

超短パルスレーザーを用いた金属等の非熱加工

理化学研究所 工学基盤研究部 基盤技術開発室

前任研究員 和田智之

(平成13年度奨励研究助成 AF-2001028)

キーワード：フェムト秒レーザー、非熱加工、金属

1. イントロダクション

モバイル機器や携帯電話に代表されるIT産業やエレクトロニクス産業の分野における製品の多様化、小型化、集積化によって、3次元加工や超精密加工など生産物の加工法においても高性能な新しい加工の手法が求められている。様々な加工法の中でレーザーを利用した加工に着目すると、レーザーは、溶融、除去を基本にいわゆる熱加工の熱源として用いられてきた。しかしながら、熱加工では、溶融物が流れ出るスペースによって加工精度が制限され、さらに熱的なダメージや堆積物等が加工部の周辺に残るために、その精度は数十 μm に制限されていた。一方、熱加工に対する手法として、非熱加工と呼ばれる加工法が近年着目されている。非熱加工は、概念的にはレーザーの照射により照射部分を構成している原子や分子の結合を直接切断して除去し、これによって穴あけ、切削、切断等の加工を行う方法である。こちらの場合、除去成分は通常プラズマ化して噴出し除去される。熱よりはむしろ、固体を形成している結合エネルギーの切断が基本であるために、熱の影響を取り除くことができる。そのため、熱加工以上の加工精度が得られることが期待されている。

本研究では、より精密な新しい加工法として金属のレーザーによる非熱加工に関する研究を行うことを目的とする。

金属のレーザー加工において熱的な影響を残さずにより精度の高い加工を行うためには、金属を形成している格子が熱を伝送する速度よりも早くレーザー光が照射され

アブレーションによる加工がなされる必要がある。その典型的な時間が7psといわれている。この特性時間より十分短い時間幅のレーザーパルスが必要である。また、レーザー光が材料に効果的に吸収されるためには光子エネルギーが大きく光の波長にして紫外線領域の光が必要である。あるいは、多光子吸収を利用する場合では、強度の高いパルスレーザーが必要である。本研究では、現在市販レベルで唯一利用可能な超短パルス高出力チタンサファイアレーザーの再生増幅器より得られる、高強度、短パルスレーザーを加工用レーザーとして用いた。

本稿では、加工の原理、加工装置、実験結果として得られている金属の加工例と得られている結果を紹介し、最後に、本研究の今後の展開について述べる。

2. 加工の原理

はじめに、一般的に述べられているレーザーアブレーションによる非熱加工の原理について詳細を述べる。図1に原理図を示す。光を物質に照射すると光は物質に吸収される。吸収された光のエネルギーが主に格子の切断に用いられる。さらに、熱的に格子が切断された加工部位に入射した光のエネルギーがプラズマ化して蒸散させる。これによってレーザーの照射部分が選択的に除去される。

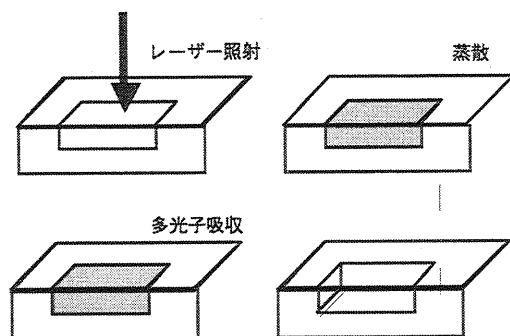


図1 fsレーザーによるレーザーアブレーション加工の概念図

この加工法では、1) 光が照射された場所を選択的に加工できるために非常に微細な加工ができる。2) 加工された周辺に熱的なダメージや溶融物を残さないため、非常にクリーンな精度のよい加工となる。3) 複合材料では、材料によって加工しきい値が違うため、選択的な加工ができる。4) 深さ方向の加工精度を制御できる等の長所を持っている。

特に、非熱加工では光の吸収プロセスが重要となる。例えば通常の1光子の吸収を利用して光を吸収させる場合には、非常にエネルギーの高い短波長のレーザーを利用する必要がある。それに対して、光と物質との非線形性を利用した多光子吸収を用いるならば、高出力、超短パルスレーザーが必要である。本研究では、得に新しい加工法に注目して後者に関して議論を進める。金属を加工対象とした例では、通常吸収に関して、加工対象内の自由電子が光を吸収することより加工がスタートする現象と格子を形成している原子に配置されている原子の直接の吸収によるとの2種類の説明がなされている。

3. 加工用装置

はじめに加工用レーザーの概略を説明する。発振器から波長1510nmのモード同期ファイバーレーザーで平均出力170mW、120fsのパルス列を得る。これをPPLNによって第2高調波755nmに変換したのち、得られた波長755nmの光をシード光として、チタンサファイアを用いた

再生増幅器によってパルス幅150fs、平均出力800mW、1kHzのパルス列を発生する。パルス当たりのエネルギーは800μJ、ピーク強度は、5GW/cm²となる。レーザー出力は、切り替えミラーによってオートコリレーターに導入しパルス幅の測定を行った。また、通常動作の確認は、再生増幅器内に設置したフォトダイオードより得られたパルスの波形を利用して観測を行った。さらに、レーザー光は応答速度1000分の1秒の機械式シャッターを通過後、レンズの交換による焦点距離可変な光学系を通してサンプルに照射した。サンプルは、CADのデータによって駆動可能なニアX-Y-Zステージを用いた。駆動の精度はサブマイクロメートルである。図2に実験装置の概略を示す。サンプルのステージは、ガスパージおよび真空パージができる真空チャンバー構造となっている。

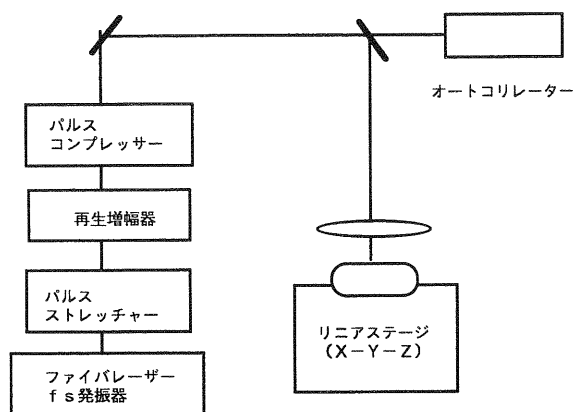
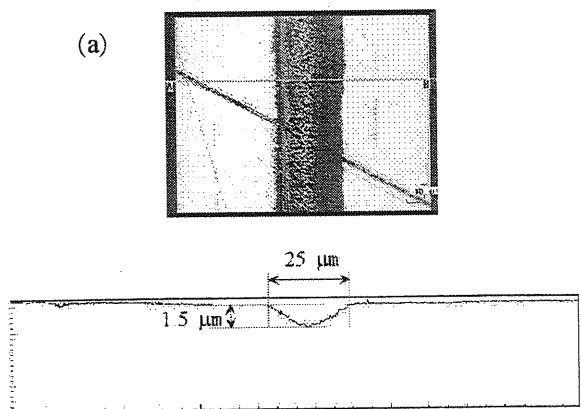


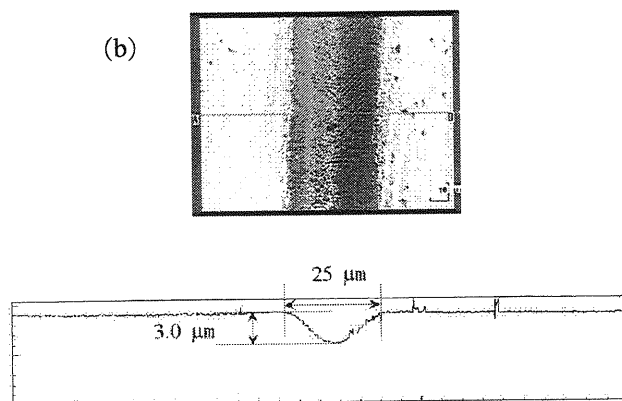
図2 実験装置

4. 実験結果

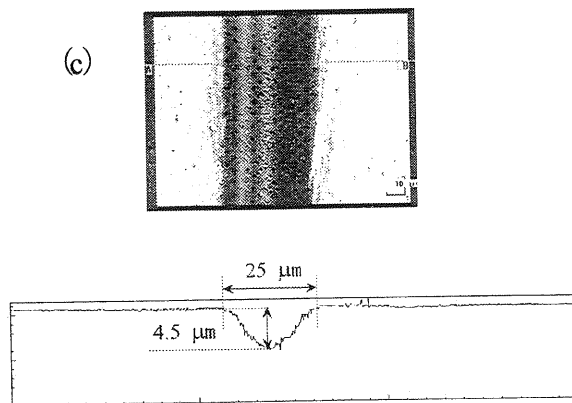
図3-(a)に無酸素銅を試料としてfsレーザーを照射しながら試料を直線に走査した結果を示す。幅25μm、加工の深さ1.5μmの直線の溝が加工されていることが観測された。この時、走査の速度は1mm/s、走査回数は1回とした。この溝の結果から、非常に熱的な影響が少ない加工がなされていることが溝の断面から観測できる。また、縦方向の加工分解能がミクロンオーダーであることを示唆している。



走査回数：1回



走査回数：2回



走査回数：3回

図3 加工後の表面の写真および断面形状

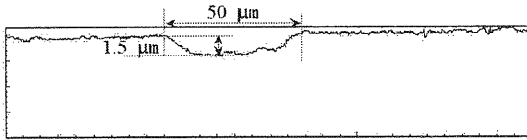
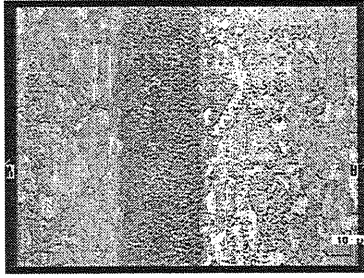
また、走査回数を2回としたものを図3-(b)に示す。図3-(a)同様、幅25 μm の溝が加工されていることが観測できる。また、断面図から深さは3.0 μm となっていることが観測された。加工の周辺には、熱による溶融物の付着等は観測されなかった。深さが、走査回数に対して線形となっていることから加工の深さ方向がミクロンオーダーで制

御できることがわかった。以上の結果を確認するために、さらに走査回数を3回とした物を図3-(c)に示す。

予想されたように、加工は溝の幅を保った状態で、深さが4.5 μm となっており走査回数には線形の結果となった。熱的な影響は図3-(a)、-(b)同様観測されなかった。

次に、横方向の加工精度についての実験を行った。走査ごとに溝深さの半値にあたる12.5 μm をスライドしながら試料を縦方向に走査しながらレーザーの照射を行った。結果を図4に示す。およそ、底面部分が25 μm であり、1.5 μm の深さを持つ溝が形成された。この結果は、走査をスライドして行くことにより、深さ方向同様に面方向に関してもミクロンオーダーでの金属の微細加工が可能であることを示している。

本研究では、CADを用いた金属のミクロンオーダーの加工を最終目的としている。本実験から、深さおよび横、縦の方向に関していちど加工の速度に関するデータを取得しCADにフィードバックすれば、試料のZ方向へのスライド、X-Y方向へのスライドの際の移動量、速度を規定すればCADデータによる加工が可能であることを示している。さらに、金属一般の材料を本加工システムで加工するためには、上記の実験に加え、走査速度の変更、レーザービームの集光パラメーター、すなわちスポットサイズの変更に対してデータを測定する必要がある。また、材料の違いによるデータの取得を行い、CADのステージ操作ソフトの基準データの取得が必要である。これら、CADベースとするシステムを構築するためにさらなるデータの取得が必要である。



(横方向スライド回数：3、スライド量：
12.5 μm、走査回数：各1)

図4 加工後の表面の写真および断面形状

5. まとめ

本研究では、超短パルスレーザーを用いた非熱加工システムを構築した。構築したシステムを利用して無酸素銅を走査しながら加工を行った。その結果、熱的な影響が極めて少ない加工がなされた。加工はミクロンオーダーでの形状制御が可能であることがわかった。その結果、CADデータに実験結果をフィードバックすることによりCADによる μ オーダーの金属加工が可能であることがわかった。今後、本加工装置を本格的に稼働するためにはCADのベースとなる加工対象の材質、レーザーの集光条件等を変更したデータの蓄積が必要であり、今後の課題である。