

YAGレーザー光の偏光制御による微細切断加工

キーワード：微細レーザー加工、偏光

概要

微細加工に用いられるレーザー光には加工周辺部への熱影響を少なくするため、シングルモード発振のパルスレーザー光が用いられます。一般に超音波QスイッチパルスYAGレーザー光の振動方向は直線偏光をしていますが、レーザー切断加工時にレーザー光が一方向のみの振動を呈する直線偏光が加工物質に照射されたとき、レーザー光の振動方向とレーザービームの移動方向角度によっては光の吸収率が異なるため、切断特性に多大な影響を与えます。今回、YAGレーザー光の性質の一つ、光の偏光を制御して高アスペクト比の微細切断加工を可能にしたので紹介します。

解説

実験には図1に示す加工光学系を使用しました。レーザー光源は発振波長 $1.06\mu\text{m}$ の超音波QスイッチパルスシングルモードYAGレーザーを用いました。レーザー光は平均出力2W(1kHz)、パルス幅約100nsで直線偏光発振しています。

光が物質に垂直に照射された時、光の偏光方向による吸収率の差はないが、照射角度()が大きくなると、入射面に平行成分(p)はよく吸収され垂直成分(s)は反射されやすくなります。レーザービームと加工物が接触する切断面先端では図2に示すようにレーザービームが加工先端面と平行に近い角度で照射されて切断加工されます。レーザー光がすでに加工された両側の狭い切断面に制限されながら、奥深い加工先端面に進み加工対象物と急角度で接触します。加工先端面ではレーザービーム移動方向と一致する振動方向を持つP偏光がS偏光に比べてレーザー光をよく吸収し、切断特性に影響を与えます。0.1mm程度の薄い板厚の材料ではそれほど光の振動方向の影響を受けずに加工可能ですが、厚くなると影響を受けま

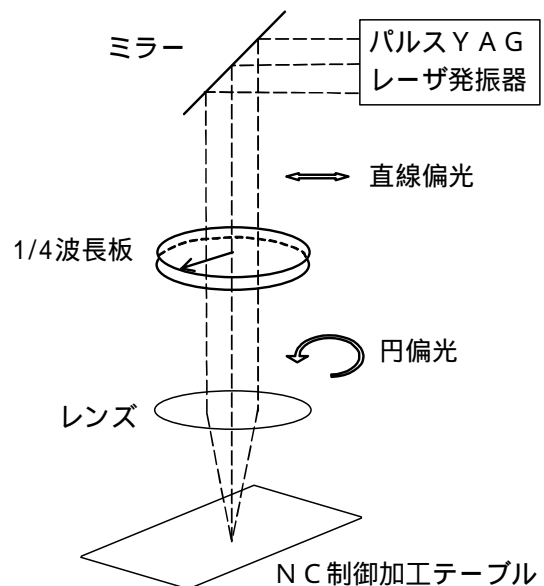


図1 加工光学系

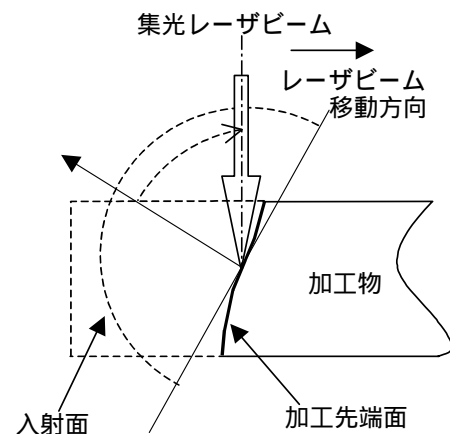


図2 レーザービームと切断面の関係

す。本実験に用いたレーザー光では0.95mmのステンレス板に図3-(a)の微細パターンを加工すると、ステンレス板内部で光の振動方向による吸収・反射の影響を受け、レーザービームが加工物内で曲がり、裏面では図3-(b)に示すように大幅に歪んだパターンになります。加工物内部でレーザービームの偏光方向による吸収反射特性が異なるため、選択的に曲げら

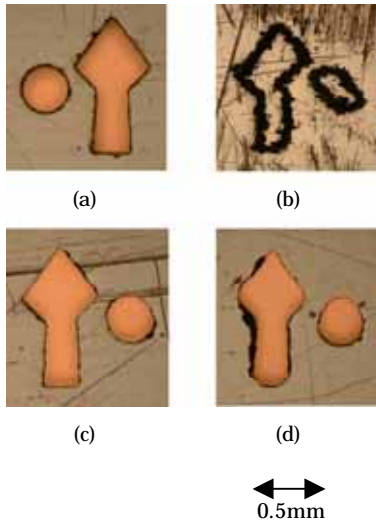


図3 ステンレス板の切断加工
 (a):加工物表面 (b):矢印方向直線偏光
 (c):円偏光(d):直線偏光・アシストガス

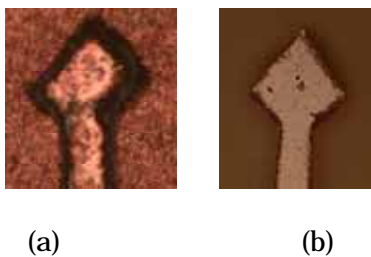


図4 ルビーの切断加工
 (a):直線偏光 (b):円偏光



図5 ルビーへの歯車加工

れ、複雑な微小パターンの切抜きは困難になります。あらゆる切断移動方向に対してレーザー光の吸収率を一定にするため、直線偏光のレーザー光を図1に示す1/4波長板をレーザー光路に挿入し、円偏光に変換したレーザー光を用いると、材料内部でのレーザービームの曲がり改善され、図3-(c)に示すパターンの加工ができます。円偏光レーザービームと同軸でガスを吹き付けると、円偏光を用いた切断加工に比べて細部で劣りますが図3-(d)に示す加工が可能です。図3-(c)(d)は切断した内部加工物は取り除かれています。高反射率の金属と異なり、高硬度・脆性0.9mm厚のルビーでも同じように直線偏光レーザー光を用いると、加工切断面が曲がり図4-(a)に示すような形状になりました。ルビーでも円偏光レーザー光を用いると曲がり改善され、図4-(b)のような加工が出来ます。ルビーは圧縮ガスをアシストしても大幅な改善はできませんでした。

円偏光超音波QスイッチパルスYAGレーザー光を用いた加工手法による微小部品の加工可能性を示すため、多方向の切断が要求される歯車を0.5mm厚のルビー板に直径0.5mmと0.3mmのものを作成したところ、図5に示すように、かなり良好な切断が可能でした。

おわりに

微細加工に使用されている直線偏光パルスYAGレーザー光を円偏光に変換して加工に用いると、切断特性の異方性がなくなり、切断できなかった高いアスペクト比の切断加工が可能になりました。円偏光レーザー光が切断加工に非常に有効であることが判明しました。レーザービーム移動方向に直線偏光方向をコントロールすれば円偏光加工に比べて加工除去幅の少ない切断が可能です。手法として、加工進行方向に対する直線偏光振動方向の制御は1/4波長板2枚を用いて可能です。最初の1/4波長板で直線偏光を円偏光に変換し2枚目の1/4波長板で円偏光を直線偏光に変換します。2枚目の1/4波長板の方向を制御すればレーザービーム進行方向に対して自由な方向の直線偏光レーザービームが生成できます。