レーザー解説

レーザービームを利用した構造材料の表面改質

森 重 徳 男*

(1994年9月26日 受理)

Laser Surface Modification for Structural Materials

Norio MORISHIGE*

(Received September 26, 1994)

Much attention is recently paid to laser surface modification (LSM) techniques for providing an approach in controlling compositions and structure of metal surface. IHI has been performing research activity for bringing LSM techniques to a degree of development such that they can be used industrially. One of these LSM techniques was actually applied to austenitic stainless steel pipes put in practical use to prevent stress corrosion cracking.

In this paper, our recent laser beam technology related to LSM and details of LSM technique applied to actual component in our company are introduced.

Key Words: Laser processing, Surface modification, CO₂ Laser, YAG laser, Laser cladding

1. はじめに

最近レーザービームを材料の表面に照射することによって、材料の表面機能を高度化するレーザー表面改質に対する関心が高まりつつあります。このレーザー表面改質技術には、目的に応じて種々の方法があります^{1~13)}。ここでは構造材料の耐食性および耐磨耗性の向上を目的として、現在石川島播磨重工業(株)で研究開発を行っている、あるいは既に実用化しているレーザー表面改質技術の一端について紹介します。

2. 最近の表面改質に要求されるニーズ

最近の構造材料の耐食性および耐磨耗性を目的とした表面改質技術には、特徴的なものとして、次のようなことが要求されています。方法的には、処理前の材質を保持するため高温状態での処理は好ましくない。性能的には、厚い膜でかつ基材と密着性が優れ、激しい温度変動にたいしても剥離しない。また、施工面では狭隘な箇所に対して、遠隔操作で施工でき、既設のプラント部材にも適用できる。

この様な高度化および多様化したニーズに既存の方法では十分対応できません。そこで、最近のニーズに対応できる新しい表面改質技術と

* 石川島播磨重工業(株)技術研究所 (〒235 横浜市磯子区新中原町1)

* Research Institute, Ishikawajima Harima Heavy Industries Co., Ltd. (1, Shin-Nakahara-Cho, Isogoku, Yokohama 235, Japan)

して、当社ではレーザービームを利用したレーザー表面改質技術に着目し、研究を開始しました。既に、実用化されたものも一部あります。ここではその成果の一端を以下紹介します。

3. レーザークラッド

レーザークラッドとは、基材の表面に基材とは異なった成分を有する合金層あるいはセラミックス層を形成する技術のことです。Fig. 1に、当社で行っているレーザークラッドの基本的な方法を示します。この方法は、以下に示す2のステップからなっています。

ステップ1：材料の表面に目的の材料を被覆する工程

ステップ2：被覆層をレーザービームで溶融する工程

ステップ1の被覆工程としては、粉末塗布法あるいはめっきや溶射法などの従来技術の適用があげられます。また、ステップ1と2を同時に行う方法として、直接粉末あるいはワイヤーを供給しながらクラッド層を形成する方法もあります。

このレーザークラッド法の特徴として、1)溶融工程を経ているためクラッド層が緻密である、2)冶金的に結合しているため、基材との密着性がよい、3)高密度のレーザービームを使用しているため基材に与える熱影響が極めて小さいなどがあげられます。

Fig. 1 Method of laser cladding.

3.1 配管内面の耐食クラッド

Fig. 2は当社で開発した管内面レーザー照射装置を使用して、内径250mmの炭素鋼配管の内面をCO₂レーザーで照射している様子を示しています。Fig. 3はこの時得られた配管の断面マイクロ組織の一例を示したものです。この場合あらかじめ配管の内面を湿式めっき法でCrを被覆した後、このCr被覆層をレーザー溶融しています。

Crめっきのままでは、微細な割れなどのため耐食性を目的としたコーティングには使用できません。しかしながら、レーザー照射することによって割れなどが消失します。また、組織的には、レーザー照射によってCrを多量に含む中間層とCr₂O₃を主成分とするセラミックス層からなる2層コーティングが形成するため、Clイオンを含む溶液中で優れた耐食性および耐エロージョン性を発揮します。

Fig. 2 Laser cladding for an inner surface of large-scale pipe.

Fig. 3 Cross sectional microstructure of cladding. (Cr plating + Laser melting.)

CO₂レーザーの場合、装置が大型になることおよび波長が長いこと、エネルギーの伝送はミラーによる反射方式になることなどから、入り組んだ箇所やせまい空間への適用あるいは現地作業への適用は困難とされています。一方、YAGレーザーの場合波長(1.06 μm)がCO₂レーザーより短く、このため光ファイバーでエネルギーが伝送でき、入り組んだ箇所やせまい空間でも比較的容易にレーザー照射ができ、かつ現地作業への適用も可能となります。

Fig. 4に、YAGレーザーを利用した光ファイバー伝送によるレーザークラッドのシステムを示します。このシステムでは発振器から出たビームを光ファイバーに絞り込み、フレキシブルなファイバーで伝送した後、再度レンズで集光して目的の表面に照射します。Fig. 5に、光ファイバーで伝送されたビームで溶融して得られたクラッド層の様相を示します。このクラッドは、Clイオンを含む溶液中で優れた耐食性を示す高Cr-高Ni-Mo系合金粉末塗布層をレーザー溶融して得られたものです。YAGレーザー

Fig. 4 Schema of YAG laser cladding system.

Fig. 5 Appearance of pipe inner surface laser-clad with YAG laser beam and cross sectional microstructure of the clad.

によるコーティングの場合、コーティング端部あるいはコーティング直下の組織は母材中央部の組織とほとんど変化は認められません。母材に与える熱影響がほとんどない、これはYAGレーザー照射における最大の特徴の一つといえます。

3.2 配管外面の耐エロージョンクラッド

Fig. 6にCr-Mo配管の外面にCr₃C₂系セラミックス粉末を塗布した後、レーザー溶融して

Fig. 6 Appearance of pipe outer surface laser-clad with CO₂ laser beam and cross sectional microstructure of the clad.

(a) Laser cladding

(b) Chromizing

Fig. 7 Cross sectional microstructure of Cr-rich laser cladding. (Cr powder bed+laser melting.)

得られた配管の様相と、クラッド層の断面マイクロ組織を示します。このクラッドは高温での耐エロージョン性を改善するために行ったもので、クラッド層は700Hv以上の硬度を有しています。クラッド層は冶金的に基材と結合しているため、基材との密着性は優れています。

Fig. 7に、炭素鋼配管の表面に塗布したCr粉末塗布層をレーザー溶融して形成したクラッド層の断面マイクロ組織を示します。レーザー照射にはアシストガスとしてArを用い、大気中でレーザー照射を行っています。比較のため、従来から使用されている拡散浸透法(クロマイジング)によるCrコーティング層の様相も合わせて示します。レーザークラッドのほうが厚いコーティング層が形成されているのがわかります。また、拡散浸透法の場合、母材を1000℃近くまで加熱するため、母材の組織が著しく粗大化しているのに対して、レーザー照射の場合熱による母材の影響は小さくなっています。

3.3 フランジシール面の耐食性クラッド

フランジのシール面はすきまなどが形成されるため、腐食による損傷が起こりやすいところ

Fig. 8 Appearance of flange seal surface laser-clad with Ti.

として知られています。Fig. 8に、炭素鋼のフランジシール面の耐食性を向上させるために、シール面のみを粉末塗布レーザー照射法でTiコーティングしたフランジの様相を示します。このレーザークラッドされたフランジのシール面は、Clイオンを多量に含む溶液あるいは高温高圧純水中でTi並みの耐食性を発揮することが実験で確認されています。

3.4 バルブシール面の耐エロージョンクラッド

Fig. 9に、耐エロージョン性を改善する目的でステライトをレーザークラッドしたバルブシート面の様相と断面マイクロ組織を示します。この場合はステライト(#1)のワイヤーを供給しながらレーザー溶融でクラッド層を形成しています。この方法を採用すると、厚さ2mm以上のステライト層が1層でできます。これは高密度のレーザービームを使用しているため、基材をほとんど溶かさずにクラッドすることができます。このため1層でもステライト無垢材と同程度の硬度(約500Hv)を有しています。

4. レーザークラッド以外のレーザー表面改質

4.1 レーザーメルト

レーザークラッドは基材の表面に基材とは異なった成分を有する合金層あるいはセラミック

Fig. 9 Appearance of valve seal surface laser-clad with stellite alloy metal.

Fig. 10 Hardness distribution of laser-melted cast iron.

ス層を形成する技術ですが、高密度エネルギーであるレーザービームの特徴を最大限に利用して素材表面のみを溶融させて特殊な表面機能を発揮させるレーザーメルトによる表面改質技術があります。例えば、オーステナイト系ステンレスの表面をレーザー溶融で固溶化状態にすると、耐食性が著しく改善させることが報告されています。

当社ではこのレーザーメルト技術を使用して、鋳鉄の耐食性を改善し、かつ表面を硬化させる研究を行っています。Fig. 10に鋳鉄の表面をレーザー溶融させた表面溶融層の硬度分布を示します。溶融層は緻密になっており、耐食性が著しく改善されることが実験的に明らかになっています。

4.2 レーザー窒化による表面硬化

レーザー表面改質の面白い応用技術として、Cr-Al窒化鋼のレーザービームを利用した表面硬化処理が上げられます。この方法は処理面に特殊な膜をスプレー塗布で形成した後、窒素雰囲気中でレーザー溶融して表面硬化させます。表面硬化層の断面ミクロ組織と硬度分布の一例をFig. 11と12に示します。通常のガス窒化では高温で長時間部材全体を加熱するため高温加熱による材質劣化が問題となりますが、レーザー窒化の場合このような心配がありません。また、レーザー照射条件を変化することでガス窒化法より厚い膜を容易に形成することができます。

Fig. 11 Cross sectional microstructure of steel laser-melted in N_2 atmosphere.

Fig. 12 Hardness distribution of steel surface laser-melted in N_2 atmosphere.

5. おわりに

レーザー表面改質技術は新しい表面改質の手段として、現在さまざまな分野で研究開発が進められており、既に実用化されたものがあります。ここでは、当社で行っている構造材料を対象としたレーザー表面改質技術について、その一端を紹介しました。レーザー表面改質技術によれば、今までの方法では困難であった緻密で、密着性の良好な厚い膜が可能になる、また光ファイバー伝送によるYAGレーザー照射システムを用いれば、狭隘箇所あるいは現地での施工が可能になるなど、レーザー表面改質技術はこれからの多様化および高度化したニーズに対応できる能力を誇っています。レーザー表面改質技術の一端を紹介することで、今後さまざまな分野で材料の表面改質の手段として、レーザー表面改質に対する関心が高まり、実際に適用されるようになれば幸いです。

参 考 文 献

- 1) 松縄：機械と工具No.7 (1987) 33.
- 2) 片山ら：溶接学会全国大会講演概要No.32 (1983) 232.
- 3) 松田ら：第22回レーザー熱加工研究委員会論文集 (1989) 99.
- 4) 小野：溶接技術No.7 (1988) 77.
- 5) 出原ら：第21回レーザー熱加工研究委員会資料 (1989) 47.
- 6) 米田ら：第20回レーザー熱加工研究委員会資料 (1988) 140.
- 7) 高木：溶接技術 No.8 (1989) 62.
- 8) 吉田：レーザー学会学術講演会 第3回年次大会講演予講集 (1983) 85.
- 9) 本田ら：溶接学会全国大会講演概要 No.45 (1989) 148.
- 10) 中尾ら：第23回レーザー熱加工研究委員会資料 (1990) 23.
- 11) 松本：火力原子力発電 42 No.5, p.80.
- 12) 平野, 森重, 入沢：“光ファイバー伝送によるレーザークラッディング”, 石川島播磨技法, 30 No.4 (1990) 234.
- 13) 森重, 河内, 平野, 入沢, 河野：“レーザービームを利用した炭素鋼へのTiコーティングとその耐食性”, 圧力技術, 27 No.5 (1989) 26.