

グリーン波長でのレーザー溶接、 eモビリティにメリット

ヘンリック・パンツァー、エヴァマリア・ドールド、
マーク・キルヒホフ、オリヴァー・ボックスロッカー

グリーン波長で得られる、プロセス安定性、高い吸収率、高いフィード速度

eモビリティはこの5年の間に、世界中の自動車業界で最も重要な開発トレンドになっている。電気自動車は、性能の高さ、運転の快適さ、操縦のしやすさ、メンテナンス要件の低下、環境的要因を理由に、需要が持続的に増加している。各種規制によっても、輸送の電動化が促進されており⁽¹⁾、電気自動車はもはや、自動車市場のニッチな分野とはいえない状態にある。

自動車業界のOEM、供給メーカー、機械メーカーの任務の1つは、サプライチェーンから信頼できる技術を作り出し、電子部品の製造を加速化させることである。これには、電動パワートレインに関連する、製造のすべての側面の処理が含まれる。最も大きな課題の1つは、電動パワートレインの部品や材料がまったく新しいものであるか、あるいは、自動車業界におけるこれまでの慣習とは異なる方法で使われることである。例えば、大容量バッテリーや適切な電気モーターの量産が必要になったことは、自動車業界に限らず、全般的にどの業界でも前例がない。

不可欠なコンポーネント

最も重要なコンポーネントがバッテリーで、バッテリーセルを組み合わせることでバッテリーモジュールを形成し、それをさらに組み合わせてバッテリーパックを形成することによって製造される。信頼性の高いバッテリー管理シス



テムが必要で、バッテリーを自動車に搭載するためのセルとモジュールの筐体も必要である。バッテリーの充電や車内の電力管理に、充電システム、コンバータ、センサ・システムなど、それ以外にもさまざまな電気コンポーネントが必要になる。

バッテリー以外にも、路上で電力を供給するための電気駆動装置が必要である。ハイブリッド駆動装置(電気駆動装置をギアボックスに直接組み込むという駆動概念)から、四輪駆動装置(4つの電気駆動装置を車輪近くに取り付ける)まで、多数の異なる設計の電気駆動装置が存在する。

これらのコンポーネントに共通するのは、以前は自動車に搭載されていなかったために、それらの部品に関する十分な経験が蓄積されていないことである。これらのコンポーネントの主要

材料の1つが銅である。

こうした部品の製造には、多数の課題とともに、莫大な可能性が秘められている。過去の確たる基準がない状態で、製造プロセスが定義されるためである。そこには、イノベーションの莫大な余地があり、レーザーは非常に柔軟性の高い手段として、eモビリティの鍵となる可能性がある。レーザーを利用すれば、生産性と品質の面で新しい要件を満たし、また、現在の少量生産から近い将来求められる大量生産へと生産規模を拡大することが可能である。

レーザーで拓かれる可能性

eモビリティ市場によって、レーザーの潜在的用途の数と製造コンポーネントの数は増加する。特に、パワーエレクトロニクス、パワートレイン、バッテリー製造の分野では、レーザーを利用すれば、最小限の熱入力で高速な溶接や切断が実現できる。ただし、それらの用途の要件は、それぞれ大きく異なる。ダイレクトボンド銅(Direct Bonded Copper: DBC)基板上の電子接点の溶接では、正確な溶接深さを達成するとともに、スパッタと熱入力を最小限に抑えなければならない。周辺部品が溶接位置に非常に近く、プロセスが安定性に欠けると破損させてしまう恐れがあるためである。eパワートレインでは、良好な電気的特性を得るために、気孔とスパッタを最小限に抑えつ

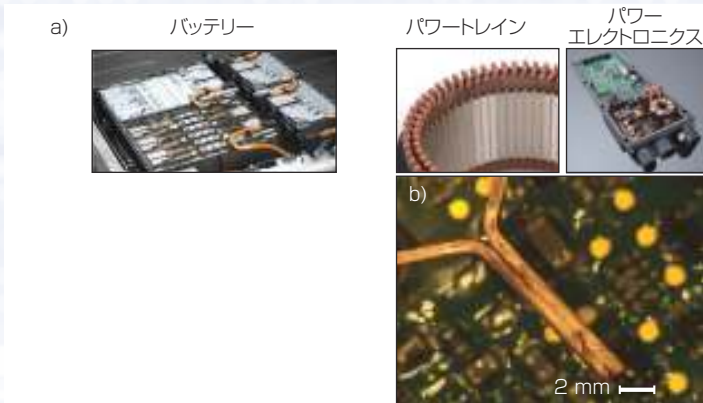


図1 eモビリティ関連のグリーンレーザー応用分野。

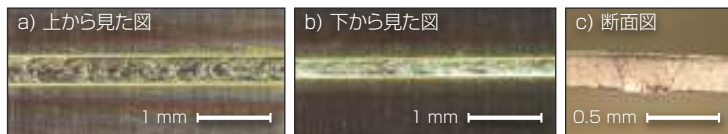


図2 グリーンレーザーによるスパッタのない銅溶接により、非常に高い品質と滑らかな溶接面が得られる。

つ、高いレーザー出力と溶接速度でヘアピン溶接を行う必要がある。同じ要件がバッテリー接点にも当てはまる。ここでは、正確な溶接性能が、高い品質と生産性を達成するための鍵を握る。前述のとおり、eモビリティ分野でレーザーが適用されるコンポーネントの多くに、銅製の部品が含まれる。銅は、グリーン波長レーザーの得意分野である(図1)。

銅の最大のメリットである高い導電性と熱伝導性は、溶接における最大の課題でもある。その熱伝導性は、一般的に用いられる鋼鉄よりも10倍高いため、非常に集中的なエネルギー入力が必要である。その問題は、レーザーで解決できる可能性がある。レーザーは、小さな作用領域に高いエネルギー強度を供給する技術だからである。ただし、高い導電性につながる材料特性は、高い反射性にもつながる。レーザーは、(一般的には近赤外域[near IR]の)光という形で、加工対象物にエネルギーを印加する。反射性金属や多くの透明材料は、一般的にIRレーザー光のほんの一部

しか吸収しないため、それがIRレーザーに対する問題となる。

銅溶接において、材料の加熱に使われるのは、レーザーエネルギーのわずか5%ほどである⁽²⁾。レーザー光の吸収率が低い室温状態において、溶接プロセスを開始し、材料を加熱するには、高い強度が必要である。室温の銅表面は、レーザー出力のほぼすべてを、光学部品などの周辺部品に反射する。それは、エネルギー伝達の面で非常に非効率というだけでなく、繊細な部品に損傷を与える恐れもある。温度の上昇とともにIRレーザービームの吸収率は高まり、融点になると15%以上にまで増加するが、この遷移は制御が難しい⁽³⁾。溶接プロセスの開始時には高い強度が必要だが、吸収率の増加とともに、材料は過熱してしまう恐れがある。そのため、熱伝導溶接は、適切な再現性が得られない。一方、深溶込み溶接は、特にフィード速度が低いと、溶融物放出などの溶接欠陥が生じる⁽⁴⁾。また、銅は鋼鉄と比べて表面張力と粘性が低いいため、溶融池の安定性が低くなる。

グリーンレーザーの機能とメリット

グリーンレーザー(波長515nm)に対する銅の吸収率は35～40%であるため、初期吸収と過熱の問題を起こすことなく、非常に安定した溶接プロセスが得られる。パラメータの調整も簡単で、ウォブルなどのプロセス手法は不要である。独トランプ社(Trumpf)のグリーンレーザーは、薄ディスクレーザー技術に基づいており、システムは産業用途に対応する。機械に簡単に組み込めるように、レーザー光はファイバで伝送される。

グリーンレーザービームを銅が十分に吸収するため、薄膜や厚さ0.4mmまでの小さな銅部品さえもが、熱伝導溶接モードで、再現可能な形で溶接可能である。キーホールとそれに伴う溶融ダイナミクスがないため、まったくスパッタのない銅溶接が、グリーンレーザーによって可能であることが実証されている(図2)。その証拠に、高速撮影動画では、まったく動きのない完璧に滑らかな溶融表面を確認することができる。同等のIRレーザーでは、吸収率が温度に依存し、プロセスが熱伝導溶接から深溶込み溶接に簡単に移行してしまうため、銅の再現可能な熱伝導溶接は不可能である。溶接モードによって、銅薄膜が接続されなかったり、破損してしまったりする場合がある。

プロセス温度を常に溶融温度と蒸発温度の間に保つことは、IRレーザービーム溶接では不可能である。グリーン波長ならば、プロセスの安定性と高い吸収率によって、高いフィード速度が達成可能で、それによって、熱伝導と熱膨張による熱損失が抑えられる。グリーンレーザーによる熱伝導溶接は、バッテリー薄膜の溶接や、電気コンポーネントの小さな銅部品の接合に対する、第1の選択肢である(図3)。

DBC基板などの熱に非常に弱い部



図3 熱に弱いコンポーネントのスポット溶接。

品や、熱に敏感な環境での溶接には、マイクロ秒パルスのグリーンレーザの使用が推奨される。パルスモードは、熱プロセス管理の可能性を拡大する。パルス照射により、部品と周辺材料の熱ストレスが実質的に緩和される。グリーンレーザのパルス重複を大きくすることにより、最大で0.1mmまでの隙間に簡単に対応することができる。パルスごとに材料はクールダウンし、熱入力を低下させることが可能である。IRレーザとは異なり、グリーンレーザビームによる溶接には、パルスとパルス間で温度が低下し、それに伴って吸収率が低下するといった問題は生じない。

高電流による厚みのある銅部品の溶

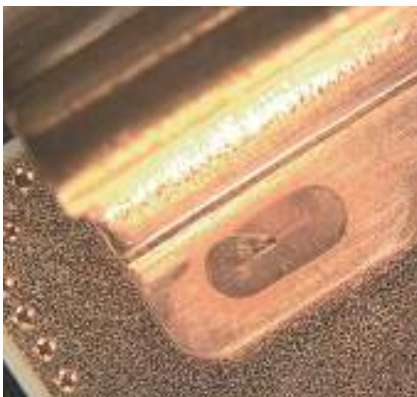


図4 連続波グリーンレーザ「TruDisk 1020」によって0.1秒の速度で溶接された、DBC基板上の銅接点の例。

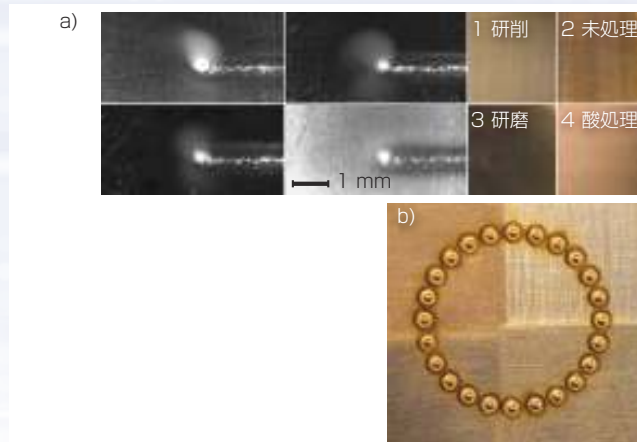


図5 表面条件は、グリーンレーザによる銅溶接に大きな影響を与えない。

接も可能である(図4)。表面品質の高い厚さ0.8mmまでの銅が溶接可能である。最大溶接深さは、部品の熱容量に依存する。小さな部品や薄板の方が、周辺材料への熱伝導が抑えられるので、溶接は容易になる。これは材料の問題であり、波長には依存しない。

IRレーザビームの吸収率は、表面被膜や酸化などの表面処理によって高めることができる⁽⁵⁾。グリーン波長レーザで溶接する場合、銅被膜は不要である。表面条件にかかわらず、室温でも効率的に吸収が開始する。研磨、研削、酸エッチング、酸化の各処理を施した表面で試験を行ったところ、ほぼ同様の溶接結果が得られた。これにより、グリーンレーザは、表面条件の影響を受けにくいことが明らかになった(図5)。酸化表面と研磨表面を、同じパラメータで溶接することが可能である。

結論

eモビリティに伴い、銅溶接は、自動車業界における最も重要な研究分野の1つになっている。スパッタを低減し、高品質な銅溶接結果を生成するための、新しい手法が求められている。グリーン波長レーザは、銅溶接に対する望ましい手段であることが実証されている。銅表面に瞬時に吸収されるこ

とと、プロセスが安定していることは、バッテリーや電子機器の電気コンポーネントの溶接に対する大きなメリットである。スパッタがないことから、組み立て前の電子部品も、短絡の危険性なく溶接可能である。現時点で、平均出力400W、ピーク出力4kWの産業用パルスレーザと、最大1kWの連続波(Continuous Wave: CW)レーザが利用可能である。この技術によって、銅のレーザ溶接における課題が克服されている。

参考文献

- (1) See <https://bloom.bg/2Pn2YfK>.
- (2) J. Bliedtner, H. Müller, and A. Barz, *Lasermaterialbearbeitung Grundlagen - Verfahren - Anwendungen - Beispiele*, Hanser, Munich, Germany (2013).
- (3) S. Amorosi, T. C. Sidler, R. P. Salathe, H. P. Schwob, and J. Hertzberg, *Proc. SPIE*, 5063, 1, 1-7 (2003).
- (4) A. Heider et al., *Phys. Procedia*, 41, 112-118 (2013).
- (5) S. Engler, R. Ramsayser, and R. Proprame, *Phys. Procedia*, 12, 342-349 (2011).

著者紹介

ヘンリック・パンツァー (HENRIKKI PANTSAR)、エヴァマリア・ドールド (EVA-MARIA DOLD)、マーク・キルヒホフ (MARC KIRCHHOFF)、オリヴァー・ボックスロッカー (OLIVER BOCKSROCKER) は、すべて独トルンプ社 (Trumpf) 所属。
e-mail: henrikki.pantsar@trumpf.com
URL: www.trumpf.com