第Ⅱ部 産業界の最近の動向と溶接工学

Ⅱ 溶接・接合及び関連機器

2. ビーム溶接

Beam welding

by OGITA Taira*, HANAI Masahiro** and TAKENO Shozui*

荻田 平*, 花井 正博**, 竹野 祥瑞*

キーワード：レーザー，電子ビーム，溶接，表面処理，品質保証，金型，高張力鋼，モニタリング

2.1 レーザ，電子ビーム加工機の市場動向

加工用レーザー発振器の大部分を占める CO₂ レーザおよび固体レーザー発振器の国内生産は図 1 に示すように自動車産業の好調などに牽引され 2002 年以降，堅調に増加しており，2005 年には 2003 年の約 1.3 倍の国内生産規模になると予測される¹⁾。固体レーザーでは，従来のランプから LD（レーザーダイオード）を励起源に使用した LD 励起 YAG レーザの量産適用が進んでいる²⁾。その他にも，ファイバーレーザーなど新方式のレーザー発振器も発表されている³⁾が，量産対応での課題（安定性，メンテ性，経済性，安全性など）が明確になっていないため，量産適用はまだ進んでいないようである。地域別市場規模について CO₂ レーザを例にとると，欧州が 30% 超，ついで北米，日本の順となる。近年，中国，東南アジアの市場も拡大傾向であり，今後更なる成長が見込まれる。欧州では車体溶接やテラードブランク溶接へのレーザー導入が積極的になされており，日本国内においてもこの傾向が強まると推測される。特に，ファイバー伝送が可能なためフレキシビリティの高い LD 励起 YAG レーザは，近年の高出力化によって，車体溶接やテラードブランク溶接を中心に積極的に導入されている。また，生産性の改善を狙い，スキャナと大出力 CO₂ レーザを組み合わせて，ビームを走査させることで，溶接点間の移動時間を無視できるほど短くできるリモート溶接システム⁴⁾の量産適用も検討されている。

一方，電子ビーム溶接機の生産もレーザー同様，わが国

図 1 レーザ応用生産装置生産規模推移

原稿受付 平成 18 年 5 月 9 日

*正 員 三菱電機 (株) Member, Mitsubishi electric corporation

** 多田電機 (株) Tada electric CO., LTD.

で最大の適用市場である自動車産業の伸張により 2003 年度から増加し，2005 年度まで好調に推移している。従来からの適用部品であるトランスミッションギアをメインに，ターボチャージャー用インペラ，カーエアコン用ピストンやベローズセンサーおよびハイブリッド車用二次電池の接合用途など全体的に需要が高い。ただし，自動車産業の好調は海外生産の増大によるところが大きく，電子ビーム溶接機も，北米，韓国，東南アジアといった地域への海外輸出が増加した。その他に，宇宙航空や電力などの産業向け大型電子ビーム溶接機についても老朽設備の更新やエネルギー需要の増大を背景に能力増強投資が継続している。

電子ビーム溶接機は主に電子ビームを収束して対象物に照射する高密度エネルギー溶接プロセスとして実用化が進んできたが，2003 年プラズマを利用したパルス電子ビームを金型に照射して表面の粗さを低減し従来の手磨き作業時間を短縮できる電子ビームの新技術・新製品が発表された。さらに，2005 年には収束した電子ビームを高速で走査しながら照射する方式の金型表面仕上げ用電子ビーム加工機が発表された。現状の金型表面の手磨きでは非常に困難な深溝部や超硬材料の磨きへの適用に市場の関心があつまっている。

2.2 高張力鋼板へのレーザー溶接の適用

自動車対応では，車輛の性能向上，燃費，安全性の観点から，軽量化と剛性向上の両立が必要とされており，接合方法は抵抗スポット溶接による点接合からレーザー溶接による連続溶接へと，使用材料も 300 MPa 級鋼板から 500～1000 MPa 級鋼板へと，一部で置き換えが進んでいる。これら高張力鋼板は溶接時の入熱によりその特性が損なわれるため，溶接特性の面からも従来工法であるアーク溶接に替わり，高速低入熱加工を特長とするレーザー加工が広く適用されるようになっている。各種溶接法による SPCC 270，600 MPa 級高張力鋼（HT 590），1000 MPa 級超高張力鋼（HT 980）の溶接部断面写真を図

図 2 各種溶接法による溶接部断面写真

図3 各種溶接法におけるエリクセン試験結果

図6 電子ビームで表面仕上げ処理した三次元形状金型

図4 インラインモニタリングシステム

a) 放電加工面(4-7 μ m Rz) b) 電子ビーム処理面(1-2 μ m Rz)
100 μ m

図5 ステンレス系プラスチック金型の表面拡大写真

2に示す⁹⁾。また、これら継手に対し、テーラードブランク溶接の品質管理試験方法であるエリクセン試験を行った結果を図3に示す。HT590材のアーク溶接では割れ発生時の押し出し量が母材と比較し約40%低下するがレーザー溶接では母材に近い成形性が得られており、プレス成形性が改善されている。ただ、この検討で用いたHT980材では、いずれの溶接法においても母材と比較しプレス成形性が低下しており、現状では絞り量の制約が必要となっている。今後、入熱の制限など加工条件適正化に加えて、素材見直し、継ぎ手仕様(板厚、強度などの組合せ)の検討が必要である。

2.3 レーザ溶接の品質保証技術

これまでレーザー溶接の量産適用の課題となっていた品質保証について、溶接品質モニタリング機能を有した周辺機器の開発が積極的に行われており⁹⁾、今後、各種のレーザー溶接への適用拡大が進むものと思われる。図4はテーラードブランク溶接や車体溶接のインラインモニタリングを目的とした加工ヘッドで、加工ヘッドに受光センサを内蔵し、加工対象からの反射光強度や溶接中のプラズマ輝度などの周波数解析を行うことにより、溶接部のアンダーフィルや非貫通溶接、ポロシティの発生を検知することが可能である。さらに、モニタリング技術を発

展させた適応制御に関する研究も行われている⁷⁾。適応制御では、溶接時の熱放射光などを計測しレーザー出力を制御することにより、溶接部に生じる溶け落ちなどの欠陥を防止することが可能としている。今後、レーザー溶接品質の信頼性向上を目的に、モニタリング技術と適応制御を備えた周辺装置の開発、量産適用が進むと考えられる。

2.4 金型表面仕上げ用電子ビーム加工機

従来から電子ビームは溶接用途以外に焼き入れのような表面改質プロセスにも適用されているが、金型の磨き(表面粗さ低減)に電子ビームを適用する例はなかった。ビーム照射方法により、①大径ビームの一括照射方式、②集束ビームの走査照射方式、の2つに分類され、①のプラズマ型電子ビーム加工機では、アルゴンガス雰囲気中でカソードとアノード間にパルス電圧を印可し発生した電子でプラズマを形成し、カソードに負のパルス電圧を印可して電子を金型表面へ照射して表面仕上げを行う。代表的な加工条件としては、エネルギー密度7~10 J/cm²、パルス幅2~3 μ s、有効照射範囲 ϕ 60 mm、照射回数30~50回である⁹⁾。これにより表面が瞬間的に熔融、気化し、光沢仕上げができるとしている。同時に急速な冷却により表面にアモルファス層が形成され、電子ビームを照射していない面に対し耐食性が向上する効果も報告された。

②の収束した電子ビームを金型形状に沿って照射する電子ビーム加工機は従来からあった表面改質用途の加工条件を金型表面仕上げに最適化したものであり、代表的な加工条件は加速電圧30 kV、ビーム電流2 mA、照射回数2回である⁹⁾。収束電子ビームは複雑な三次元形状金型に対し、照射エリア毎に照射範囲と加工条件を選択できることが特長であり、エッジに電子ビームを照射させないことによりダレを防ぐことができる。

いずれも放電加工した金型表面の表面粗さを、処理前の1/5程度まで低減することができ1 μ m未満の光沢面が得られている。図5に放電加工面と電子ビーム処理面の拡大写真、図6に三次元形状金型への適用例を示す。

文 献

- 1) 溶接ニュース、産報出版(2006)、3月28日号。
- 2) 三瓶：レーザー加工学会誌、11-2(2004)、67-70。
- 3) B. Shiner：第61回レーザー加工学会論文集、(2004)、11-15。
- 4) 高橋：レーザー加工学会誌、11-2(2004)、82-85。
- 5) 廣崎ら：第11回機械材料・材料加工技術講演会講演論文集、03-31(2003)。
- 6) 樽井ら：第64回レーザー加工学会論文集、(2005)、46-51。
- 7) 川人ら：レーザー研究、32-5(2004)、357-363。
- 8) 虞ら：電気加工学会誌、38-87(2004)、45-50。
- 9) 藤本ら：型技術、20-8(2005)、172-173。