

レーザパルスシェーピングによる EV用角形電池のバスバー溶接の改善

ナジャ・ジョージ、ウィリアム・A・ハフマン Jr.、マイケル・A・デュボン、ジャック・メランダ、デイビッド・スタッカー

さまざまなパルス波形でレーザパルスを出力することにより、リチウムイオン角形電池のバスバー溶接における熱を低減して強度を高めることができる

電気自動車（EV）とエネルギー貯蔵は、堅牢で効率的な電池モジュールとパックを利用して、最適な性能と信頼性を確保する。電池セルの間の電気接続を可能にするバスバーは、その非常に重要なコンポーネントである。レーザ溶接技術の進歩は、なくてはならないこれらの接続の構造的完全性の向上と、寿命の延長に貢献している。

角形電池セルは、コンパクトな設計、高いエネルギー密度、優れたスペース利用効率を理由に、EVに広く利用されている。平らな長方形の形状により、電池パックにきれいに収めることができるため、無駄なスペースが減り、より小さな占有面積でより多くのエネルギーを貯蔵でき、CTPR（Cell-To-Pack Ratio：電池パックに占めるセルの割合。高いほどパックは最適化されていることを表すパラメータ）は、円筒形セルよりも高くなる。この設計によって熱管理も簡素化されるため、角形セルは車載用途に非常に適している。

角形電池セルへのバスバーのレーザ溶接が重要である理由

レーザ溶接は精度が高く、熱入力を制御できるため、バスバーの接合にますます多く利用されている。しかし、適切に管理しなければ、溶接プロセス中の過剰な熱によっていくつかの問題が引き起こされる可能性がある。例え

ば、封止材やOリングが劣化したり、内圧が上昇したり、内部のデンドライトの成長が促進されたりする可能性があり、そのすべてが電池寿命の短縮につながる。

一方、電池システムの中のバスバーや角形端子として主に使用されるアルミニウムは、レーザで溶接すると、ポロシティと呼ばれる小さな気泡が生成されることがある。ポロシティは、溶接中に水素を吸収しやすいアルミニウムの性質、不適切なシールドガス、急速な冷却、溶接プロセス中のキーホールの崩壊が原因で発生する。これらの気泡により、機械的強度が低下し、疲労に対する感度が高くなり、熱伝導と電気抵抗の問題が生じるなどして、溶接部は弱くなる。そのすべてが電池システムの性能に悪影響を及ぼす（図1）。

最近のある研究⁽¹⁾により、モジュール

ル故障の41%が溶接の問題に関連していることが明らかになっている。これは、熱損傷とポロシティ形成の両方を最小限に抑えて、より信頼性と耐久性に優れた電池システムを確保するために、熱と溶接品質の正確な制御が必要であることを強調している。

アルミニウム製バスバー溶接を改善するパルス出力方法の試験

レーザパルス出力に、特にマイクロ秒スケールでのパルスシェーピング技術を組み合わせることで、連続的なレーザ溶接に勝る大きなメリットが得られる。パルス溶接においてレーザは、短く制御されたバーストを出力する。これによって、より適切な熱管理が可能となり、熱損傷、ポロシティ、亀裂、材料の歪み、スパッタが低減する。

レーザパルスシェーピングは、ガウシアン、正方形、台形などの一般的な形状のパルスによって、熱入力と材料の相互作用をさらに最適化し、精度と品質が高まるようにエネルギー供給を調整する。この方法は、過熱、反り、スパッタのリスクを最小限に抑えて、溶接の品質と効率を高めるため、アルミニウム製のバスバーをリチウムイオン電池の端子に溶接する場合など、アルミニウムのような材料に特に効果的である。

連続的な方法と比べて、マイクロ秒レベルのパルスシェーピングを利用するレーザ溶接は、歪みと残留応力をより適切に制御し、使用する熱量が少なく、スパッタを低減し、溶接強度と品質を向

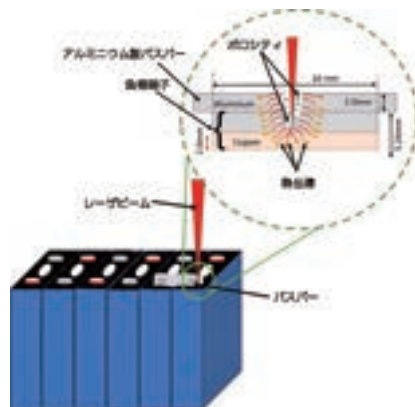


図1 バスバーのレーザ溶接

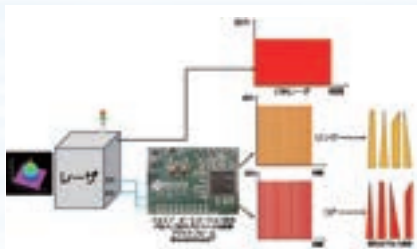


図2 フォトン・オートメーション社の「WonderBoard」

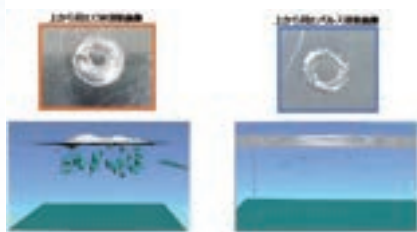


図3 上から見た画像とCTデータ

上させて、反射性の材料にも有効である。従って、パルス溶接は、強度と信頼性の高い溶接が非常に重要となる、電池システム内のアルミニウム製バスバーの接続などの処理に最適である。

米フォトン・オートメーション社(Photon Automation)は、アルミニウム製バスバーに対する連続波(CW)とパルス波の両方のレーザー溶接の試験を行った。同社は、「WonderBoard」(図2)を設計して構築した。これは、マイクロ秒レベルでレーザーを制御してさまざまなパルス波形の生成を可能にする、パルスと出力のプロファイルコントローラである。コアとリングを組み合わせたビームプロファイルを持つレーザーの場合は、リングとコアを独立して制御することができる。

熱レベルを測定し、溶接部の強度を試験し、CT(コンピュータ断層撮影)スキャンでポロシティ率を確認した。結果は以下のとおりである。

熱管理の改善。電池端子の下の温度測定により、CW溶接とパルス溶接で熱挙動が全く異なることが明らかになった。CW溶接は、より高いピーク温

度(約90℃)に達し、冷却により長い時間がかかるため、熱が蓄積して、連続的な熱の印加によって歪みが生じる可能性がある。一方、パルス溶接は、制御されたバーストで熱が印加されるため、ピーク温度はそれよりも低く(約80℃)、冷却も速い。これによって熱蓄積は最小限となり、熱損傷のリスクが抑えられる。

ポロシティの低減。水素のトラップ(捕獲)は、アルミニウムを溶接する際の大きな懸念事項である。アルミニウムは水素を吸収しやすく、それが溶接部を弱めるポロシティの発生につながるためである。マイクロパルス溶接は、熱を制御し、キーホール内に水素が閉じ込められるのを防ぎ、キーホールの崩壊を低減することで、この問題を最小限に抑える。

CTスキャンのデータ(図3)は、2つの溶接方法のポロシティに明らかな差があることを示している。CW溶接のCTスキャンには、不十分な熱制御と閉じ込められた水素がおそらく原因で、かなりのポロシティが生成されているのが見てとれる。一方、パルス溶接のスキャンでは、ポロシティがはるかに少なく、これは、熱が適切に調整されて、閉じ込められるガスの量が減少したことを表している。この結果は、パルス溶接によって優れた溶接品質が得られ、欠陥が少なく強度の高い接合部が生成されることを示している。

強度の向上。引張試験により、2つ

の溶接方法の接合強度と効率を評価した。接合効率は、溶接継手の性能を母材と比較して示すもので、通常はパーセント単位で表される。効率100%の継手は、溶接部の強度が母材と同等であることを表し、パーセント値が低いほど、溶接品質、材料融合、ポロシティなどの欠陥が原因で、強度が低下していることを意味する。

試験結果により、2つの方法で性能に大きな差があることが浮き彫りになった。パルス溶接は優れた強度を示し、接合効率は100%で耐荷重は3144Nに達した。これは、CW溶接で得られた1460Nの2倍以上である。この結果は、パルス溶接のほうが、より良い材料融合を達成し、より強度の高い接合部を生成することを裏付けている。

溶接が果たす重要な役割

パルス溶接は、EV用電池の製造方法に変化をもたらす可能性がある。パルス溶接によって、溶接中の電池の温度はより低い状態に保たれ、脆弱な箇所は減少し、電池パック全体の強度は高まる。EV業界が成長するにつれて、パルス波レーザー溶接のようなより良い溶接方法を採用することが、より安全で、長持ちで、信頼性の高い電池の実現につながる可能性がある。この技術によって自動車メーカーは、より効率的で環境に優しいEVを製造できるようになり、それはさらに環境に優しい未来へと私たちを導くだろう。

参考文献

(1) See <https://info.cea3.com/hubfs/CEA%20BESS%20Quality%20Risks%20Report.pdf>

著者紹介

ナジャ・ジョージ(Najah George)は、米フォトン・オートメーション社(Photon Automation)のR&D担当シニアディレクター。ウィリアム・A・ハフマンJr.(William A. Huffman Jr.)は、同社CEO。マイケル・A・デュボン(Michael A. Dupont)は、同社レーザー応用研究所マネージャー。ジャック・メランダ(Jack Meranda)は、同社レーザー技術者。デイビッド・スタッカー(David Stucker)は、同社レーザー応用マネージャー。