

結合のためのレーザーによる柔軟な表面前処理

サブリーナ・フォクト、ジャック・ガブジル

アルミニウム部品のシーム溶接や、金属とプラスチックの接合など、電動モビリティ業界における表面前処理の要件は、多様で複雑である。

世界的なモビリティ変革が本格化しており、電気自動車や代替駆動コンポーネントに対する需要は高まり続けている。特に焦点が当てられているのは、電動モビリティ（e-モビリティ）のためのバッテリー、E-モータ、パワーエレクトロニクスの製造に直接使われる、高性能コンポーネントである。

企業、主に自動車部品メーカーは、代替駆動コンセプトを実現するための新しい製造ソリューションや技術を探求している。それらの設計の多くで、結合プロセスの刷新や改良が必要で、レーザーは、そうしたソリューションの多くで中心的な役割を担うツールである。レーザーは、バッテリーセルの接続から、モジュールやパックのフォーメ

ーションまで、バッテリーパックや熱管理システムにおける気密な結合と、衝突に対する安全性を確保するために、広く利用されている。結合のための表面前処理に対するレーザーの多用途性と柔軟性は、e-モビリティ用のバッテリーパックを例として見れば、明らかである。この分野では現在、新たに開発されたレーザーやシステムが、産業界で実際に利用されつつある。

バッテリーパックは、e-モビリティにおける主要コンポーネントで、バッテリー式電気自動車（Battery Electric Vehicle：BEV）の生産価格の約40%を占めるため、自動車メーカーにとって重要な開発分野である。バッテリーパックは需要の増加が見込まれており、それ

は、部品メーカーを含む自動車市場全体に、新たな課題をもたらす。変動的な市場環境と、気密性などのさまざまな技術的要件との間の調整を図る必要があるためである。これは、結合に対する技術的要件の増加と、表面前処理に対するニーズの拡大につながる。

クリーンで均質な表面は、耐久性の高い溶接と接着接合を適切に行うための基本要件である。工業環境では、コンポーネントは汚れていたり、酸化していたり、結合プロセスの前は保護層で覆われていたりするケースが多い。レーザーは、非接触ツールとしてこの問題に対処し、コンポーネントの汚れや酸化物をすばやくクリーニングして、機能層を数秒以内に取り除くことができる。例えば、結合される領域や、機能層やコーティングがもう必要ない領域だけを対象に、選択的にこれを行うことができる。

標準的なバッテリーパックの個々のコンポーネントを見ると、電氣的接点のためのアブレーション、溶接のためのクリーニング、接着のためのクリーニング/ストラクチャリング、金属とプラスチックの接合のためのストラクチャリングなど、レーザー表面処理が適用されるさまざまな応用例が存在することがわかる（図1）。

用途を適切に理解するには、レーザークリーニング、レーザーアブレーション、レーザーストラクチャリングの違いを把

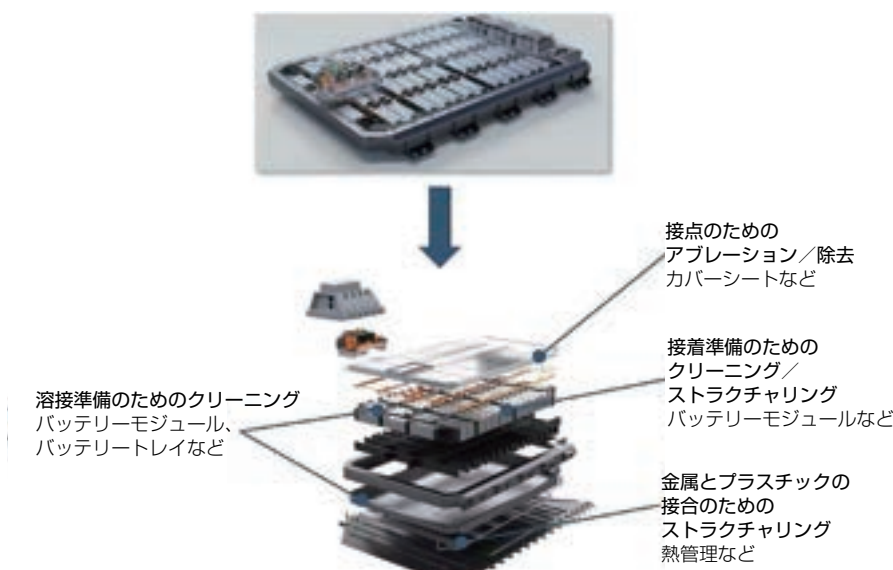


図1 バッテリーパックにおけるレーザー表面処理の概要

握ることが重要である。これらの加工はすべて、独トルンプ社 (TRUMPF) のレーザ源である「TruPulse nano」や「TruMicro 7070」など、固体赤外線 (IR) ナノ秒レーザで行うのが一般的である。

レーザクリーニングでは、集束レーザビームによって、炭化水素や酸化物など、結合プロセスに悪影響を及ぼす恐れのある汚染物質を除去する。レーザは、非常に高いピークパルス出力を使用して不要な層を蒸散させるが、基板材料を傷つけないように、出力は制御される。レーザパルスの最適化によって、加工物表面に熱影響はほとんどなく、材料/コンポーネントに歪みや損傷/変化が生じることはない (図2上)。

アブレーションでは、除去する層をレーザエネルギーで加熱して、蒸散させるか、塗料や薄膜のように浸漬によって除去する (図2中央)。透明材料は固体状態のまま剥離する。

レーザストラクチャリングでは、規則的に並んだ幾何学的なテクスチャを、パルスレーザを照射することによって、再現可能な形で対象面上に生成する。最適化されたパルスパラメータと、ウォブリングなどの光学ビーム操作手法に基づいて、制御されたレーザビームによって材料を溶融し、定義された構造になるように再凝固させる。

バッテリーパックカバーは、バッテリーセルをハーメチックに封止し、電磁シールドを提供する。カバーの製造時に、塗料と酸化層は、レーザを使ったアブレーション加工によって除去される (塗料除去)。これは、結合部の技術的清浄度を確保し、電氣的接続と電磁両立性を実現するために必要な処理である (図3)。カバープレートは通常、陰極浸漬コーティングを施した、アル

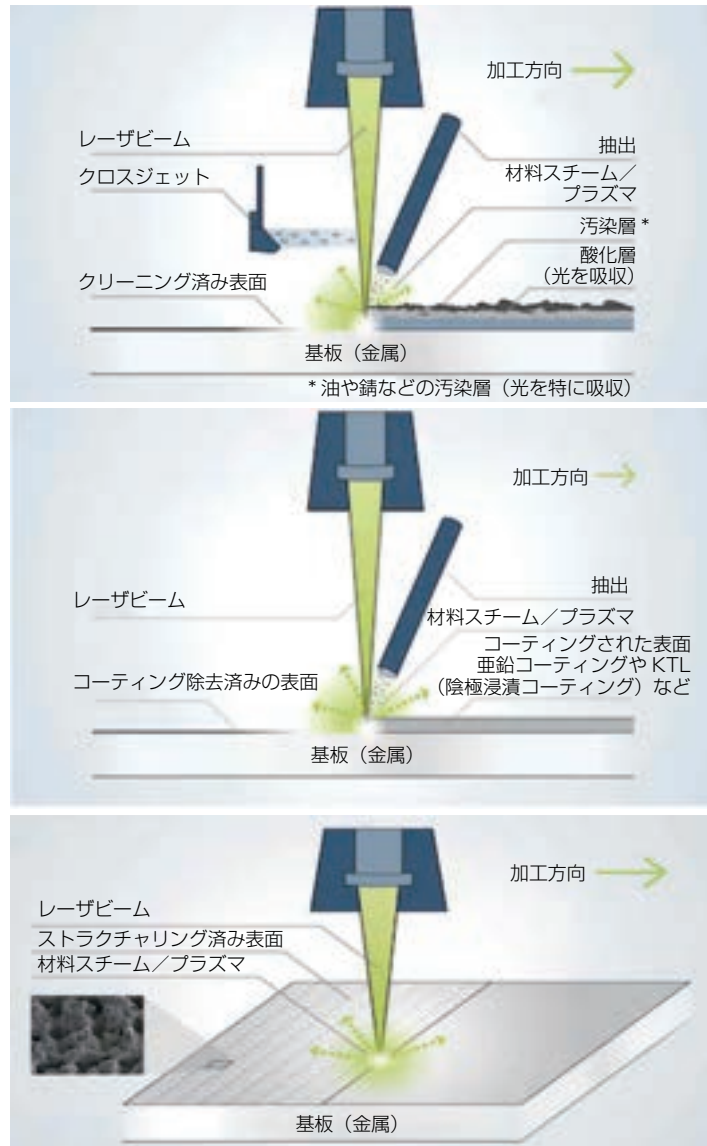


図2 レーザクリーニング (上)、レーザアブレーション (中央)、レーザストラクチャリング (下) のレーザ加工方法

ミニウム (5000 や 6000 シリーズなど) またはスチール合金でできている。

溶接準備としての局所的クリーニングは、破片、油、腐食のないクリーンな表面を用意して、最適な溶接結果を得るために必要である。これは、バッテリーパックの溶接品質と、気体や液体の侵入を防ぐ封止を実現するために、不可欠な処理である。

スチールやアルミニウムの要件に対応するために、溶接部には欠陥、不規則性、ポア (気泡) があってはならない。ポロシティの増加は、溶接強度の低下

とリークにつながる。スパッタやポロシティが発生する要因は多数あるが、グリースや油などの残余潤滑剤や、錆などの酸化物は、その主な要因である。これらの潜在的な汚染物質は、溶接の前にレーザクリーニングを行うことで除去することができる。アルミニウムのレーザ溶接時にレーザクリーニングを行うと、ポロシティが著しく低下して、より高品質な溶接シームが得られることが、実験結果として示されている (図4)。

接着接合は、均等な負荷分散、高い



図3 局所抽出(右)付きのレーザーアブレーション(左)

結合硬度、エネルギー吸収、異種材料の結合に対してガルバーニ絶縁として機能する能力を理由に、自動車製造におけるアルミニウム合金に対する利用が増加している。接着接合において、表面前処理はプロセスチェーンの重要な工程である。レーザーによる処理は、効果的で環境に優しい選択肢である。

レーザークリーニングとストラクチャリングは、後続の結合プロセスの接着接合強度を高めることのできる、再現可能で効果的な技術である。レーザーによって表面の汚れや酸化物を取り除き、表面の迅速なパシベート(不動態化)を促進する。パシベートとは、さらなる化学的腐食を防ぐための膜を形成する処理である。表面化学組成を改変して、

より均一で厚みのある酸化アルミニウム層を形成するこの処理も、接合性能の向上に寄与する可能性が高い。

レーザー処理により、接着接合の初期状態のせん断強度を3MPaから17MPa以上にまで高めることができる。85℃の温度に1000時間さらした後の強度は、5MPaから17MPa以上にまで高まる(図5)。レーザー前処理のプロセスウィンドウは、十分に広いようである。レーザー出力、スポット径、周波数などのパラメータを変えた、さまざまなサイクル時間を設定したが、すべてのパラメータで、同等のせん断強度が得られた。高速なサイクル時間とそれに応じた高いレーザー出力(最大2000W)を適用による接着接合と、低速なサイク

ル時間と最大300Wのレーザー出力による接着接合の両方の要件に、対応することができる。

金属とプラスチックの接合のためのクリーニング/ストラクチャリング

金属とプラスチックの直接接合に対するニーズは高まっており、これには、レーザー表面ストラクチャリングが必要である。バッテリーパックの例において、熱管理システムは、バッテリーパックを確実にかつ有効に使用できるように、最適な動作条件を整える役割を担う。熱管理コンポーネントを、実証コンポーネントとして選択した(図6)。コンポーネント内に冷却チャンネルが設けられたこの熱交換器は、冷却システムとして機能する。このコンポーネントを使用して、金属とプラスチックの接合において、最大5バールの圧力負荷に耐える気密な接合部が生成できることを実証した。

この部品は、気密性と最大耐久圧力の要件を満たすだけでなく、金属とプラスチックを接合するためのプロセスチェーンの簡素性も実証している。また、ポリマーの使用は、デモ機の軽量化につながることから多数の技術的メリットをもたらす、電気絶縁を提供し、冷却チャンネルを目視で直接検査することを可能にする。

金属とプラスチックを接合するための1つの方法が、2工程からなる直接熱結合である。最初の工程では、パルスレーザーを使用した、結合する金属表面の改変またはストラクチャリングが行われる。レーザーの高エネルギーパルスを使用して、金属を局所的に溶融して、局所的に粗面化することにより、テクスチャード表面を生成する。この表面構造によって、プラスチックを金属面に

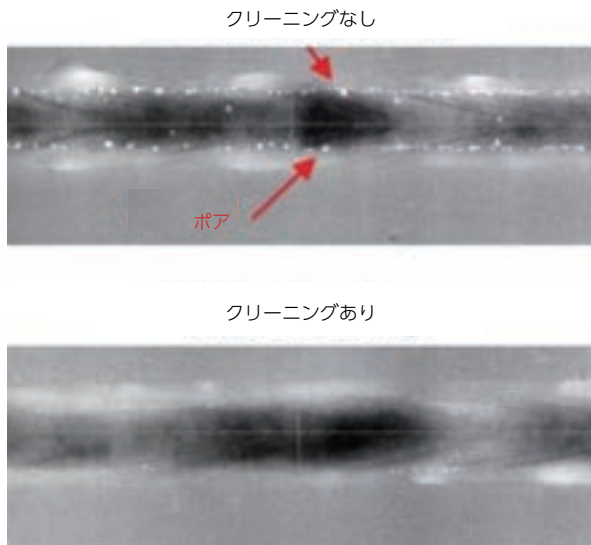


図4 レーザクリーニングを適用した場合としなかった場合のレーザー溶接アルミニウムシートの断面(AlMn1Cu+AlMg3)

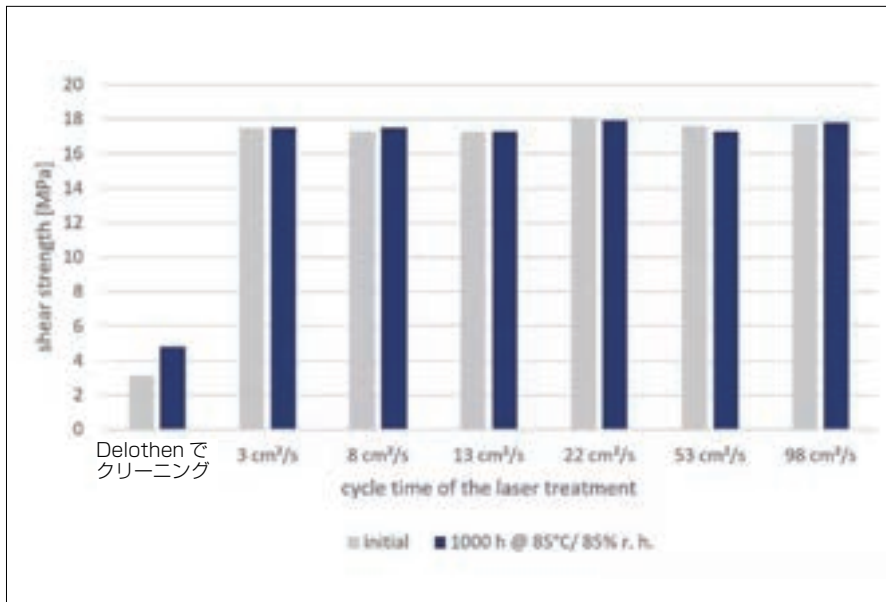


図5 接着接合(材料: EN AW-5754、接着剤: DELO-DUOPOX TC8686)のせん断強度。右側はレーザ処理のサイクル時間を変えた場合の値。試験は独デロ社(DEL0 Industrie Klebstoffe)の協力を得て実施した

しっかりと把持させることができる。

2つめの工程では、材料の実際の結合が行われる。金属表面を誘導加熱することによって、プラスチックを接合部で溶融させる。溶融したプラスチックを金属に押し当てることによって溶着させる。この2つの工程によって、機械的な連結が行われる。自己クエンチングまたは能動的な冷却の後、コンポーネントを直ちに後続のアセンブリ工程に引き渡すことができる。

バッテリーパックで使用される標準的なレーザクリーニングシステムは、

ナノ秒パルスレーザと走査光学系の組み合わせで構成されている。その短いレーザパルスが、ビーム源から加工箇所まで、光レーザケーブルによって誘導される。ビームは、フレキシブルな光レーザケーブルなど、適切なビーム誘導コンポーネントによって誘導される。これにより、製造システムに簡単に統合することができる。レーザによる表面処理を、化学浴や機械的処理などの従来の手法と比べた場合のメリットについては、末尾の「レーザ表面処理のメリット」を参照してほしい。

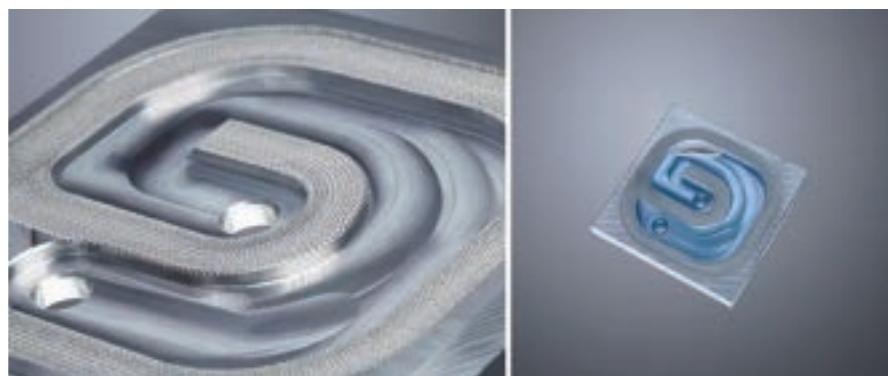


図6 金属とプラスチックからなる冷却システムのデモ機

ナノ秒レーザは、さまざまなバージョンで提供されている。1つの違いは、最大平均レーザ出力で、100~2000Wの幅がある。サイクル時間などが変更可能である。どのような用途に対しても、正しい特性を備えた適切なレーザがあり、塗料剥離などの用途に対して必要となる可能性がある、局所的な排気/蒸気抽出を搭載する光学系も存在する(図3右)。

レーザは表面処理に対する、有効で、環境に優しく、柔軟性の高い手段である。クリーニングや塗料の除去のほか、表面テクスチャを生成することもできる。溶接や電氣的接続には、技術的にクリーンな表面が不可欠で、接着には、特定の表面構造や活性化が適用される。また、金属とプラスチックの接合には、粗い表面テクスチャが必要である。今日のナノ秒レーザは、結合や接合のプロセスを強化する、実証された産業用ソリューションである。

レーザ表面処理のメリット

- ・非接触
- ・高精度で選択的なクリーニング
- ・再現可能なプロセス
- ・基板を傷つけない
- ・洗い流しや乾燥などの後処理が不要
- ・廃棄物が出ない
- ・ツールの修理や交換が不要
- ・消耗品を使用しない
- ・化学薬品を使用しない
- ・研磨を行わない

著者紹介

サブリーナ・フォクト (Sabrina Vogt) は、独トルンプ社 (TRUMPF) 所属。ジャック・ガブジル (Jack Gabzdyl) は、同社英国法人エレクトロニクス担当業界マネージャー。

URL: <https://www.trumpf.com>

LFWJ