

グリーンレーザ加工における進歩

トレイシー・リバ、トラヴィス・ステンブキー

緑色波長のレーザは、特殊な材料加工に利用されるようになっている。そのような用途として最も新しいのが、銅粉末を使用した3Dプリントである。

この3年間で、完全電気自動車の市場は爆発的に成長している。この電動化には、かなりの溶接加工を伴う非常に大きなバッテリーパックが必要である。電気自動車以外にも、家庭用ソーラーパネル、産業用電力貯蔵装置、携帯型蓄電デバイス、バッテリーバックアップ装置、コンピュータ、スマートフォン、タブレットなど、電子機器に対する需要は驚異的なペースで増加し続けている。それらの機器のほとんどに、銅またはアルミニウムが使われている。銅やアルミニウムは、特に薄箔の場合は、赤外線 (IR) レーザでは溶接が難しい可能性がある。数年前まで、可視波長のレーザは非常に高額で、稼働率の高い産業製造に対して最も堅牢というわけではなかった。現在では、高いビーム品質、産業用途に耐える安定性、魅力的な価格を備える可視波長レーザが提供されている。

米トルンプ社 (TRUMPF) は、CO₂ レーザ、ファイバレーザ、ディスクレーザ、ダイオードレーザ、ロッドレーザ、

連続波レーザ、パルスレーザ、ウルトラファーストレーザなど、あらゆる種類の産業用 OEM レーザを提供しており、多大な柔軟性に加えて、さまざまな応用事例を見て、対象材料の加工に最適なレーザを特定する能力を保有する。電気自動車だけをとり、そのバッテリー、モーター、配電網に対して5種類の異なるレーザが使用されており、そのうちの1つが緑色波長レーザである。

可視波長レーザに注目が集まっている理由について説明しよう。最大の理由は、銅への吸収率である (図1)。近赤外 (NIR) レーザは、表面条件 (研磨済み、酸化処理済み、クリーンな状態など) にもよるが、レーザエネルギーの1~5%しか吸収されないのに対し、可視波長の場合は、表面条件にかかわらず、室温でレーザエネルギーの約40~45%が吸収される。

初期吸収以降も、近赤外レーザの吸収率は、融点に近づくにつれて約10%に近づいていき、融点に達すると約17%

に突然上昇する (図2)。この急激な上昇で激しい反応が生じ、溶融した材料の一部がスパッタとして放出される可能性がある。多くの場合、これによってキーホールが崩壊して、プロセスは最初からやり直しになる恐れがある。

緑色波長レーザのメリット

緑色波長は初期吸収が高いため、吸収率が数%変化してもさほど大きな影響はなく、プロセスをよりきめ細かく制御することができる。図3も溶接プロセスを分析したグラフで、溶融状態に遷移した後の吸収率を示しているが、可視波長は吸収率がやや低下するという、先ほどとは逆の現象が生じることがはっきりと示されている。これは、安定したキーホールを形成して、銅加工時のスパッタをほぼゼロに抑えるために、有効であると考えられる。

では、緑色波長のレーザは、どのような加工に適しているのだろうか。簡単に言えば、銅を使用した伝導溶接、銅の薄箔溶接、そして、スパッタを生じさせないことが必要であるか、2mm未満の深さを繰り返し生成するなど、熱入力と深さを制御する必要がある、基本的にすべての銅溶接である。従来の溶接は一般的に、強度と外観の美しさが最も重要だった。しかし、電動化関連の加工では、導電性/低抵抗も重要で、強度よりも重要という場合が多い。

銅の薄箔積層体の溶接は、グリーンレーザが最も得意とする処理の1つである。薄箔積層体とは、厚さ5~25 μ mの薄箔が一般的に10~100枚積層されたものと当社では定義しているが、3枚以上の任意の積層体に対して、グ

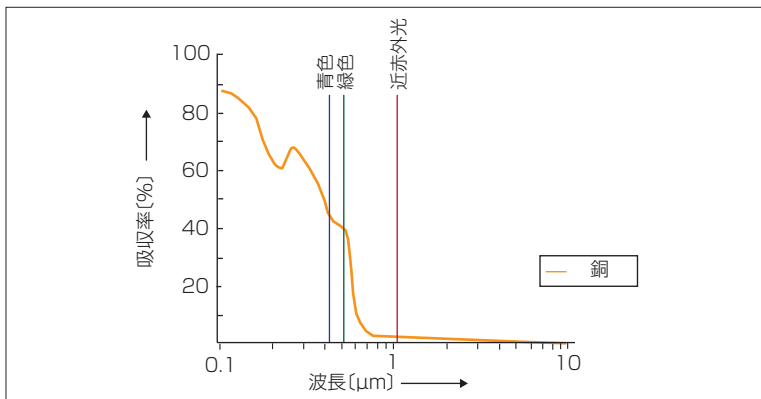


図1 銅の室温における波長吸収特性。

リーレーザーは最適である。どのようなレーザー溶接でもそうであるように、層間の隙間が問題になるため、隙間をなくすためのクランピング処理が、適切なレーザー溶接のために必須である。IRレーザーの場合は、キーホールを形成する間、吸収率を一定に保つ必要がある。温度の変動に伴って吸収率が大きく変動し、プロセスが非常に不安定になるためである。キーホールは揮発性が非常に高く、スパッタの放出もあるために、溶融材料が非常に少なく、小さな隙間さえも埋めることができない可能性がある。そうすると上層が接合されず、適切な電気的接点が形成されないことになる。

緑色波長の場合、厚みのある積層体に対して、プロセスにおける吸収率が制御でき、熱伝導溶接が適用可能で、安定したキーホールが形成されるため、スパッタが発生せず、すべての溶融材料を、隙間を埋めるために使用することができ、理想的な溶接部が生成される。図4は、厚さ6 μm の銅箔100枚からなる積層体を、2つの0.5mmの銅製バスバーに溶接した構造の断面図を示している。2kWのグリーンレーザーを使用し、ガルボスキャナによって溶接部を最適化するための動作パターンを生成した。溶接部は長さ10mmで、溶接にかかった時間は477msだった。溶接部はわかりやすいように、黒枠で縁取られている。

熱入力を最小限に抑えたスパッタのないプロセスによって、この段階で最終的な電気部品を生成するのは、重要なことである。完成部品の廃棄には非常に高いコストがかかるためである(図5)。DCB基板の接点生成では、プロセス制御と熱入力の両方が非常に重要である。セラミックに接合された非常に薄い銅層に対する銅接点の溶接に

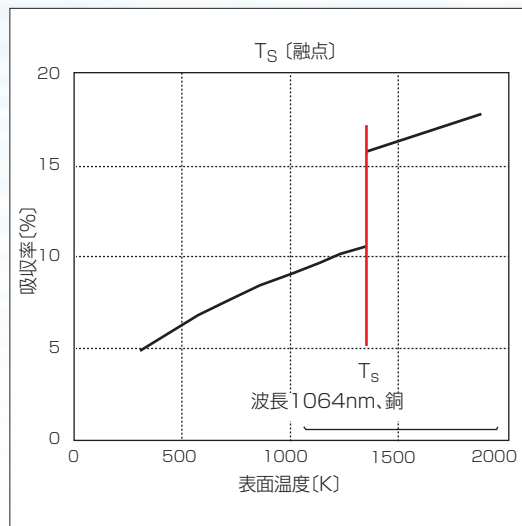


図2 赤外線(IR)レーザーのキーホール形成における固体状態から熔融状態への遷移。(画像出典：S. Amorosi, T. C. Sidler, R. P. Salathe, H. P. Schwob, J. Hertzberg 共著, SPIE 議事録 [2003]; <https://doi.org/10.1117/12.540460>)

は、深さ制御が必要になる。完全に貫通してしまったり、過剰な熱が入力されたりすると、セラミックが損傷する恐れがあるため、一定した熱伝導溶接が求められる。近赤外光は吸収率の変動があるため、部分貫通した溶接部を生成するのが非常に難しく、製造時にそれを一貫して達成できるかどうか大きな懸念となる。可視光は、この点において優れている。吸収率がかなり一定しているため、スパッタを発生させることなく、再現可能な溶け込み深さを得ることができる。

その他の例としては、回路基板、制御回路、配電/充電アセンブリなどが

ある。ここでもプロセス制御と熱入力が必要だが、これらの用途ではスパッタをなくすことが、非常に重要である。小さなスパッタの塊によって、破壊的な短絡が製品内に生じ、部品に損傷を与えるだけでなく、近くにいる人間も危険な状態にさらす恐れがある。

拡大する応用分野

3Dプリントの有望な新興市場が、銅に対するレーザー肉盛溶接(Laser Metal Deposition:LMD)と粉末床レーザー溶融(Laser Metal Fusion:LMF)である(図6)。3Dプリントは高速なプロセスではないため、主な用途は、プロ

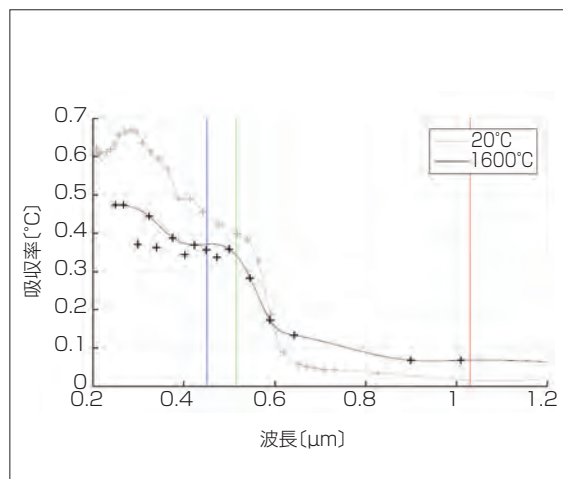


図3 固体状態と熔融状態における吸収率。(画像出典：S. Kohl氏、独 Institute of Photonic Technologies 社)

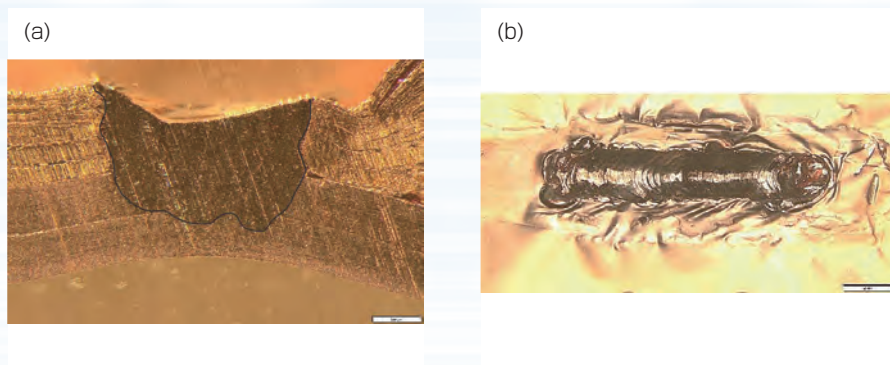


図4 銅箔積層体の溶接。(a)は断面図、(b)は上面図。

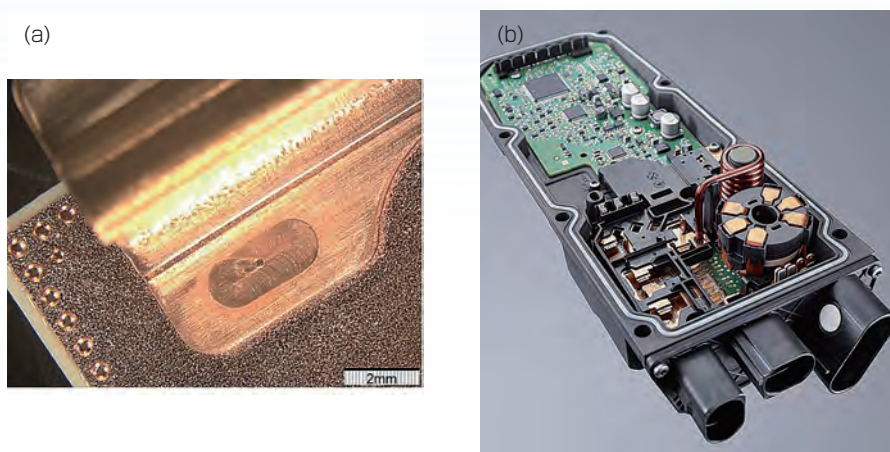


図5 (a)はDCB 基板上の銅接点の溶接、(b)は制御モジュール。

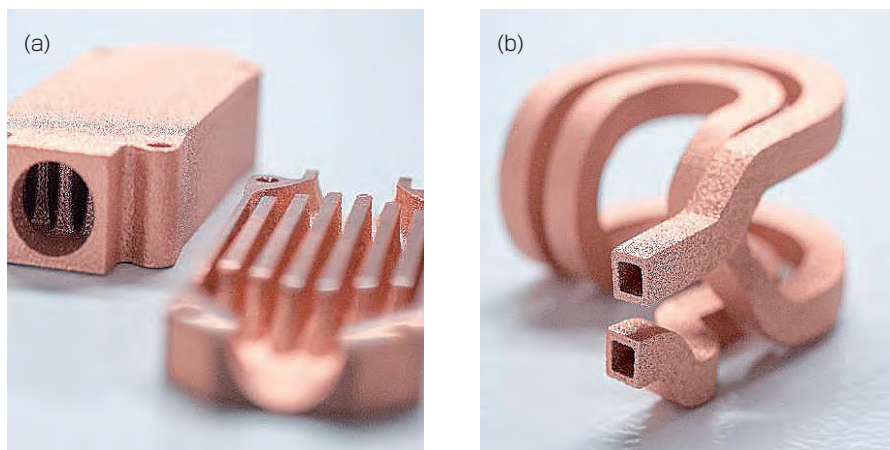


図6 緑色波長レーザーを使用してプリントされた銅部品。

トタイプ部品、他の手段では構築できない構造、けた外れの強度と驚くほどの軽量性を備えたハイエンド部品の作成や、高価な材料の製造に限られている。3Dプリントにおいて、銅をIRレーザーで加工するのは理想的ではない。プロセスに変動性があり、再現性が低

く、加工速度が低いためである。緑色波長レーザーならば、熱入力が低く、加

工速度が高速な、非常に安定した再現可能なプロセスが得られる。

トルンプ社は2021年に、グリーンレーザーの波長を対象とした「Bright Line Weld」というデュアルコア技術を発表した。厚さ2mm以上の銅に対するスパッタのない深溶け込み溶接など、いくつかの難しい加工を改善することが示されている。

結論

バッテリー技術の普及に伴って、自動車の電動化がますます進む中で、銅やアルミニウムの加工は、今後数年間のうちにその最前線に立つことになるだろう。緑色波長レーザーの利用は、この加工革命における重要な手段になる。40%以上という銅への高い吸収率と、表面条件の変化に左右されない性質により、グリーンレーザーは、製造におけるプロセスの安定性と柔軟性を確保するための最適な選択肢である。それは、バッテリーの金属箔の溶接、金属箔のバスバーへの溶接、セラミック絶縁体に接合される銅の深さと熱の制御などに対して、不可欠なものである。熱入力が低く、溶け込みが一貫しており、スパッタがないことは、完成した電気回路上の溶接において、非常に重要なことである。溶接からのスパッタによって引き起こされた熱損傷や電氣的短絡が原因で、高額な部品を破棄しなければならないという事態は避けたいためである。新しいレーザーが開発されてプロセスが改良されるにつれて、緑色波長レーザーは、拡大する電動化市場において重要な役割を担うことになる。

著者紹介

トレイシー・リバ(TRACEY RYBA)は、米トルンプ・レーザー・テクノロジー・センター(TRUMPF Laser Technology Center)のレーザー担当シニア製品マネージャー。トラヴィス・ステンブキー(TRAVIS STEMCKY)は、同センターの高出力レーザーアプリケーション監督者。
e-mail: tracey.ryba@trumpf.com travis.stempky@trumpf.com
URL: us.trumpf.com