

マルチレーザビーム材料加工

トビー・ストライト、アンドレアス・ガセンコ、マイケル・グルップ、トニー・ホルト

多様なスポットサイズ、パルス幅、あるいは波長を出せるファイバレーザは、ロウ付け、溶接、表面テクスチャリングなどのアプリケーション向けの単一プロセスにまとめることができる。

製造メーカーは、レーザ材料加工を、成熟した十分に理解された生産力増強と見ており、これをビジネスの新しいセグメントに拡大することを絶えず考えている。最近、そのような探求から、単一の加工品にマルチレーザビームを展開する傾向が出てきている。個々のビームがプロセス全体の一面を担うように最適化されている。このトレンドはすでに自動車製造で急速に採用され

ており、今後間もなく他の分野にも影響を与えると考えられる。

ここでは、マルチレーザビーム加工の3つの例に焦点を当てる。まず、自動車材料を強力かつ優れた外観で結合するために、3焦点ロウ付け (trifocal brazing) が調整されたビームをどのように利用するかを示す。次に、高強度鋼 (HSS) 向けの2段階溶接工程の利点を検証する。ここではレーザ洗浄ステ

ップによりレーザ溶接部の傑出した強度と完全性が可能になる。最後の例では、金属のレーザ表面テクスチャリングが、どのようにして高強度かつハーメティックに、ポリマと金属のボンディングを可能にするかを明らかにする。これらの例は、以前は得られなかった結果を生むために、マルチレーザビームの直径、パルス幅、さらには波長までも異なった調整を行って使用することの可能性に焦点を当てている。

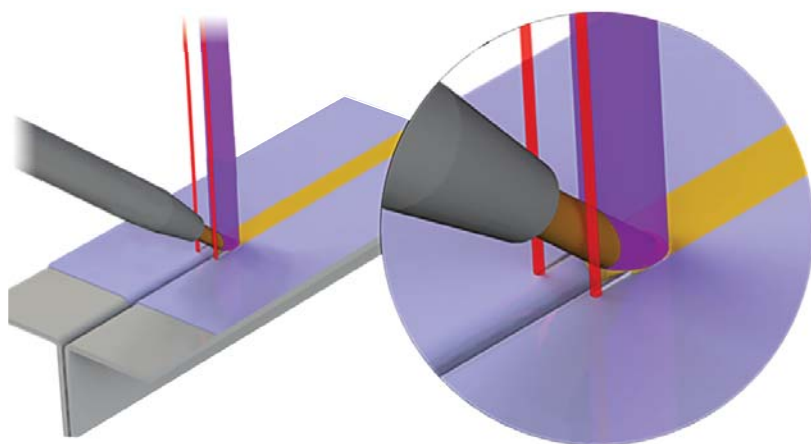


図1 3焦点ブレイジングでは、2つのリードビーム(赤)がスチールエッジ面を清浄して予熱し、ウェットングを促進する。トレーリングビーム(紫)がCu/Siワイヤを溶かして、シームレスなロウ付け接合を形成する。これは、塗装後、肉眼では見ることができない。

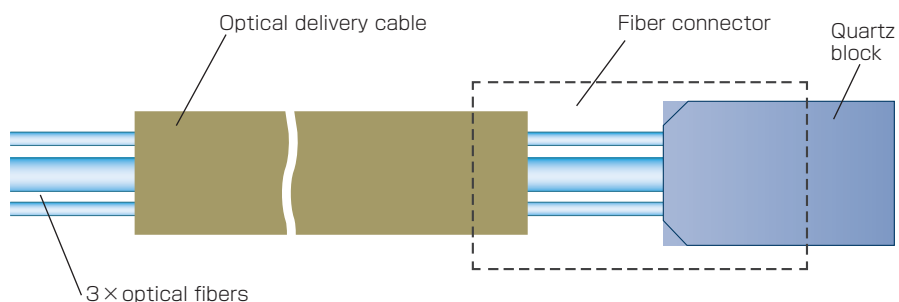


図2 3芯ファイバコア3焦点ブレイジング光学により、異なる径のファイバが一本の加工ケーブルから、空間的にオフセットされた異なるサイズのスポットをブレイジング領域に供給する。

3焦点ブレイジング

自動車産業は、最少材料利用で高い接合強度、併せて安全性と燃料節約を実現するためにレーザ固有の能力を利用する。レーザ溶接は自動車に定着しているが、ルーフラインや車の側面に沿った目に見える接合では、より美的なプロセスが好まれる。溶接と対照的に、ブレイジングは表面を溶かさないうで接合する技術、さらに正確に言えば、自動車アプリケーションでは、レーザエネルギーがワイヤを溶かして2つのスチール表面、またはアルミ表面の間に粘着性がある接合を形成するものだ。自動車メーカーは、真にシームレスな接合を実現するために、塗装を施す前に軽いブラッシングで済むようなブレイジングプロセスを要求している。

ブレイジングは、電気亜鉛メッキ鋼板の品質やエッジのバラつきに対する美観を学んでいる。特に、薄い亜鉛スケール防止層に存在する酸化物と汚染

物が、スパッタやエッジ粗さの主因である。このような知見から、新種の3焦点ブレイジングシステムが開発された。このシステムでは、2つのリードビームがスチールのエッジに沿って移動し、汚染物を除去し、亜鉛(Zn)表面層を予熱し、ウェットングを促進する。強力なトレーリングビームがエネルギーを供給し、Cu/Siワイヤを溶かして、新しいやり方で正常化されたスチール面をシームレスに接合する(図1)。

3焦点ブレイジングシステムは、ファイバ技術の柔軟性に依拠している(図2)。ファイバレーザーが、異なる径の3本の光ファイバに結合されており、これらは一本のケーブルで供給される。加工対象付近で、デリバリオプティクスが所望の3ビームプロファイルを実現し、細かいリードビームがあらかじめ洗浄し、その後でトレーリングビームがスパッタのないロウ付けシームを完成する。

3焦点ブレイジングの利点を直接評価するために、近赤外(NIR)ファイバレーザーを使用して一連の0.8mm溶接メッキしたスチールサンプルを接合した。1.6mm CuSi₃合金ワイヤ、3.5kW赤外ブレイジングビーム、加工レート4.5m/分を使用。CuSiワイヤを溶かす前に、350Wリードビームがスチールエッジを前もって洗浄するために供給されると、エッジの均一性向上、表面仕上げ向上がすぐさま観察できる(図3)。

3焦点ブレイジングは、1工程にクリーニングと結合を統合し、塗装後の処理の必要性を大幅に削減する。ブレイジングは、完全に高速自動化できる。直線および曲線に沿って接合強度と再現性は優れている。自動車メーカーは、生産性と美観の両方を最適化するために、化粧スチール接合にとって好ましいソリューションとして、3焦点ブレイジングの採用をますます増やしている。

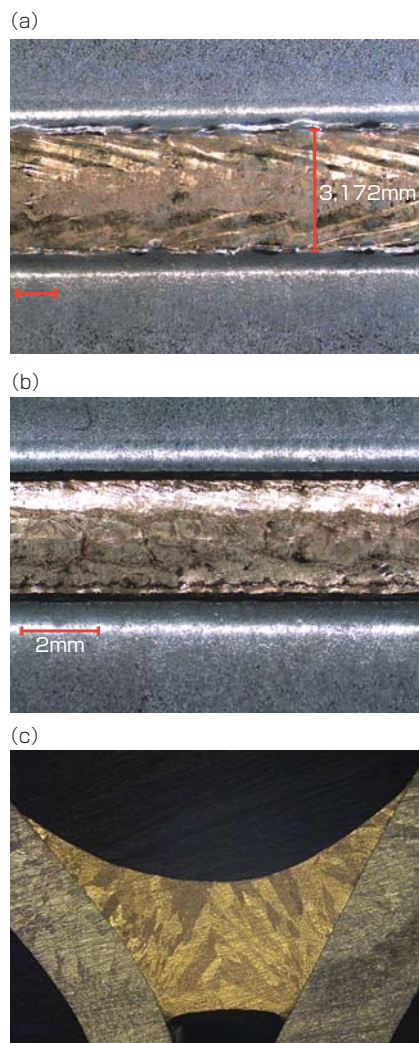


図3 スチールとCuSiワイヤを接合する、シングルスポット(a)と3焦点(b)ロウ付けシームの比較。改善された仕上げとエッジ粗さの抑制が、3焦点ブレイジング例では歴然としている。

高強度スチールの二段階レーザー溶接

自動車メーカーは、より安全で効率的な自動車を可能にする材料と結合方法を絶えず探求している。ホウ素によって強化された高強度鋼(HSS)が自動車のイノベーションの先端に出てきて、強度レベルが大きくなった。このため、北米でジョーズオブライフ(Jaws of Life)自動車救助用具強度レベルの仕様を再設定しなければならなかったほどである。接合技術が追従できると仮定すれば、

高強度により使用材料が少なくなり、車の軽量化となる。HSS材料の接合では、レーザー溶接は自動車メーカー推奨の方法である。初期の取り組みは、アルミニウムケイ素(AlSi)保護被覆によって阻まれた。AlSi保護コーティングは、ホットスタンピング工程でスケールを避けるためのものである。AlSiコートHSSをレーザー溶接するときは、脆い鉄アルミ(FeAl)金属間層が結果として生じる可能性がある。

極めて優れたHSS溶接品質は、溶接領域のいずれかの側面のスケール防止被覆をレーザーで除去すると達成可能である。これにより、FeAl金属間層のない、同質のきれいなスチール表面間の溶接が可能になる。図4は、レーザーアブレーションで準備したきれいなスチール表面を示している。1kW、70ns NIRパルスファイバレーザーによってAlSiコーティングは完全に除去されている。アブレーションレーザーは、最大100mJパルスエネルギー(1mm²スポットに7~10 J/cm²フルエンス)を供給する。これは新しいスクエア加工ファイバから供給され、正確かつ経済的な10m/分の性能で、30μm AlSiコーティングを除去する。マルチkW連続波(CW) NIRファイバレーザーを使った後続の高速溶接で接合加工が完了し、強力であるが軽量の、注文通りの溶接ブランクが自動車業界に供給できるようになる。

異なる径の2つのCWレーザービームを使う3焦点ブレイジングと対照的に、HSSの二段階溶接は、まず高エネルギーパルスナノ秒アブレーションレーザーを適用し、続いて高出力CW溶接レーザーを使うように最適化されている。最終例では、パルス/CWレーザーのワン・ツー・パンチを利用するが、サブナノ秒パルス領域に踏み込み、2つの異なるレーザー波長を適用する。

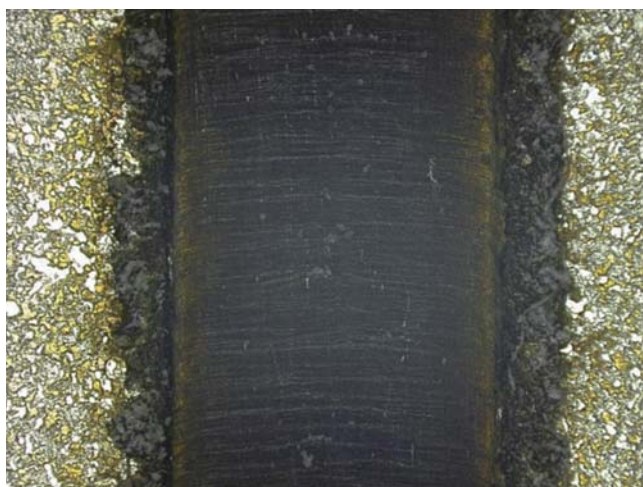


図4 新しいスクエア(方形)ファイバから供給される高パルスエネルギーファイバレーザ技術は、効率よく AISi コーティングを除去し、溶接品質改善のために本来の HSS 表面を露出させる。

ポリマと金属の接合

溶接は、対向面を溶かして材料を結合し、堅固な接合を形成する。溶接は、金属と金属、ポリマ(高分子化合物)とポリマの接合に広く使用されている。しかし、異なる溶融温度のために、ポリマと金属との溶接は大抵は除外されている。効果的なポリマと金属の溶融は、家電や医療機器など様々な産業で強く求められている技術である。最近開発された、新しいファイバレーザ技術を使う二段階プロセスは有望なソリューションを提供する。

第1段階は、新しい金属表面組織を提供するために、150psパルス時にピークパワー 400kW が可能な 30W NIR ファイバレーザを使用する(図5a)。微細な研究が示唆することは、高いレーザフルエンスがナノメートルスケールの層を溶かし、それが素早く上質の結節構造となり、その大きな領域が後続の接着にとって理想的になる。

これらテクスチャ表面で際立つことは、完全黒色であることで、高反射性の金属 Cu でも同様である(図5b)。経験豊富な溶接技術者は、均一な黒い表面が最も広い加工ウインドウを提供することを知っている。反射性の変動が、反射性金属に結合するためにレーザが

供給しなければならない閾値エネルギーに影響を与えるからである。

ポリマと金属の接合は、トリウム添加 CW ファイバレーザの 1.9 μ m 発振波長に依存している。その中赤外波長は、NIR ファイバレーザ、あるいはレーザダイオード光源よりも、一般的な透明ポリマに強く吸収される。従来の 1 μ m レーザは、ポリマを透過し、対向の金属面を加熱するだけになる。これは、熱をポリマに伝え、最終的には金属に溶け込ませて弱い接合になる。

ポリマと金属の接合強度は、最初のテクスチャリングと金属面のダークニングによって著しく改善されることがわかり、続いて 1.9 μ m ファイバレーザを使って熱エネルギーを加える。長い方の波長が熱を、ポリマと金属との界面だけでなくポリマに直接伝える。黒ずんだ結節金属面と相まって、ポリマの直接過熱は理想的な接合条件を提供する。われわれは、ポリマとチタンの接

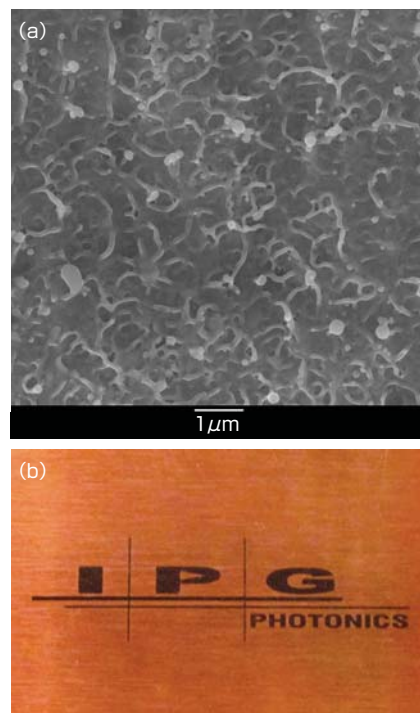


図5 サブナノメートル NIR レーザを使って得られた上質の結節 Cu 表面構造(1万倍に拡大)(a)。テクスチャ Cu 面は完全に黒であり、後続のレーザ処理によって理想的な吸収面となっている(b)。

合を形成した。これは、ハーメティックであり、剪断(せん断)力にさらされるとポリマが破綻するほどに強力である。

対照的に、表面テクスチャリングステップを割愛すると、重なり剪断試験は、ポリマと金属界面で破綻するので、接合が弱いことを立証している。透明なポリマと金属のしっかりした密封接合は、新しい設計自由度と製造自由度に道を開く。これはすでに、医療機器、民生エレクトロニクス、低コスト民生機器製品などの多様な分野の顧客の間で関心が生まれている。

著者紹介

トビー・ストライトは、カリフォルニア州サンタクララ、IPG フォトニクス社の米国西部、販売、マーケティング、アプリケーションダイレクター。

e-mail: tsprite@ipgphotonics.com URL: www.ipgphotonics.com

アンドレアス・ガセンコは、ドイツ、ブルバツハ IPG フォトニクス社の自動車アプリケーションを専門とする製品エンジニア。

マイケル・グループは、ドイツ、ブルバツハ IPG フォトニクス社のアプリケーションマネージャー。

トニー・ホルトは、カリフォルニア州サンタクララ、IPG フォトニクス社のアプリケーションマネージャー。