

バッテリー溶接のための レーザビーム成形

ティム・モリス、ブライアン・ヴィクター

シングルモードとリングビームによる、バッテリー製造における銅とアルミニウムの溶接例を比較する。

バッテリー市場は、転換点に近づいている。バッテリー価格が業界共通の目標値である100ドル/kWh以下となるその転換点において、電気自動車(EV)の購入価格は、内燃機関自動車(ICE車)と同等になる。乗用車市場は、バッテリー最大の量産市場であり、バッテリー技術と製造効率の進歩を推進している。EVとハイブリッド車の販売が増加し続ける中で、性能と価格の改善が、他のバッテリー市場の加速化を後押ししている。据置型電源市場に対しては、バッテリーの進歩によって、クリーンエネルギー貯蔵やピークシェーピングのためのさらなる有用なソリューションが提供される。商用車市場における配送トラック及び公共交通機関や、パーソナルモビリティ用の2輪車も、乗用車市場によって改善される

エネルギー密度、充電サイクル、信頼性の恩恵を受けることになる。EVとICE車の価格は、わずか数年のうちに同等になると予想されている。

レーザインテグレータやシステムビルダー、そしてレーザを熱心に推進する人々は、バッテリー市場のこの急速な成長が、レーザ業界にとってどれだけ素晴らしいことであるかを理解している。バッテリーのパッケージング効率、バッテリーパックのエネルギー密度を高めるための軽量化、生産量拡大のためのサイクルタイムの短縮に対する需要が高まっているが、新しいレーザ加工ソリューションによって、そうした問題は解決されつつある。医療や航空宇宙分野を対象とするバッテリーメーカーは、古くから存在するパルスYAGレーザ溶接、超音波溶接、また

は抵抗スポット溶接を使用して、銅、アルミニウム、ステンレス、ニッケル製の薄い部品を接合してきたが、これらの古い加工手段は、サイクルタイムが長かったり、EVの生産要件や重量制限とは相いれない、大きな溶接タブが必要であったりする。

電動輸送市場では、ファイバレーザがその卓越した加工性能(生産速度と運用コストのバランス)によって、そうした古い加工手段に急速に取って代わっている。ファイバレーザは、陽極と陰極の金属箔の切断、金属箔タブの溶接、角型電池缶の封止、電流遮断素子(Current Interrupt Device : CID)の組み立てに加えて、モジュールを構成するためのセル接続や、パック構造へのモジュールの組み込みに利用されている。バッテリーのパッケージング効率に対する需要の高まりに伴い、シングルモードのファイバレーザの利用が、マルチモードのレーザよりも増加している。溶接部のサイズが細く、熱入力が低く、強度が高いためである。

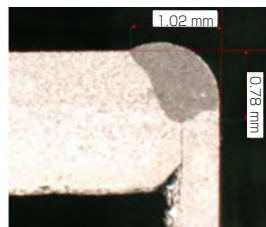
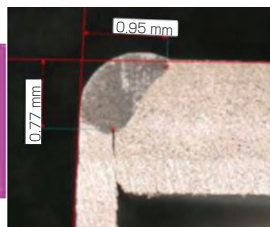
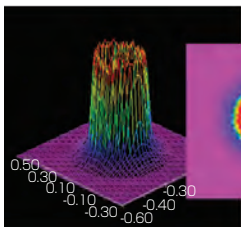
レーザ溶接の課題

他の製造プロセスと同様に、バッテリー溶接にはまだ、メーカーを悩ます複数の課題が存在する。製品設計の進化と、サプライチェーンにおける変化が、溶接する部品の品質と再現可能性に影響を与える可能性があり、それが部品間の大きなばらつきにつながっている。

バッテリー製造に使われる金属のうち、銅とアルミニウムは、鋼鉄、ステ



図1 マルチモードのリング状のファイバレーザビーム(CFXシリーズ)を使用して、2.5kWの出力と200mm/sの速度で行った、アルミニウム製の角型バッテリーセルの電池缶とキャップの溶接。



ステンレス鋼、ニッケルよりも溶接が難しい。どちらも熱伝導率が高く、液粘度が低く、熔融溶接池においてガスと結合する親和性を有するためである。銅とアルミニウムに対して融接を行うには、隣接部品の過熱を防ぐために、溶接プロセスは非常に高速で熱入力が高くなくてはならない。また、溶接スパッタやポロシティを防ぐために、溶接プロセスは、接合部にどのようなばらつきがあったとしても、高速で安定している必要がある。

構造接続の場合は、溶接部の強度をできるだけ高くする必要があるが、溶接プロセスの対象となる接合領域を大きくすることは避けたい。その重量の増加によってエネルギー密度が低下するためである。電気接続の場合は、電流が流れるように溶接領域を十分に広くしつつ、大きな溶融体積によって生じ得るひずみを抑える必要がある。構造接続と電気接続の両方を伴う接合部の場合は、最適なバランスを達成するために、溶接プロセスは、製品設計の制約の範囲内で動作する必要がある。このような課題に、サイクル速度や品質に対する高い要件が加わって、レーザー溶接エンジニアに許容される動作ウィンドウは、非常に限られたものになる可能性がある。

バッテリー加工手段としてのシングルモードのビーム成形

シングルモードのファイバレーザは、そうした難しい溶接条件に対する有効な解決策であることが実証されている。シングルモードビームは、その小さなスポット径と高い出力密度により、深い溶け込み溶接を非常に高速に実行することができ、熱入力はほとんどなく、ひずみも小さい。シングルモードファイバレーザは、キーホール溶

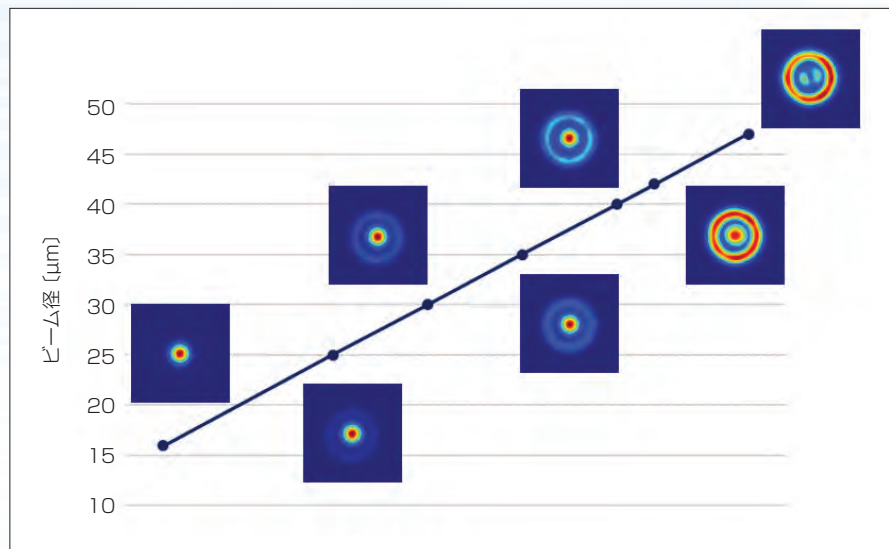


図2 AFXシリーズのファイバレーザによって生成される、シングルモードのガウススポット形状から外径40μmのリング形状までの一連のビーム形状。

接時の銅とアルミニウムの反射率を容易に克服する強度を備える。金属箔タブの接続や小さな構造の溶接から、厚みのある電極接続に至るまで、シングルモードファイバレーザは、多用途で有用なバッテリー加工手段としての評判を確立している。

近年は、ビーム成形ファイバレーザの登場により、リング状のビームが、角型バッテリーセルの電池缶とキャップ(図1)、複数のセルからなるモジュールバスバー、モジュールの筐体、パック構造のフレーム、アルミニウム製EVボディなど、厚みのあるアルミニウムの溶接に適していることが、バッテリーインテグレータによって示されている。

米エヌライト社(nLIGHT)は最近、このチューナブルなビーム成形機能をシングルモードファイバレーザに搭載し、リング形状のメリットをシングルモードビーム品質の強度に組み合わせた。同社の「AFX」シリーズのファイバレーザは、シングルモードファイバからのレーザー出力分布を、最大40μmのリングファイバにまで動的に変更す

る能力を備える(図2)。このチューナビリティにより、バッテリー材料に対する幅広い種類の溶接処理を実行する、レーザ源の多用途性が実現される。

銅の溶接に対しては、最高強度のシングルモードビーム形状により、キーホール溶接モードで動作した場合に、最も深い溶け込みと最も高速な溶接速度が得られる。小さなシングルモードビームを使用する場合に、銅溶接速度が高速であれば、溶接の不連続性が回避され、アスペクト比の高い、滑らかで細長の溶接部が得られる(図3)。この小さなスポット径によって、最大限の生産性(最高速度)を達成するキーホール溶接が実現される。バッテリー溶接システムでは、ビーム形状を最大限に制御できるように、リモート溶接に対してガルボスキャナを利用することが多い。スキャナによって提供される柔軟性により、高速な直線速度と、低速時のビーム発振パターンが実現される。このビーム発振(ウォブリング)により、キーホールの局所的な速度を落とすことなく溶接幅を増加させることが可能となるため、低速時に生じる溶接

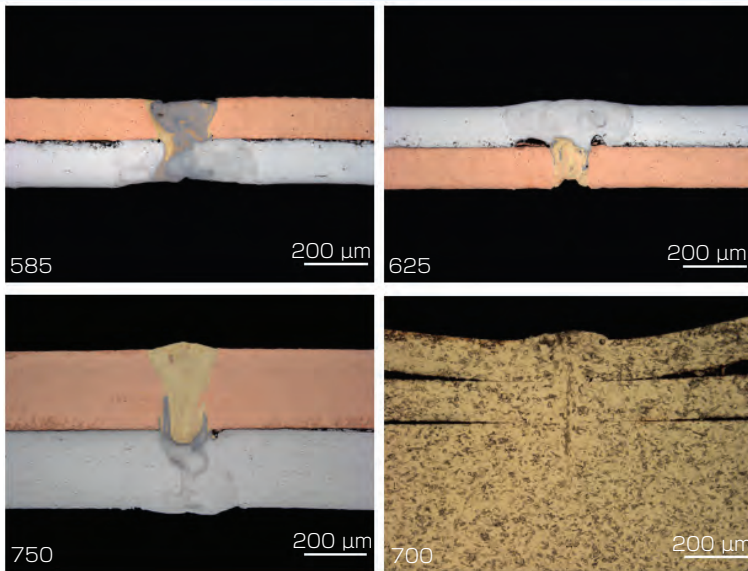


図3 銅とアルミニウムのタブ溶接。585W、140mm/sで125 μ mの銅をアルミニウムの上に溶接したもの、625W、255mm/sで125 μ mのアルミニウムを銅の上に溶接したもの、750W、175mm/sで250 μ mの銅をアルミニウムの上に溶接したもの、700W、140mm/sで2つの125 μ mの銅製コレクタタブを銅電極に溶接したものが示されている。

の不連続性を回避することができる。

アルミニウム接合部の溶接に対しては、より大きなリングビーム形状が、加工時の安定した溶接池とキーホールの維持に有効である。シングルモードビームの3倍の直径を持つ、この40 μ mのリングビームは、それでも強度が1kWと高く、バスバーや金属箔タブの溶接などの用途において、アルミニウムの中にガス空洞を十分に形成することができる。出力密度と幅広のビーム形状というこの組み合わせによって、スパッタがほとんどまたは全くない、幅広で滑らかな溶接面が得られる。より多くの出力をリングにシフトすることにより、キーホール形状は、細長い形状から裾が広がった円筒状へと変化し、蒸気や閉じ込められたガスを凝固する前に逃がすことができる。また、この幅広のビーム形状は、低速のガウスビーム形状によるアルミニウムの溶接でよく観測される、スパイクという溶け込み現象を引き起こすことなく、幅広の溶接ビードを生成することができる。

鉄、ニッケル、異種合金を溶接する場合は、中間のビーム形状によって、強度の高いシングルモードのコアと幅広のリングビームの間の出力のバランスを、各用途に合わせて柔軟に変えることができる。高速時には通常、最も深い溶け込みが得られるように、出力の大部分が中心コアに集約される。幅広の溶接部を生成するために速度を落とす場合や、マシンの加速度とパス形状を考慮して速度を落とす場合は、より多くの出力をリングにシフトすることができる。中間のビーム形状(図2)では、貫通力を供給するのはシングルモードコアで、リング出力はキーホール周辺の金属を気化して、ガス空洞の上部の開口部を広げるために用いられる。このリング出力により、キーホールの形状は細長い形状よりも円錐に近い形状に変更される。キーホールの開口

部が広がることで、スパッタの飛散と溶接面の変動が抑えられた、より安定したプロセスが得られる。速度をさらに落とすと、さらに多くの出力をリングにシフトして、キーホールの瞬時崩壊を防ぎ、キーホールの開口部をさらに広げることができる。AFXシリーズのシングルモードビーム成形ファイバレーザは、多用途に対応する空間プロファイルを備え、単一のレーザ源によって幅広い種類の加工条件に対応する。

まとめ

バッテリー市場が、性能、価格、製造規模の記録を繰り返し更新する中で、バッテリーメーカーは、生産速度と製品進化における新しい課題に対応するための自社の溶接ソリューションに、新たな手段や機能を追加したいと考えている。バッテリーメーカーが抱える製造上の課題の多くは、レーザ加工分野において新しいものではないが、システムビルダーが抱える作業の規模と複雑さは、他にはない特有のものである。レーザビーム成形は、レーザ加工エンジニアにとって有用な手段であることが実証されている。ビーム成形とシングルモードのビーム品質を、単一のレーザ源に組み合わせるという革新的な手法は、バッテリー材料の溶接に必要な高い強度を維持しつつ、キーホールの安定性と溶接の品質を制御するための処理の柔軟性を加えるものである。バッテリー価格が低下して生産量が増加していることもあり、バッテリーアプリケーションとEV市場の展望は、レーザ市場にとって特に期待できるものとなっている。

著者紹介

ティム・モリス(TIM MORRIS)は、米エヌライト社(nLIGHT)の溶接市場開発マネージャー。ブライアン・ヴィクター(BRIAN VICTOR)は、同社の産業アプリケーション担当ディレクター。
e-mail: timothy.morris@nlight.net, brian.victor@nlight.net URL: www.nlight.net