

ナノ秒パルスファイバレーザ、 金属切断で進歩

ジャック・ガブズディル

ナノ秒パルスレーザは、材料マーキングの用途で広く利用されていることはよく知られているが、それほど知られてはいないものの増加しつつある用途として、ノズルやアシストガスを不要とする、幅広い種類の金属材料の微細切断がある。

ナノ秒パルス幅のファイバレーザがマーキングの用途で有効であることはよく知られている。この10年間で、金属マーキングに対する主流のレーザ源となっており、また、平均出力がますます高まっていることから、エングレービングの分野でも利用が増加している。パルスエネルギーは一般的に数ミリジュール未満で、ピーク出力は約10kW、平均出力は今や100Wにまで達しているため、その能力はかなり高い。

英SPIレーザズ社のパルスファイバレーザは、半導体シードレーザに光ファイバ増幅器を組み合わせたマスターオシレータパワーアンプ(MOPA: Master Oscillator Power Amplifier)をベースとしており、従来のQスイッチ設計と比べてパルス特性に対するかなりの制御が可能になっている。

このようなナノ秒ファイバレーザが生成するパルスは、立ち上がり時間が短いという特長がある。そのため、ガウスエネルギー分布を持つ従来のQスイッチパルスと比べて、対象材料に対するより効果的なビーム結合が得られる。スキャナベースのビームデリバリシステムを備えるナノ秒ファイバレーザは、動作波長 $1.06\mu\text{m}$ で、非常に高速な材料加工速度を達成することができる。

通常はマーキングに適用されるナノ

秒パルスファイバレーザだが、現在では多用途性と制御にかなり優れていることから、エングレービング、アブレーション、スクライプ、テクスチャリング、微細切断など、さまざまな微細加工用途でも他の手段と渡り合えるまでになっている。1kHz~1MHzという幅広い繰り返し速度と、3~500nsの可変パルス幅制御を備えることから、これらのナノ秒範囲のパルスファイバレーザは、連続波(CW: Continuous Wave)モードと変調疑似CWモードで動作することができる。

金属箔

薄い金属箔を完全に貫通するためには、切断速度がナノ秒パルスファイバレーザのシンプルなシングルパス処理を制御するパラメータとなる。また、

この処理は通常スキャナベースであるため、加工ガスは不要である。

スキャナビームデリバリによる金属箔切断は、アブレーションと溶融物除去によって行われ、刻み目のない切断部が得られ、熱影響部(HAZ: Heat Affected Zone)は最小限となる。例えば、電池の銅箔やアルミニウム箔は複合材料となる場合がある。一般的に、20~40 μm の金属芯が複数のプロプライエタリな層に挟まれており、材料の厚さは合計で約100 μm となる(図1)。このような電池箔は、70~100Wのパルスファイバレーザによって、1m/sを超える直線切断速度で切断することができるため、レーザ切断の方が機械切断よりも優れた選択肢となる。機械切断には、工具の摩耗や定期的な保守に加えて、全般的に柔軟性に欠けるといふ欠点がある。

この用途では、切断品質が非常に重要で、刻み目が最小限になることと、薄膜コーティングを傷つけないことが不可欠である。切断品質は、パルスと

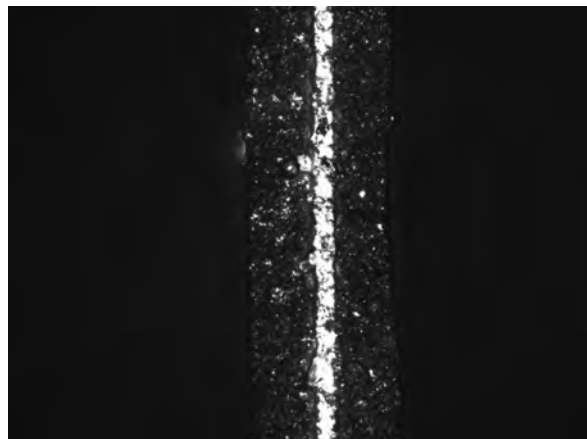


図1 ナノ秒パルスファイバレーザは、電池箔を簡単に切断することができ、シングルパス処理で切断できる場合も多い。

加工パラメータの最適化によって制御可能だが、一部の材料については、2パスの処理によってエッジ品質が改善されることが明らかになっている。

厚みのある金属

0.5mmまでの厚い金属材料を切断する場合は、材料を完全に貫通するために、複数のビームパスで同一経路を処理することが必要になる場合が多い。しかし、この手法には制約がある。複数のパスによって溝の深さとアスペクト比が大きくなるにつれて、材料表面のビームパラメータの最適化が低下することから、ビームの減衰と、材料加工効率の低下が生じる。この処理は実は自己限定的であり、スポットサイズの調整と、材料内での焦点位置の移動によって、状況を改善することができる。ただし、その効果はほんのわずかにすぎない。

CWレーザーによる切断と同様に、ビーム品質の影響は大きい。ただし、パルスファイバレーザの場合は、ビーム品質として重要なのは M^2 ではなく、達成可能なパルスエネルギーとピーク出力となる。

ビーム品質の異なる3種類のレーザ(すべて20Wで、同一の光条件で動作)を直接比較すると、最も良好な切断結果を達成したのは、ビーム品質が最も高いレーザ($M^2 < 1.3$)ではなかった。品質の高いこのビームはパルスエネルギーとピーク出力が低く、スポットサイズは小さいものの、それらを十分に補うほどではなかったためである。 $M^2 < 2$ のレーザは、結果が最も低かった。パルスエネルギーとピーク出力は高かったが、スポットサイズが大きいために材料に対するエネルギー密度がかなり低くなったためである。 $M^2 < 1.6$ のレーザは、最も優れた結果を達成し

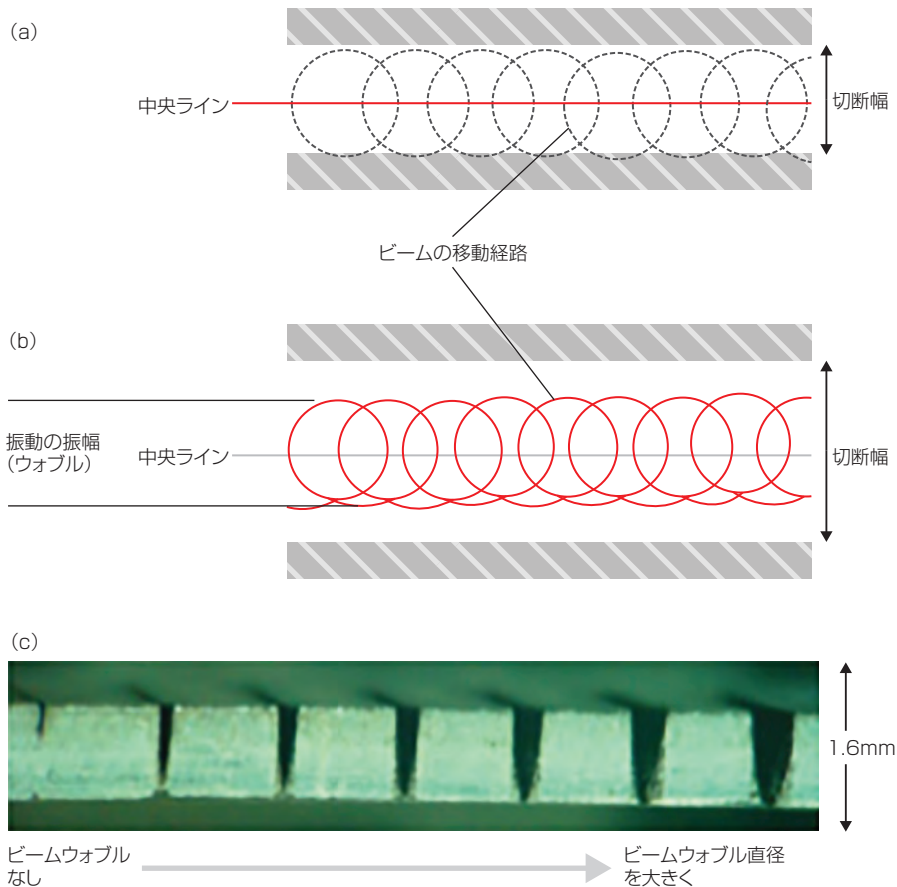


図2 ウォブル切断の概略図(a)には、標準的な切断経路とそれによって得られる切断幅(b)が示されている。ビームにウォブルを適用することにより、有効切断幅を増加させることができる。ウォブル直径(c)を増加させることにより、金属除去効率が高くなり、切断の深さは大きくなる。

た。適度なサイズのスポットに対し、パルスエネルギーと出力の組み合わせが最適だったためである。

厚い材料を適切に切断するには、切り口を効果的に広げてより多くの材料を除去可能とする、新しい切断手法を採用する必要がある。レーザのスポットサイズを大きくすることによってこれが達成できるが、この方法には、入射エネルギー密度が低下するという悪影響があり、それによって材料除去効率が低くなる。

XYテーブルベースのシステムに特に適したより効果的な方法は、2つのパスの切断ラインを、焦点直径にほぼ相当する距離だけずらし、実質的に切断幅を2倍にすることである。加工後の

部品の寸法が許容範囲内に収まり、材料切断部が厚くなるに従って切断エッジがやや先細になるように、注意してプログラミングを行う必要がある。

スキャナベースのビームデリバリでは、商用提供されている標準的なレーザマーキングソフトウェアの「ウォブル」(wobble)機能(もともとは、マーキングラインを広げてより見やすくするために開発されたもの)を使用すると、良好な効果が得られる(図2)。基本的にこのウォブル機能は、切断経路の軌跡に沿って、ユーザ定義の直径と周波数で円を描くようにビームを振動させる。

このウォブル機能を用いると、ビームはあらかじめ定められた振幅で、切

断ラインに沿ってらせん状を描く。ウォブル幅、ウォブル周波数、切断ライン速度を慎重に制御して、パルスの重なりを最適化して材料を最大限に除去することが求められる。

さらに厚い反射性金属

0.5mmを超える厚さの金属の切断には、各パスに対してパラメータの最適化が可能で、より複雑なマルチパスの加工手法を適用することができる。このような手法は、すべての金属材料に適用可能だが、切断速度と達成可能な厚さは、材料によって異なる。例えば、100Wのパルスファイバレーザは、厚さ1mmのアルミニウムを0.9m/分の切断速度で切断可能だが、厚さ1mmの銀になると、切断速度はわずか0.2m/分にまで低下する。

レーザ切断速度は、金属の反射率に左右されるが、ナノ秒パルスファイバレーザは、反射率の高い材料を、CWファイバレーザと比べると比較的低い平均出力レベルで処理することができる。これができるのは、このようなナノ秒パルスファイバレーザのピーク出力が、同等のCWレーザの100倍以上にもなる場合があり、厚い金属の材料しきい値を簡単に上回るためである。

従来のCWレーザによる反射性材料の切断では、安定した吸収性と適切な切断性能を達成するために、(1 μ mのレーザ源の場合で)200Wを超える平均出力が一般的に必要となる。つまり、平均出力が非常に低いパルスファイバレーザによって、かなり高い平均CW出力レベルを要する材料が切断可能ということになる。

アシストガスの有無

従来の切断では、レーザビームを加工対象物に集光し、ノズルを介して同



図3 ナノ秒パルスファイバレーザは現在、この図に示したユリのデザインを施した銀製品のような、精密な金属切断とテクスチャリングを実現するために、宝石業界で一般的に使用されている。

軸切断アシストガスを噴射する場所となる、切断ヘッドが必要である。レーザビームが材料を溶解し、アシストガスが溶解物を除去することで、切断処理が行われる。

スキャナベースの手法による金属切断は通常、材料の厚さが1mm未満で、スキャンレンズの動作領域(約100×100mm)の範囲内に収まる小さな部品にしか適用できないが、パルスファイバレーザを使用すれば、それよりも厚い部分を処理することができる。ただし、エネルギー密度を維持するために、焦点位置を定期的に調整する必要が生じる場合がある。一方、CWレーザはスキャナベースの切断には適していない。溶解材料を効果的に除去するために十分な気化が生じないためである。したがって一般的にCWレーザには、固定の光学部品とアシストガスが用いられる。

消耗品(アシストガス)が不要というこの明らかな利点以外にも、スキャナベースのナノ秒パルスファイバレーザによる微細切断には、投資コストが比較的低いというメリットがある。固定

光学部品、切断ヘッド、アシストガスを用いるCWレーザとCO₂(炭酸ガス)レーザは一般的に、10万ドルを超える加工工具となるが、金属切断用(ただし、一定のサイズ以下の部品の薄い部分に限られる)のスキャナベースの20Wのパルスファイバマーキングシステムは、わずか2万ドルで入手することができる。

さらに、ナノ秒パルスレーザには、切断と溶接に加えて、マーキング、エンレービング、テクスチャリングに適用可能という付加的なメリットがある。この多用途性は宝石業界で大いに活用されている。同業界では、フィリグリーをベースとした繊細な銀製品や金製品の加工(切断とエンレービングの両方)に、ナノ秒パルスファイバレーザが標準的に採用されており、これによってデザイナーやメーカーは、多大な柔軟性を得ている(図3)

多くのパルスファイバレーザは24時間年中無休の製造環境で使用されており、そのような環境では、レーザ源の信頼性がそのまま、多数の応用分野における力強い販売成長につながる。フ



溶接・切断・ マーキング・・・ 微細加工に最適の ファイバーレーザー

パルスファイバーレーザー
【redENERGY G4 EP-Zシリーズ】



最大100W

ビームエキスパンダーは、
ワンタッチで取外し・交換可能

パルス幅レンジ: 3~500 nsec

- S : Single Mode $M^2 < 1.3$
20ミクロン以下の微細加工に最適
- L : Low Mode $M^2 < 2$
マーキング用途に最適
- H : High Mode $M^2 < 3.2$
幅の広いライン加工、高速加工に最適

CW ファイバーレーザー
【redPOWER スタンドアロンタイプ】
200W~1000W

高い出力とコントロール性で、
最適なレーザー切断／溶接を実現



<http://www.japanlaser.jp/>

E-mail: indus@japanlaser.jp

JLC 株式会社 日本レーザー
JAPAN LASER

本社 〒169-0051 東京都新宿区西早稲田2-14-1

TEL: 03-5285-0863 (直)

大阪支店 TEL: 06-6323-7286

名古屋支店 TEL: 052-205-9711

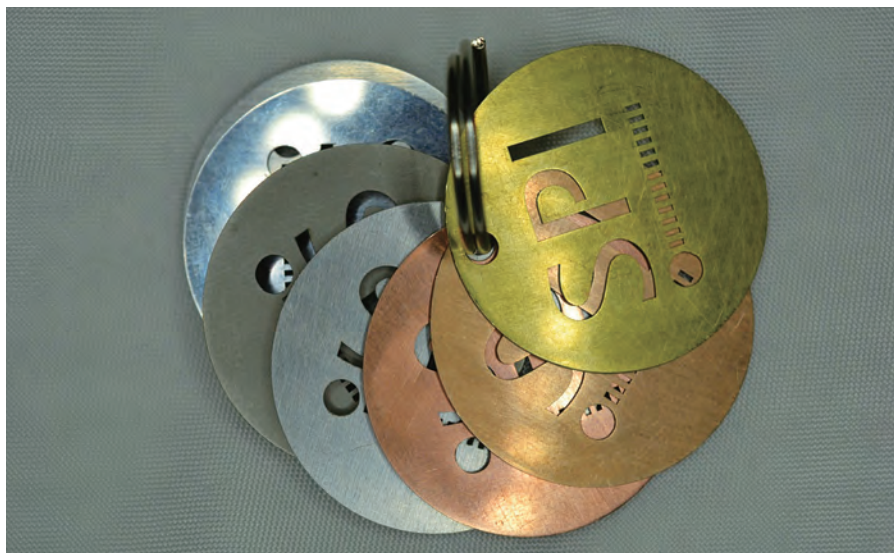


図4 アシストガスを使用することにより、ナノ秒ファイバーレーザーは、さまざまな種類の金属（鋼鉄、ステンレス鋼、アルミニウム、銅、青銅、黄銅）に加えて、非金属材料も切断する。

ファイバーレーザーはパルス持続時間（パルス幅）を変更することができるため、材料の種類に応じて材料除去速度を変えることによって、さらなる最適化を処理に適用することができる。

パルスファイバーレーザーは、従来のCWファイバーレーザーと同じように、標準的な切断ヘッドやアシストガス噴射ノズルと併用することもできる。50Wのナノ秒パルスファイバーレーザーでも、200Wを超える出力レベルを持つCWファイバーレーザーが通常は必要となる、銀、黄銅、銅の切断が可能である（図4）。

アシストガスを用いた切断の場合、ファイバーレーザーは用途に応じて、パルス、CW、疑似CWのいずれのモードでも使用することができる。パルスモードでは、ピーク出力の高いビームが材料に簡単に結合し、反射率の高い材料を低い平均出力で切断することができる。ただし、切断速度は低くなる場合がある。CWモードは、レーザーの平均出力によって強度が制限され、結合しきい値が達成できないため、反射性材料には適用できない。長いナノ秒パルス（200ns以上）を高い繰り返し速度

（200kHz以上）で使用すれば、この手法に特に適した200Wを超えるピーク出力を持つ、変調疑似CWパルスストリームが生成され、平均出力が100W未満のレーザーによって厚さ1mmまでのさまざまな材料を切断することができる。

金属以外にも

ナノ秒パルスファイバーレーザーで切断できるのは、金属のみに限定されないことに言及しておかなければならない。これらのレーザーは、1 μ mの公称波長をある程度吸収する、さまざまな非金属材料に対して効果的に適用することができる。切断可能な他の材料としては、シリコン、炭素繊維強化プラスチック（CFRP: Carbon Fiber Reinforced Plastic）、セラミックス、ゴム、一部のプラスチックおよびポリマー、さらには、エレクトロニクス業界で一般的に用いられる複数層からなる材料などがある。

著者紹介

ジャック・ガブズディルは、英SPIレーザーズ社のパルスレーザーシステム部門の副社長。
e-mail: jack.gabzdyl@spilasers.com
URL: www.spilasers.com

LFWJ