自動車におけるレーザ加工技術の活用*

State of the Arts Laser Processing for Automotive Industry

樽井大志**
Taishi TARUI

Key words laser, welding, remote, brazing, automotive, body in white, quality assurance

1. はじめに

自動車を取り巻く環境は年々複雑化し、車両の軽量化によるCO₂削減は重要な課題の一つであるが、CO₂削減にとどまらずユーザの多種多様なニーズ（操縦安定性の向上やコストパフォーマンスの向上、あるいは洗練されたスタイリングなど）に応える自動車を提供し続けることが要求されている。レーザ加工はこれらのニーズを満足させるための有効な手段の一つと考えられる。

図1にこれまでのレーザ機器の進化と自動車車体組み立てにおけるレーザ加工の関係を示す。車体組み立てのレーザ加工は、レーザ発振器の進化とともに適用形態を変化させてきたことが分かる。

1980年代のkW級CO₂レーザ発振器の出現により2次元の鋼板深溶け込み溶接が可能となった。その結果、テーラードブランク溶接が適用された。また、90年代後半に出現したkW級YAGレーザ発振器は光ファイバでのレー

ザ伝送可能という特徴をもつため、多関節ロボットを活用した3次元連続溶接やブレイジング¹⁾を可能にした。2000年代になると高輝度レーザであるファイバーレーザ、ディスクレーザ発振器の出現により高効率なリモートレーザ溶接（以下、リモート溶接）が可能となった。

本稿では、これら車体組み立てにおけるレーザ加工の適用事例について紹介する。

2. テーラードブランク溶接

テーラードブランク溶接は、2次元の平板どうしを突き合わせ溶接し、一体でプレス成形する工法である（図2）。通常、鋼板の溶接部は硬く伸びにくい組織になるが、レーザ溶接は溶接線が細く周囲の母材が塑性変形を助けるため、絞り成形や張り出し成形が必要な部品への適用も可能である。

本技術のメリットとして、適材適所な材料配置による軽量化が挙げられる。一つの部品の中で強度剛性が必要な部分を厚板、高強度材にして、それ以外の部分を薄板、低強度材にすることにより最適な重量設計が可能となる。

車体部品への適用事例としては図2にあるドアインナーやセンターピラーリーンフォースなどが挙げられる。ドアインナーの場合、ヒンジの取り付け前方部分の板厚を厚くしている。

技術課題は隙間の制御である。継手隙間を板厚の10%程度以下に制御する必要があるため、被溶接材の継手部の直線性の確保および溶接中の熱ひずみに耐え得る隙間制御治具が必要である。直線性の確保についてはトリム型の精

図1 レーザの進化と車体へのレーザ加工適用

図2 テーラードブランク溶接

*原稿受付 平成30年2月21日

**日産自動車株式会社（神奈川県横浜須賀市夏島町1番地）

図3 レーザ連続溶接適用部位と加工ヘッド

度、クリアランスの維持管理により、溶接中の隙間制御は高剛性な治具により対応している。また、継手部の傷などにより局所的な溶接欠陥が発生するリスクがあるため品質保証技術も必要となるが、溶接中のブルーム、反射光観察や溶接後の溶接ビード観察により対応している。

3. 連続溶接

車体のレーザー連続溶接はレーザー溶接による車体剛性向上を狙った技術である。車体組み立てにおける接合法としては、抵抗スポット溶接（以下、スポット溶接）が主流である。スポット溶接の適用比率は車格、モデルによって異なるが、一般的には70%以上の比率を占めている。ただし、スポット溶接は不連続接合であるため、部品どうしの力の伝達効率が低い。レーザー溶接は部品どうしの力の伝達効率を連続溶接することにより上げることが可能となる。これにより剛性を向上させ、乗り心地を向上させたり、軽量化を図ることができる。レーザー連続適用部位としてはドア開口部やシル部、フロア回りがあげられる。図3にシル部、シートバック部への適用事例を示す。

本適用における技術課題はテーラードブランクと同様、隙間制御と品質保証である。レーザー溶接は溶融金属量が少ないため隙間に対する溶接品質感度が高く、おおむね隙間0.3 mmを超えると溶接品質が著しく低下する。また、車体は防錆性能を確保するために、Znめっき鋼板が多用されている。そのため、隙間が50 μm 以下になると溶接時に蒸気化したZnによりポロシティ欠陥が発生する（図4）。

隙間制御は、加工ヘッド先端のピンやローラ²⁾により加工ヘッド自身が部品を加圧することにより行っている。固定光学系を用いた加工ヘッドでは、この機構で焦点位置も制御することができる。Zn蒸気対策のための微小隙間確保の方策としては、プレス加工でのエンボス成形などが挙げられる。これは、プレス加工時にレーザー溶接部付近に断続的に高さ0.2 mm程度のエンボスを作ることで微小隙間を確保している。

図4 Znめっき鋼板 隙間と溶接品質との関係

品質保証についてはテーラードブランクと同様、溶接中のブルーム、反射光観察などで対応しているが、詳細はリモート溶接の技術課題の章で述べる。

4. リモート溶接

ファイバーレーザーやディスクレーザーのように高輝度化されたレーザーでは、YAGレーザーに比べ3~4倍の焦点距離（600 mm程度）をもつ集光光学系で鋼板およびアルミのキーホール溶接が可能となる。加工ヘッド内に可動可能なミラーを備えるスキャナヘッドを用いることにより、レーザーを任意の場所に照射できるようになった。その結果、溶接打点間移動が瞬時に行えるリモート溶接が可能となった。

リモート溶接はスポット溶接に比べ5~6倍程度の溶接能力があり、設備の面積低減、ロボット台数低減、部品投入人員の低減などによるコスト低減効果が見込まれる。図5にリモート溶接の適用事例を示す。

ドアのように溶接打点が集中している部品は、高い溶接能力をもつリモート溶接の特徴を活かしやすいため、多くの自動車メーカーで採用されている。また、図6にリモート溶接のカバー部品への適用例を示す。スポット溶接は生産性が低く部品ごとに溶接ロボットが必要となり、部品ごとに工程を準備するため、部品をセットする場所が離れ離れになる。そのため、部品一つに対して一人の部品投入オペレータが必要であった。これに対し、多くの部品を一つの工程で溶接できるリモート溶接では複数の部品を一つの間口に投入可能となるため、オペレータの数を大幅に削減することが可能となった。

5. ブレージング

レーザーブレージングは、主にスチール車体に銅ワイヤを送給しながらレーザー照射し、銅ワイヤのみを溶融させ、銅板をブリッジさせることで接合する工法であり、車体部品である銅板は溶融させない。レーザーを熱源とすることで局所的な入熱制御が可能であるため、細く、外観が滑らかで、また、熱ひずみの少ない接合を実現できる。ブレージング後、後処理なしで塗装することができるので外板への適用が可能であり、レーザーブレージングならではのスタイ

図5 リモート溶接適用事例

図7 レーザによる微小隙間形成方法

図6 リモート溶接による工程集約事例

リッチなデザインを実現することができる。2000年代前半から欧州車で多く採用されており、トランクやバックドアおよびルーフに適用されている。

技術課題としてはワイヤ送給位置とレーザ照射位置の制御と熱ひずみ抑制が挙げられる。ワイヤ送給、レーザ照射位置制御については機械的な做い機構を備えた加工ヘッドにより安定的な制御が可能となっている。

他のブレイジング工法と比べると入熱量が少ないレーザブレイジングであるが、それでも0.8 mm程度の比較的フラットな形状をブレイジングすると微小な熱ひずみが発生する。対策は、隙間矯正用の治具などにヒートシンクを設けることで抜熱することである。

6. アルミのレーザ溶接

近年、軽量化の一方策として車体部品のアルミ化が進んでいるが、アルミドアに対してはレーザ溶接技術が適用されている事例がある。線溶接となるレーザの特徴を活かし、ドアサッシュ部のフランジ幅を短くしドライバーの視野確保に貢献している。また、アルミ車体においては、銅板のレーザブレイジングと同じような加工をルーフ回りに適用している。この場合、アルミワイヤを送給しながらの加工となるが、アルミワイヤだけでなくアルミ母材も溶融するため工法としてはレーザ溶接に分類している³⁾。現在のアルミのレーザ溶接は、溶接品質を安定化させるためにアルミワイヤを加工点に送給しながらの溶接加工が主流で

あるが、ワイヤなしで溶接欠陥を抑制するため、Mg リッチなアルミをアルミ母材にコーティングした材料を採用したり⁴⁾、ある振幅でレーザを振動照射させることにより安定した溶接品質を実現している事例も挙げられている。

7. リモート溶接における技術課題1：隙間制御

リモート溶接における主要な技術課題も他のレーザ加工同様、隙間の制御と品質保証である。ここでは、リモート溶接における隙間制御の対策について述べる。すでに述べたとおり、Zn めっき銅板の重ね溶接において良好な溶接品質を得るためには、継手隙間を50 μm から0.3 mmの間で制御する必要がある。YAG レーザでの適用事例では固定光学系を用いた加工ヘッドが主流であったため、加工ヘッド自体で隙間を矯正する技術が使われてきたが、スキャナヘッドを用いるリモート溶接ではレーザ照射位置が任意となるため使うことができない。現在は、溶接打点ごとに隙間矯正治具を設定するものが主流だが、リモート溶接の前工程で適切な間隔でスポット溶接することで隙間矯正している事例⁵⁾もある。

Zn 蒸気対策のための微小隙間確保の方策の一つとしてプレス加工でのエンボス成形(図3)が挙げられるが、部品の材質、形状の影響を受けやすく適用範囲が限定されている。もう一つの方策としてレーザによる微小突起の形成がある。図7に適用事例を示す。溶接する前の部品にレーザを照射することにより高さ0.1~0.2 mmの突起を形成させる。突起形成後に溶接する部品どうしをセットし、隙間矯正治具で押さえることにより継手隙間を0.05~0.3 mmに制御している。

図8にレーザによる微小突起の効果確認結果を示す。突起なしでは溶接時にポロシティが多発しているのに対し、レーザによる突起を作ることで継手にZn 蒸気を逃がす隙間が確保され、良好な溶接品質を得られていることが確認できる。

8. リモート溶接における技術課題2：品質保証

最後に、リモート溶接のもう一つの技術課題である品質保証の取り組みについて紹介する。前述のとおり、レーザ

図8 レーザによる微小突起の効果確認

図10 欠陥種類とインラインモニタリング検査方法

図9 レーザインラインモニタリングシステム

図11 レーザ溶接品質保証バックアップシステム

溶接品質は隙間に対する感度が高い。隙間制御のために上記対策を行ったうえで生産しているが、部品一枚一枚の精度ばらつきもあり、レーザ溶接独自の品質保証体系の確立が必要である。図9にレーザ溶接品質保証装置インラインモニタリング装置の概要を、図10に溶接品質保証体系を示す。筆者らは、溶接中の加工点のプルームの状態および反射光を計測することで全数溶接品質の判定を行っている。また、生産時に不良と判定された溶接打点の修正方法を図11に示す。レーザ工程で溶接不良が発生した場合、インラインモニタリングシステムが溶接完了時に溶接不良を判別する。その情報はライン制御PLCに伝達され、次の増し打ち工程で通常溶接プログラムに加えバックアッププログラムが自動で起動され、レーザ溶接不良打点の近くをスポット溶接している。

9. ま と め

これまで述べてきたように、自動車産業におけるレーザ加工はレーザ機器の進化に合わせてレーザならではの適用技術を提供してきた。レーザ機器の進化のスピードが上がっているため、今後も新たなアプリケーション実現が期待できる。ただし、一方で安定して加工を継続するための技術課題も多い。これら技術課題を自動車メーカーおよび製造

設備サプライヤ、レーザ産業が協力して解決していくことで、より多くのお客さまニーズに対応できるレーザ加工の適用を目指していく。

参 考 文 献

- 1) Dr. S. Thiem: 5th European Carbody Lightweight Conference, June 2002.
- 2) K. Löffler: 5th European Automotive Laser Application, January 2004.
- 3) C. Ebert: 12th European Automotive Laser Application, February 2011.
- 4) M. Palmer: 15th European Automotive Laser Application, February 2014.
- 5) N. Kobayashi, T. Sagisaka and T. Shiga: Euro Car Body 2013, October 2013.

樽井大志

1991年3月大阪大学大学院工学部卒業。同年4月日産自動車(株)入社。1993年CO₂レーザによるテラードブランク適用技術開発、2000年車体のレーザ溶接(ルーフ部、連続溶接)の開発、2005年アルミの機械的接合技術開発、2007年以降リモートレーザ溶接技術開発を行う。