

産業分野に革新をもたらす フェムト秒レーザー光源

ルイス・メイ

フェムト秒レーザー技術は、自動車、電子機器、製薬などの業界に、新しいレーザー加工の機会をもたらす。

フェムト秒レーザー光源は、出力と制御の両方を提供する能力によって、材料加工に革新をもたらしている。利用可能な出力を最大限に活かして、それを高スループットの加工に転換するには、フェムト秒レーザーにガルバノスキャナやポリゴンスキャナといった高速モーションシステムを併用することが必要である。切断、エンレービング、表面処理、マーキング、スクライビングなど、どのような加工においても、加工対象物上の連続レーザーパルスの空間的重なりが、最適な加工品質を得るための重要なパラメータである。

従来の方では、モーションシステムの加速と減速に起因して、複雑な形状の加工で一貫性が得られなかったり、加工しすぎてしまったりすることが一般的に生じるが、パルスオンデマンド技術では、個々のパルスまたは制御されたパルスバーストを、モーション速度の変化に関係なく、等間隔に正確に配置することができる。一貫した結果を得るための代替手法として、スカイライティングなどを適用することができるが、そうした手法は、かなりのデッドタイムをプロセスにもたらすことにもなるため、全体的な加工速度は低く、サイクルタイムは長くなってしまふ。

一方、フェムト秒レーザー光源はパルス幅が非常に短く、熱がバルク材に伝達するまでに要する時間よりもパルス

幅が短ければ、加工領域の周囲への熱拡散を実質的になくすることができる。このプロセスは、コールドアブレーションと一般的に呼ばれている。パルスオンデマンド機能によってユーザーは、一定のパルスエネルギーを維持しつつ、実質的に繰り返し周波数を制御して、材料の熱蓄積を回避することができる。これによって、熱影響部(HAZ)の形成が最小限に抑えられ、さまざまな部品の超高精度のマイクロ／ナノ加工を、高いスループットと再現性で行うことができる。

英ルキシナ社(Luxinar)が開発した

LXRシリーズの超短パルス(USP)レーザーは、フェムト秒レーザー光源の1つの例で、炭酸ガス(CO₂)レーザー光源ではこれまで対応できなかった、さまざまな業界における新たな市場と用途への参入を可能にするものである。この技術を利用したサンプル加工が、英ハル大(University of Hull)の物理数学部で現在実施されている。

ハル大の研究グループは、レーザーと物質の相互作用に幅広く取り組んでおり、金属／プラスチック／複合材のフラット切断、冠動脈ステントなどの医療器具を対象とした金属や生分解性プ



図1 フェムト秒レーザー光源を使用して、高さが0.5mm未満の文字をガラスの表面下にマーキングすることができる。

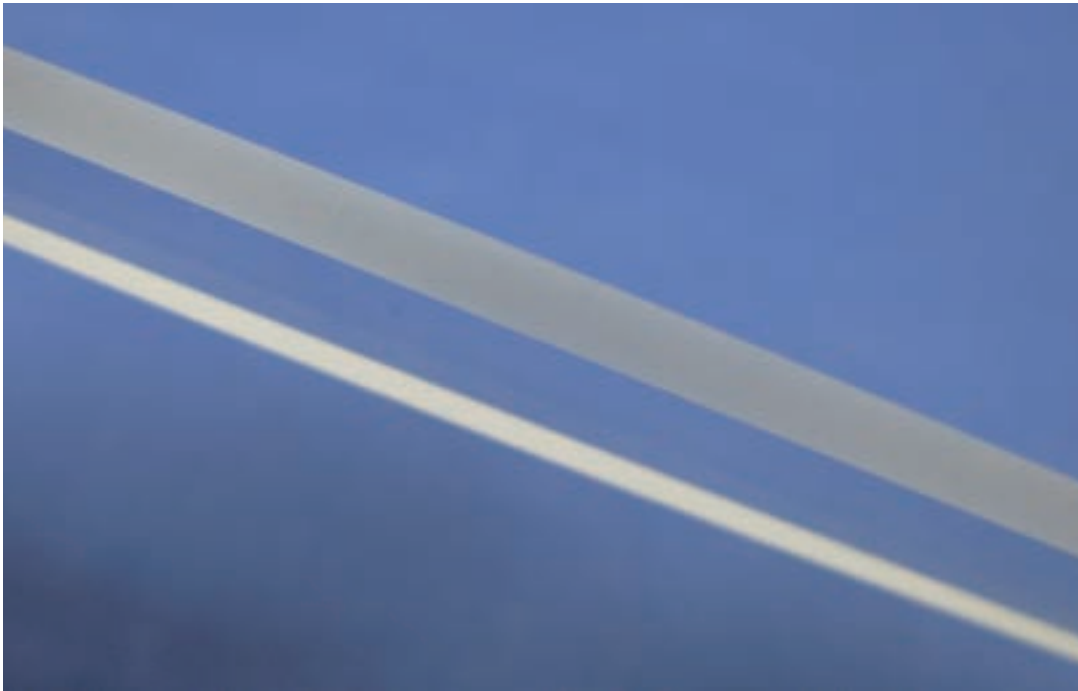


図2 フェムト秒レーザーをCO₂レーザーと組み合わせることにより、損傷をほとんどあるいは全く与えることなく、厚いガラスをクリーンに切開することができる。

ラスチック材のチューブ切断、高品質ビットマップマーキングなど、さまざまな用途に対するルキシナ社のフェムト秒レーザー技術の効果を調査した。

製薬業界向けの 表面下ガラスマーキング

ガラスマーキングは、フェムト秒レーザーと従来のCO₂レーザーの違いが顕著な用途で、どちらのシステムもそれぞれ異なる形で有効である。CO₂レーザーの波長は、ガラスに強く吸収されるため、相互作用全体が表面で発生する。これは、表面マーキングが望ましい一部の用途（ビールガラスのヘッドキーパーなど）においてはメリットだが、表面下にマーキングを行うのは単純に不可能であることを意味する。

一方、フェムト秒レーザーにはこれは当てはまらない。フェムト秒レーザーは、ほとんどの光透過材料のマーキングが可能である。ガラスは、そのレーザー波長を透過するが、非線形吸収効果によって焦点に高密度プラズマの形成が可

能であるため、それによって光を強く吸収し、材料体積内にマーキングを生成することができる。

このようにして、LXR 120-1030などの製品は、ガラス表面の0.5mm下にマーキングを行うことができる。マークは、狭間隔のドットを使用して作成され、高さが0.5mm未満の文字が形成される(図1)。実際、マーキングは肉眼で辛うじて見える程度のもとなる。

潜在的用途には、医療や製薬業界向けの注射器やバイアルのマーキングがある。これらの用途では、表面下マーキングが特に魅力的である。コードは消えることがなく、摩耗や損傷も生じないためである。

自動車業界向けのガラス切断

厚いガラスの切断は、フェムト秒レーザーとCO₂レーザーを組み合わせで使用し、興味深い用途である。この業界では、従来の機械的なスクライプ及びブレイク方法が今でも一般的である。あるいは、CO₂レーザーだけを使用して

スクライプと切断を行うこともできる。しかし、どちらの場合も加工品質は最適とはいえない。

どちらの方法も高速で効率的だが、ガラスのエッジには通常、多数のマイクロクラックが残る。また、従来の方法では、自動車のバックミラーや外部ミラーなどで一般的に必要な、湾曲した形状や丸みを帯びた輪郭を簡単に作成することはできない。

フェムト秒レーザーを使用してガラスをスクライプすれば、優れた結果を得ることができる。このプロセスには高いエネルギーが必要で、そのエネルギーは、シングルパルス、または、高速で高エネルギーのバーストとして供給することができる。CO₂レーザーは熱エネルギーを供給し、それによってスクライプラインに沿った劈開が開始する。ガラスはエッジのマイクロクラックによる損傷がほとんどあるいは全くない状態できれいに分離され、曲線、直線、閉じた輪郭を作成することができる(図2)。



図3 炭素繊維複合材のこの2mmの穴は、周囲のエポキシ樹脂に熱損傷をほぼ与えることなくあけられている。

金属箔のスクライビング

USP レーザの精度を利用する別の用途が、RFIDや携帯端末のアンテナ用の金属箔のスクライビングであり、一般的にはアルミニウムと銅が使用されている。レーザーで、キャリアまたは基板材料（通常は、紙またはポリイミド）から導電性金属層を選択的に除去することにより、アンテナやその他のフレキシブル回路コンポーネントが製造される。

微細化に向けた動きはとどまることがなく、細いラインをできるだけ互いに近づけてスクライビングすることが求められる。しかし、隣接するラインは互いに電氣的に絶縁されていなければならないため、金属を基板から非常にクリーンに除去する必要がある。周辺領域に損傷を与えたり、デバイスフィーチャの間を短絡させる可能性のあるバリや粗いエッジを形成したりしてはならない。LXR 120-1030は、キャリア材料に大きな損傷を与えることなく、

（中心から中心までの距離が）50μm離れたラインを、アルミ箔にスクライビングすることができる。この結果は、CO₂レーザーではまず不可能である。

炭素繊維複合材の切断と穴あけ

炭素繊維複合材は現在、自動車業界や航空宇宙業界で一般的に使用されている。これらの材料は、高い強度重量比などの望ましい特性を示す一方で、部品を接合するためのリベット穴を形成するための穴あけやその他のメカニカル加工を適用するには、問題がある。メカニカル加工を行うと、層間剥離や母材損傷に加えて、工具が激しく摩耗または破損する可能性がある。

また、異方性の熱及び光学特性を備えるため、従来のレーザー加工に対しても深刻な問題を呈する。マトリックス材料はより簡単に気化するが、繊維はエポキシよりもはるかに熱伝導率が高い。その結果、レーザー加工を行うと、繊維が露出した状態になることが多

く、切断部周辺の材料強度が損なわれる恐れがある。

そこで登場するのが、フェムト秒レーザーである。熱拡散が大きく低減されるため、周辺材料のエポキシ樹脂をそのまま残した状態で、切断または穴あけを行うことができる。つまり、炭素繊維シートの強度を損なうことなく、穴を開けて形状を切り抜くことができる。強度の高さは、炭素繊維複合材をそもそも選択する主な理由の1つである（図3）。熱の蓄積を回避することが、非常に重要である。

LXR 120-1030を使用して、炭素繊維複合材のサンプルを適切に切断することができた。レーザーは、利用可能なパルスエネルギーを最大化するために必要な周波数である1MHzで動作させた。パルスオンデマンド機能を使用して、空間的重なりを制御し、材料から見た実際の繰り返し周波数を制限した。過熱は最小限に抑えられ、それによってHAZが低減され、切断部に沿ったエポキシ樹脂の気化が抑制される。これにより、材料の構造的完全性を維持することができる。

フェムト秒レーザー技術は、自動車、電子機器、製薬などの業界において、CO₂レーザー光源では不可能な、さまざまな新しい加工の機会を開拓している。

プロセスの最適化と高いスループットにつながる、高いビーム品質、柔軟な制御、パルスオンデマンド、バーストモード選択などの機能と、熱損傷を最小限に抑える短いパルス幅を備えるフェムト秒レーザーは、多くの高精度用途に対して魅力的な技術である。

著者紹介

ルイス・メイ博士(Dr. Louise May)は、英ルキシナ社(Luxinar)のシニアアプリケーションエンジニア。

e-mail: louise.may@luxinar.com

URL: www.luxinar.com

LFWJ