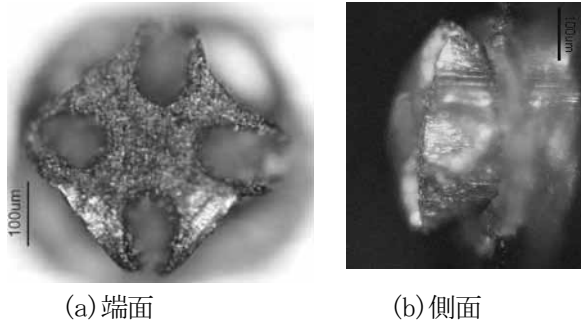
図2 実験方法概略

を板材にあけた穴に吻合して、端面を突き出した状態で、他端をドリル用のチャックで挟みこんで固定した。かしめ材は直径 $\phi 0.3mm$ の純アルミニウム線材、板材は板厚 $0.5mm$ の純アルミニウムを用いた。板材には前面をガラスにした簡易的な水槽を取り付け、水中にてかしめ材端面に照射した。板材はチャックとかしめ材の突起に挟み込まれてかしめ接合される。スポット径は照射表面を集光点から光源方向にずらすことで調整した。

2.3 結果と考察

図3に加工後の試験片の例を示す。図1の形態で突起が形成され、かしめ接合が成された。パルスエネルギーが大きいほど、またスポット径が大きく外側の壁が薄いほど突起の高さは大きくなった。しかし、これらの条件では、突起がアブレーションされて無くなってしまったり、高圧によって突起頂上が破断したりして、形状の再現性は低かった。

【ノート】



(a) 端面 (b) 側面
図3 加工後の試験片の例

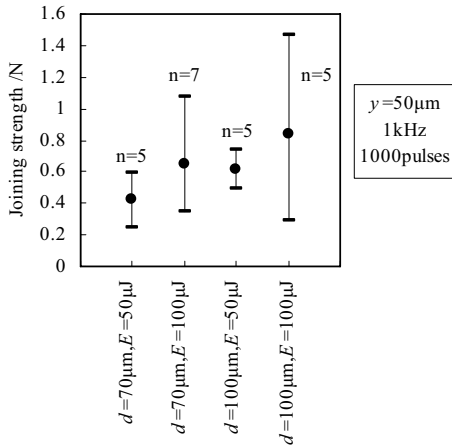


図4 抜け強度の比較

図4に照射位置を固定してスポット径とパルスエネルギーを変化させた場合の抜け強度の比較を示す。突起高さが大きい条件ほど抜け強度の平均は向上したが、一方で破断などにより突起形状がばらついたため、抜け強度のばらつきも大きくなった。今後突起形状と抜け強度の安定化を図る必要がある。

3. 微細輪郭転写

3.1 加工原理

図5のように金属箔の裏側に微細な輪郭を持つ金型を密着させて、水中にて金属箔表面でレーザー誘起衝撃波を発生させると、箔は金型に押し付けられ輪郭を転写することが出来る。基礎試験の結果、輪

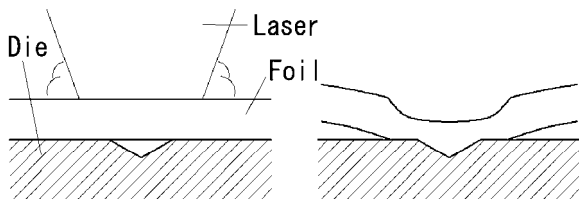


図5 微細輪郭成形の加工原理図

郭の外周を金型にしっかり密着させる必要があることが分かった。そこで輪郭より大きなスポット径を選び、輪郭の転写と同時に輪郭の外周にも衝撃波で圧力かけるようにして転写を試みた。

3.2 実験方法

図6に試験片の概略を示す。板厚 $50\mu\text{m}$ の純アルミニウム箔を試験片とし、外周部を板押えにてダイスとの間に挟みこんで固定した。板押えには板ガラスを取り付け、試験片とガラスの間には水を入れて水中にて照射した。ダイス表面にはビッカース試験機で様々な大きさの圧痕をつけて微細輪郭とした。使用したレーザー、条件の設定方法は微細かしめと同じである。

3.3 実験結果と考察

図7に転写されたピラミッド形状を示す。レーザーの照射回数を増やすほど型への充足は向上し、ある照射回数でダイス形状を転写することが出来た。図7(b)は隣接した9つの圧痕を同時に転写した例である。しかし外周を衝撃波で押える方法では成形できる形状が制限されるため、今後は箔を型に密着させる方法を改良する必要がある。

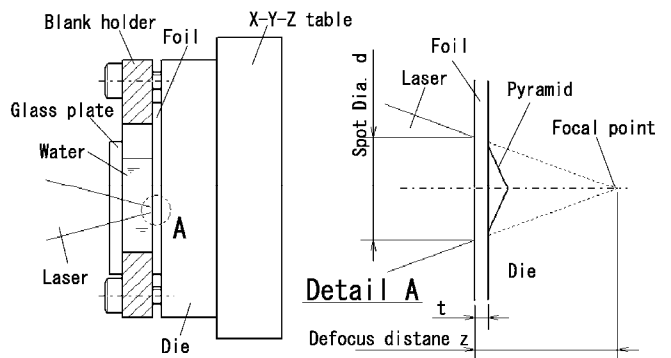
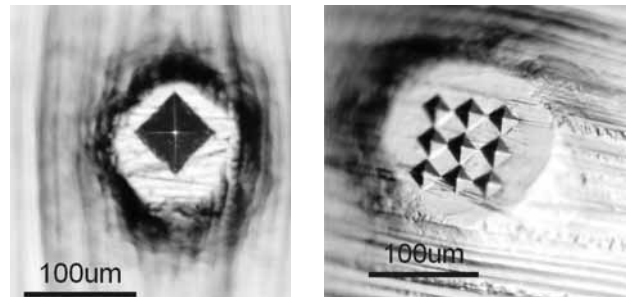


図6 実験方法概略



(a) 単一の輪郭 (b) 複数の輪郭

図7 転写された輪郭の例