

難加工材料への高度なレーザー溶接技術

ヤルノ・カンガスチュッパ

金属を高速かつスパッタなしで加工する技術

ファイバレーザは、金属の溶接や切断に広く利用されているが、まだ理想的な結果を得るのが難しい分野がいくつか存在する。亜鉛めっき鋼やアルミニウムの溶接が、主な例である。本稿では、こうした課題分野におけるファイバレーザのこれまでの概念を打ち破る新たなファイバレーザ技術を紹介する。

亜鉛めっき鋼の溶接

さまざまな種類の亜鉛めっき鋼が、自動車のほか、農業機器や建設など、腐食が問題となる分野で広く使われている。しかしこれまで、亜鉛めっき鋼のギャップなし重ね溶接は、レーザー溶接では難しかった。なぜなら亜鉛の沸点が鋼鉄よりもかなり低いためである。そのため、レーザーエネルギーを材料に投入したときに、亜鉛が先に蒸発し、生成されたガス圧によって溶融鋼が吹き飛ばされるので、スパッタが多く生成され、安定したきれいな結果を得ることが難しかった。そのため後処理できれいにする必要が生じていた。こうした課題をこれまでレーザーから出る単一のビームで簡単に制御する手段がなかった。キーホールを生成するために必要となるレーザー出力によって、溶接プールも対流が生じて不安定になるためである。

この問題は、材料にくぼみを作ってギャップを設けるか、鋼板の間にスペーサを挟むことにより、蒸発した亜鉛がキーホールの上部ではなく側部へ流れるように十分な隙間(約0.1～0.5mm)を作ることにより、緩和される。この

方法には1つ大きな問題があり、それは、自動車のドアなど、複雑な三次元形状をもつ部品用の鋼板の間に、一貫した小さなギャップを維持するのが難しいことである。部品を互いにぴったりと固定する固定具を作成するほうが、はるかに容易である。

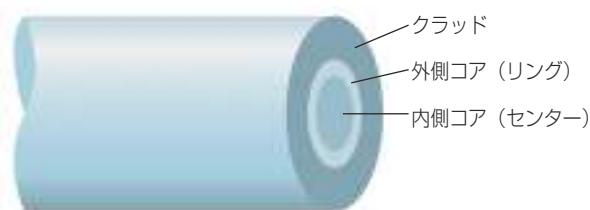
アルミニウム溶接

電気自動車は消費者の間でますます人気を集めており、電気自動車に使用されるリチウムバッテリーのアルミニウムケースを溶接する需要が高まっている。たとえば、使われる部品のふたを溶接で密封し、ライフタイムを終え

るまで厳密に密封されているようしっかりと頑丈に加工を施さなければならない。水分はリチウムと激しく反応し、生成されたガスと圧力によって、デバイスが破壊される恐れがあるため、この封止加工によって水分の侵入を防ぐことが不可欠である。また、溶接プロセスにおいてスパッタを発生させないことも重要である。金属粒子(と水分)は、バッテリーの短絡につながる、内部リーク電流を生成する恐れがあるためである。最後に、溶接部は、乱暴な扱いや衝突の衝撃にも耐えられるように、高い強度を備える必要がある。

アルミニウム製バッテリーケースの

ARMファイバの構造図



FL-ARM集光スポットの基本出力パターン



図1 ARMファイバの簡略構造図と、レーザー集光スポットの5種類の基本パターン。

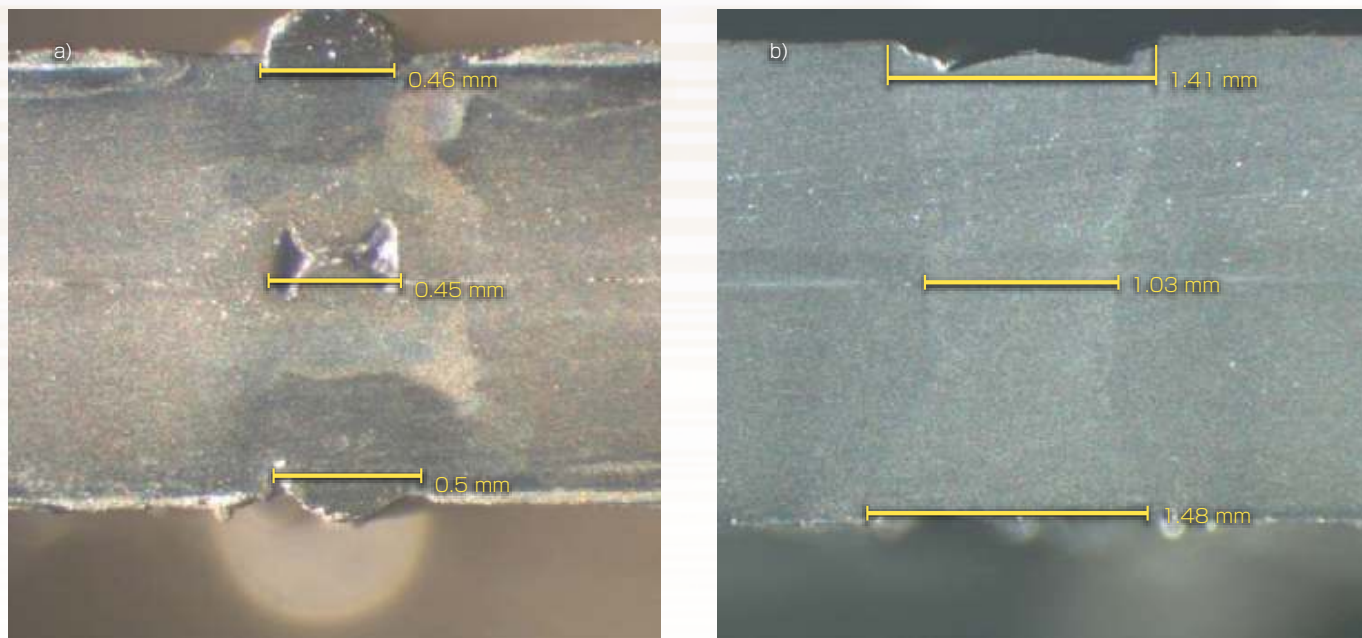


図2 ファイバレーザで、鋼板間にギャップを設けずに毎分3.3mのフィード速度で加工した厚さ1.25mmの垂鉛めっき鋼の溶接シーム断面図。従来のレーザ集光方法ではシームに空洞ができるのに対し(a)、FL-ARMでは、ポロシティがなく、優れた均質性を備えた溶接シームが生成される(b)。

封止には従来、熱伝導型レーザ溶接が適用されてきた。ケースの厚みが薄いためである(1mm未満)。しかし、熱伝導型溶接を適用する場合、十分な溶け込み深さを達成しつつ十分な強度の溶接部を生成し、かつ水分が侵入しないようにポロシティを抑えることは非常に難しかった。高いレーザ出力を用いて溶接部の溶け込み深さ(キーホール)を深くすると、ケースが変形するリスクが高まり、また、実質的に必ずいくらかのスパッタが発生する。

ARMビームモード可変技術

特定の材料をファイバレーザで加工する場合のスパッタの問題を解消するために、これまでは大気圧よりもかなり低い気圧(ミリバール範囲)のチャンバー内でレーザ加工を行ったり、フィード速度を大幅に引き下げたりといった方法が採用されてきた。しかし、そうするとスルーputが低下したり、ファイバレーザの本質的なメリットを打ち消す実用的な問題が生じたりす

る。溶融プールの挙動を非常に高い精度で制御し、市場に対応できるだけのスルーputをサポートし、簡単に実装できる形で、ファイバレーザ出力を供給する方法は、最近まで存在しなかった。

米コヒレント社(Coherent)は、フィンランドのタンペレにあるアプリケーションラボにてこのような課題への技術的開発作業に取り組み、高速かつスパッタなしで金属を加工する新しいソリューションを実証した。加工対象物上のレーザ集光スポットの強度プロファイルを、ピークが1か所にしかない従来のガウス分布から大きく変更することにより、これが達成されている。この開発により、ガウス分布の中心スポットのビームと、それを取り囲む別の同心円状のビーム構造が、独立して制御されることで有効なアプローチを生み出すことに成功した。

通常とは異なる構造のこのファイバレーザの集光スポットは、コヒレント社のフィンランドの設備(以前はコア

レース社[Corelase])で開発された、特殊リングレーザコンバイナ兼デリバリファイバである「FL-ARM」を使用して生成される。このファイバは、従来の円形コアの周囲が、環状の断面をもつ別のファイバコアで囲まれた構造をしている。

1~4本の個別のファイバレーザからの出力を組み込んだシステムが構築できるので、最大総出力は2.5~10kWとなる。すべてのビームプロファイル(センターとリングの出力)は、オンデマンドで独立して調整することができる。出力は、公称最大出力の1%から100%の範囲で調整可能で、センタービームとリングビーム用の個別のクローズドループ出力制御システムによって、出力調整範囲全体で優れた安定性が確保される。さらに、センタービームとリングビームは、最大5kHzの繰り返しレートで、それぞれ独立して変調可能である。

この構成(図1)により、センターとリングのビーム出力比という点では、

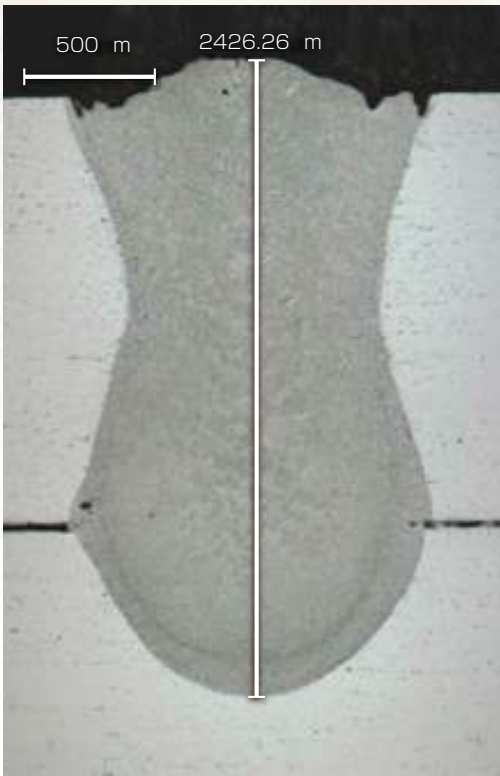


図3 厚さ1.6mmの5000シリーズのアルミニウム部品を2枚重ねた溶接部の断面。スパッタやボア(気孔)がなく、深い溶け込みが得られているのがわかる。

実質的に無限の組み合わせが可能である。大まかには図に示す構造に分類することができる。これらのパターンを基本として、広範囲にわたるプロセス特性を示すように変更することができ、多種多様な応用分野に最適なビームを生成することができる。

加工結果

単一のレーザー焦点をもつ従来の形状ではなく、センターとリングの同心円状の2つのビームでの出力を用いて、亜鉛めっき鋼を対象にこの技術の試験を行い、部品間にギャップを設ける必要なく溶接が可能であることを実証した。溶接を主に実行するのはリングビームだが、その処理は2つのステップで構成される。まずは、外側リングの立ち上がりエッジによって加工対象物を事前に加熱しつつ、溶接に必要な追加のエネルギーがリングの立ち下がりエッジによって供給される。供給

されたレーザーエネルギーを2つに分割し、より大きな面積に分散させることにより、大きな溶融プールが生成されて、材料における温度勾配が抑えられ、そのすべてがスパッタの抑制につながる(図2)。

同時に、中心スポットはキーホールを(エッジよりも低い温度で)維持し、溶融材料を側部に押し出す。これにより、部品がギャップなしで互いに固定されている場合でも、スパッタを発生させることなく、亜鉛ガスを中心から簡単に排出することができる。

また、曲線を描いた複雑な形状の部品では、溶接シームの方向が大きく変わる可能性があるが、リングビームは回転対称なので、ビームを変えることなく、溶接シームの方向に合わせるこ

とができる。これにより、実装はかなり簡素化される。

FL-ARMレーザーであれば、キーホール溶接も変形させることなく、強度の高い溶接部が得られる。ここでもビームは、センターとリングの同心円状に構成される。

この手法が有効なのは、リングビームの立ち上がりエッジによって、アルミニウムの温度を十分に引き上げることにより、レーザー波長の吸収率を高められているためである。続いて、センタービームによってキーホールが作成されるが、事前に加熱されているために非常に安定したキーホールが得られる。また、リングビームの立ち下がりエッジによって、ガスが十分に排出されるように溶融プールが維持される。キーホールが安定しているため、材料はそれほど早く再凝固せず、プロセス全体の一貫性が増して、プロセスウィンドウが大きくなる。最終的な結果(図3)として、均質で一貫した溶け込みと、スパッタが抑制された高品質でポロシティのない溶接部が得られる。

ファイバレーザは多くの産業用プロセスに使われているが、すべての用途に最適な単一の製品は存在しない。コヒレント/ロフィン社(Coherent/Rofin)をはじめとするレーザーメーカーが、広範囲にわたるさまざまなファイバレーザ製品を開発してきたのはそのためである。同社は、プロセスに関する広範な知識を組み合わせることによってこれらの製品の実用性を拡大し、スパッタの抑制、スループットの向上、生産コストの削減といった成果をユーザーに提供している。

著者紹介

ヤルノ・カンガスチュッパ(JARNO KANGASTUPA)は、米コヒレント社(Coherent)、フィンランドにて、カスタムファイバレーザを担当するビジネスディレクター兼製品ラインマネージャー。
e-mail: jarno.kangastupa@corelase.fi URL: www.coherent.com