レーザ切断時の熱フォーカスシフト

クリスチャン・ディニ

非接触型ビーム測定によって、レーザ切断システムのフォーカスシフトの最小化を実現

レーザ出力が順調に増加しているおかげで、現在では、構造用鋼材の溶融切断から、より薄い材料の高速で効率的な切断に至るまでの幅広い用途において、レーザ切断の高い精度が享受されている。独メッサーカッティングシステム社（Messer Cutting Systems）では、同社の切断システム用の高性能ファイバレーザの信頼性向上に、この高い精度が反映されている。

メッサーカッティングシステム社は、金属加工業界に製品やサービスを提供するグローバルサプライヤーである。5つの主要製造拠点に、800人を超える従業員が在籍している。携帯型機器から造船用の特殊機械に至るまでの、酸素アセチレン／プラズマ／レーザ切断システムや、酸素アセチレン溶接、はんだ付け、加熱用システムなどの製品を提供している。同社は、主要施設で個々のアセンブリ、ソフトウエア、センサ技術の開発プロジェクトを実施してから、各地域の施設でカスタム開発や市場に特化した開発を完成させている。

フォーカスシフトの最小化

新しい切断システムの開発においては、測定技術が決定的役割を担うことを同社は理解している（**図1**）。メッサー社の開発担当プロジェクトマネージャーを務めるトーマス・デュンツコファ氏（Thomas Dünzkofer）によると、「特にフォーカスシフトの判定は、われわれにとって非常に時間のかかる処理で、レーザが高出力になるとリスクを伴うものだった。その一方で、その測定結果は絶対に必要だった」ということだ。

メッサー社の研究チームは、同社のレーザ切断システムのフォーカスシフトの最小化に使用できる、新しいソフトウエアアルゴリズムを開発した（**図2**）。切断ヘッドの各種類に固有の時間分解測定に基づくものである。

非接触型ビーム測定

非接触型ビーム測定システムは、開口部を通してレーザビームをシステム内部に入射し、反対側から出射するもので、その過程において何の影響も与えることなく、それを行うことができる。これが可能なのは、レイリー放射を測定しているからである。レイリー放射とは、大気中の酸素分子や窒素分子など、放射波長よりも小さな粒子によって電磁波が散乱する現象である。レーザ放射の電界は、レーザ周波数において双極子分子の発振を誘発し、それがその周波数における弾性散乱につながる（別掲記事「レイリー散乱による高出力レーザの測定」参照）。

装置内では、CCDまたはCMOSカメラ上のテレセントリックレンズアセンブリによって、散乱したレーザ光が側面から撮影される。CCDカメラの1本のライン上の個々のピクセルによって、ビームプロファイル強度の測定点として、散乱光が検出される。1090×2048ピクセルの標準的なCCDまたはCMOSカメラを使用する場合、このシ

図1　メッサーカッティングシステム社は、「PowerBlade」システムの新しい切断ヘッドを試験していた際に、熱フォーカスシフトを測定するためのより良い方法が必要だった。

図2　レーザ出力が高くアプローチ距離が短い場合、熱フォーカスシフトがレーザ切断品質に影響を与える。この問題に対処するために、メッサーカッティングシステム社は、このシフトを相殺する「Focus Shift Compensation」ソフトウエアアルゴリズムを開発した。

レイリー散乱による高出力レーザの測定

レーザ出力の増加に伴い、出力密度が比較的高いことから、サンプリングミラーや回転ドラムなどの物体を、ビームパスに配置することが実質的に不可能になっている。

直接測定するには出力の高いレーザに対し、最も一般的な大気中の分子である窒素と酸素のレイリー散乱特性を利用することによって、リアルタイムにビーム測定を行うことができる。レイリー散乱は、レーザのビームウェスト周辺の集光性の高い光が、近くの大気中分子によって散乱する現象である。その現象をカメラでとらえることにより、ビームに接触することなく、レーザのウェストを解析することができる。この概念に基づいて実装されたのが、水冷機構が不要で、可動部を持たず、解析対象レーザに出力上限を課さない、ビームプロファイラである。カメラベースのシステムであるため、データを１秒につき最大１５回提供することが可能だ。これにより、レーザシステムの時間ベースの特性をリアルタイムで観測することができる。

数キロワットレベルのレーザを使用する多くの産業用途において、対象部品に対して正しい出力密度が確実に適用されるように、ビームウェストのサイズと位置を一定値に保つことが求められる。「Ophir BeamWatch」によって、そうしたレーザパラメータを測定するための手段が提供された。例えば、一部の自動車溶接において、比較的大きなビームで出力密度を落とせば所望の結果が得られることから、フォーカス位置ではなく、デファーカスされた位置で、溶接が行われる場合がある。ビーム起動後に、レーザシステム上の熱影響によってフォーカススポットがずれると、フォーカススポットの位置が一定ではなくなるため、ビームの出力密度が変化し、溶接時間を通して一貫性のない結果が生じることになる。

航空機部品や航空宇宙部品を製造するための高出力レーザによる穴あけ加工も、フォーカススポット位置の維持が不可欠な処理の例である。この処理では、空冷部品用に数千もの小さな穴が部品上にあけられる。穴に埋め込まなければ、使用中に空冷部品が破損または変形してしまうためである。これらの穴あけには、ピーク出力が非常に高く、レンズの焦点距離が比較的長いレーザが用いられる。各穴の上下の長さと穴の間隔の両方について、一貫した形で穴をあけるために、（レーザの出力密度が最大となる）フォーカススポットの位置を判定して、対象部品上に戦略的に配置する必要がある。レーザのフォーカススポット位置の維持は、従来は難しかった。このレーザ特性を動的に測定する手段が存在しなかったためである。非接触型ビーム測定は、この問題を解決するものである。

ステムで2048の個別プロファイルが同時に測定される。これらの測定値から、ISO-13694とISO-11146の規格に基づいて、ビームやビーム品質のパラメータを計算することができる。

メッサー社にとっては、システムの速度が非常に重要である。ビデオフレームレートでの測定によって、レーザを発振させた直後に特に生じやすい、任意のフォーカスシフトをとらえることが、世界で初めて可能となった。「レーザ出力が高く、アプローチパスが短い場合、フォーカスシフトが、間違いなく切断処理に影響を与える」と、デュンツコファ氏は述べている。メッサー社の研究チームが、同社のレーザ切断装置で使用するための、ソフトウエアコンポーネントを開発したのは、そのためである。

将来性のある測定技術

レーザ切断のメリットとしては、切断精度が高いこと、高度な部品形状に対応すること、材料溶融が限定的であることなどが挙げられる。そのメリットを生かすために、特に新しい種類の切断ヘッドに対しては、レーザの測定技術がますます重要になってくると、デュンツコファ氏は確信している。ますます多くの切断ヘッドで、フォーカス位置とフォーカス径が、それぞれ個別に設定できるようになっている。焦点距離の違いによって、切断幅とレイリー長の両方が変わってくる。特に、高出力時には、焦点距離との関連で熱フォーカスシフトを、判定する必要がある。

「BeamWatch」システムにより、メッサー社のR&Dチームは現在、そうしたパラメータを素早く簡単に測定することができる。用途に応じて、最適な切断ヘッドが選択可能だ。デュンツコファ氏によると、製造だけでなく保守においても、このツールの使用の妨げになるような要素はないという。

デュンツコファ氏は、「ビームプロファイラは軽量かつ小型で、移動や操作が容易である。ビームは接触することなく装置を通過するだけなので、ビームそのものにも測定器の信頼性にも影響は生じない。また、出力上限を気にする必要もない」と述べた。

著者紹介
クリスチャン・ディニ（CHRISTIAN DINI）は、米オフィール社（Ophir、米MKSインスツルメンツ社[MKS Instruments]傘下）のグローバルビジネス開発担当ディレクター。
e-mail: christian.dini@eu.ophiropt.com
URL: www.ophiropt.com