高パワー材料加工の「焦点シフト」を最小にする反射光学系

高パワー／高輝度レーザ（キロワットのパワーレベル）を用いる材料加工は「焦点シフト」、つまり加工中の材料におけるレーザビームの位置ずれが共通の課題になっている。この焦点シフトの主要な原因はビーム伝送光学系やコーティングの不均一加熱による熱レンズ効果にある。焦点シフトは加工材料に集束するレーザビーム径の変化ばかりではなく、集束ビームの相対角度とビームのパワー分布にも変化をもたらし、ビームの望ましいトップハット分布がガウシアン分布に近づいてしまう。

しかし、独トルンプ社（Trumpf）の科学者グループは、レーザビーム伝送用の光学材料の性質と光学系のさまざまな構成を研究し、反射光学系を使用して、焦点シフトを最小にする最適ビーム伝送システムを開発した(1)。

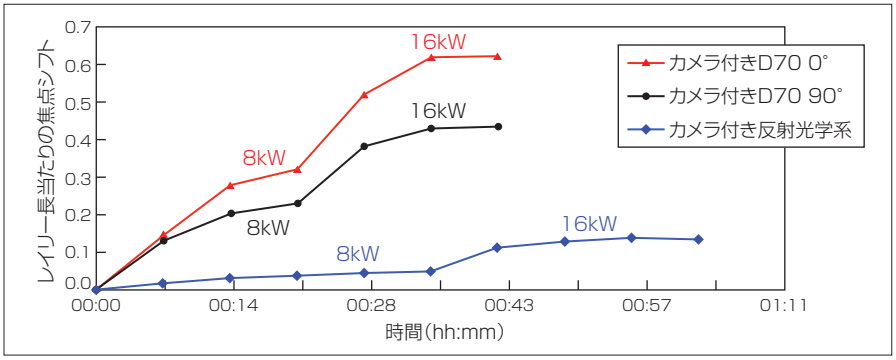

図1　反射光学系を用いるレーザビーム伝送システムは、高パワーレーザ材料加工における熱光学効果による焦点シフトを減らし、光減衰の少ない光学系を使用して、直線または角度配置の溶接ヘッドを最適化している。（資料提供：トルンプ社）

光学系の配置

高パワーレーザビームが通過する光学部品はいずれも熱光学効果に曝されるため、レーザ装置の出力部と加工材料の表面との間の光路は、できるだけ光吸収の少ない光学部品を使う必要がある。例えば、カメラを用いる直線の、つまり0°の溶接ヘッドでは、カメラ画像を反射し、レーザビームを透過する曲面鏡が使われる。この場合はレーザビームの吸収が曲面鏡の二つの面とバルク媒質の内部で起こる。対照的に、90°の溶接ヘッドでは、曲面鏡がレーザビームを反射し、カメラ画像を透過する。その結果、レーザビームは1面だけの反射により伝送されるため、熱光学効果による焦点シフトが直線配置の場合に比べて45%減少する測定データが得られている。

温度勾配を最小にし、その結果としての熱光学効果を最小にするには、光学部品の開口におけるビーム「占有率」の最大化が重要になる。また、ビーム伝送光学系の出力部の保護ガラスはできるだけ清浄な状態に維持しなければならない。加工による飛散物、塵埃、指紋などが付着すると、熱光学効果による焦点シフトが顕著に増加する。重要な保護ガラスの清浄度と品質を維持するには、監視装置（反射する信号パワーを解析するフォトダイオード）に保護ガラスを使用することが望ましい。

反射光学系

定量的に言うと、反射防止コーティングはレーザビームパワーの0.12%を吸収するため、16kWのビームの場合は最大80Wのエネルギーが吸収される。直線0°方式の溶接ヘッドの場合、5つの光学部品（ファイバ保護スリーブ、コリメーションレンズ、曲面鏡、集光レンズおよび保護ガラス）には全部で10の吸収面があり、16kWシステムからは800Wの熱が失われる。

吸収面の数を減らすために、トルンプ社は直線0°方式と90°方式の材料加工ヘッドの両方に対して、それらの焦点シフトの改善を可能にする反射光学系（RFO）を開発した（**図1**）。このRFOは2枚の反射鏡から構成される。レーザビームは光ファイバケーブルを通過し、その出口で2本のビームに分れる。このRFOは平面鏡と曲面鏡の両方の働きをするため、コリメーション用と集光用の二つの透過レンズが不要になる。カメラの取付け用に使われていた従来の透過集光系の光学部品は特殊な透明集光鏡を使うことで不要になる。RFOは保護ガラスを使用するが、その監視装置が標準部品として取付けられ、約8kWないしはそれ以上のパワーの使用が推奨されている。（Gail Overton）

参考文献

(1) D. Havrilla et al., "Latest Research Results with High Power Solid State Optics with Minimized Focus Shift," ICALEO 2010 Conf., Session LMP1, paper 103,Anaheim, CA（Sept. 27, 2010）.

LFWJ