C209 レーザ超音波を用いた厚肉溶接部検査技術の開発

Development of Laser-ultrasonic in-process testing technique for thick weld

○ 三浦 崇広 (東芝) 山本 摂 (東芝) 星 岳志 (東芝)
 落合 誠 (東芝) 小川 剛史 (東芝) 藤田 善宏 (東芝)
 平野 正三 (東芝) 浅井 知 (東芝)

Takahiro MIURA, Setsu YAMAMOTO, Takeshi HOSHI and Makoto OCHIAI,
 Toshiba Corporation, 8, Shincugita-Cho, Isogo-Ku, Yokohama
 Tsuyoshi OGAWA, Yoshihiro FUJITA, Shozo HIRANO and Satoru ASAI,
 Toshiba Corporation, 2-4, Suehiro-Cho, Tsurumi-Ku, Yokohama

Manufacturing large structures with needs thick welding, repairing and re-welding time increase in cost if inspection results are rejected after the whole welding process. Therefore, we have developed Laser-ultrasonic in-process testing (LUT) technique during welding at high temperature. LUT is applicable to high-temperature structure due to non-contacting inspection technique. However, detection sensitivity of LUT is low comparing with common piezoelectric transducer, so inspection for thick structures by LUT is difficult. Thus we have developed Synthesis Aperture Focusing Technique (SAFT) for in-process and thick welding parts. In this paper, we show the inspection result of 150mm thickness with $\phi 1.0\text{mm}$ Side Drilled Hole (SDH) and in-process welding inspection at high temperature.

Key Words: laser-ultrasonics, Synthesis Aperture Focusing Technique, in-process inspection

1. 緒言

近年の溶接技術の進歩に伴い、コスト削減や工期短縮の観点からこれまで鍛造や鋳造によって製造されてきた厚肉の部材や複雑形状の部材を、個々の部品を溶接することによって製造する技術が確立されてきている。しかし、溶接部が厚肉になるにしたがい、溶接施工後の検査で欠陥が検出された場合の補修に要する後戻り工程が大きくなる。これは最終的なコスト増加や工期遅延につながるため、溶接施工中の早い段階で溶接欠陥を検出する技術が望まれている。しかし予熱や後熱を行う場合、溶接施工中および施工直後はワークが高温となるため探触子を接触させる一般的な超音波探傷法は適用が困難である。そのような高温対象に適用可能な探傷法として、非接触で超音波を送受信可能なレーザ超音波探傷法 (LUT: Laser-Ultrasonic Testing) があり、その低感度を補うべく開口合成法 (SAFT 法) を適用した検査技術開発を進めてきた⁽¹⁾。しかし適用対象は最大厚さ数十 mm 程度の薄板であり、100mm を越える厚板かつ高温の対象へは適用が困難であった。そこで高温となる厚肉溶接部を溶接施工中に検査可能な溶接施工インプロセス検査技術を開発している。本発表では上記手法を用いた 150mm の厚板に付与した横穴人工欠陥の測定結果、および試験体が 200℃ 以上となる実際の溶接施工中に LUT を実施した結果に関して報告する。

2. 原理および方法

Fig.1 に溶接施工インプロセス検査技術における計測原理を示す。パルス幅数 ns のレーザ光を金属材料に照射すると、表面の数原子層がプラズマ化する。このプラズマの反力により、検査対象内面に超音波が発生する。発生した超音波は照射点を音源として検査対象内部を伝播する。超音波は溶接部を透過し、底面や欠陥などで反射および散乱する。その散乱波は再び表面へ伝播し、開先をはさんで照射点から発生させた超音波音源の反対側に、別途照射した受

Fig.1 Principle

信用のレーザによって超音波が受信される。

試験体系を Fig.2 に示す。送信レーザ光源 (Nd:YAG 基本波) から発振したパルスレーザ光 (パルス幅約 10ns、エネルギー約 700mJ) を検査対象表面に照射する。ここで、超音波の送信指向性を高めるためにシリンドリカルレンズによりレーザ光を約 10mm のライン状で照射している。送信レーザ光により励起された超音波を受信するため、受信レーザ光源 (Nd:YAG 基本波) から発振したパルスレーザ光 (パルス幅約 100 μ s、最大エネルギー約 10mJ) を光ファイバおよび光学ヘッドを通じ、検査対象表面に約 $\phi 1\text{mm}$ のスポット径にて照射する。対象からの戻り光は光学ヘッドにより集光され、光ファイバにより fabry-perot レーザ干渉計へ伝送することで、超音波による面外振動変化を計測する。ここで、SAFT 法を行うために、走査ステージにより受信用の光学ヘッドを溶接方向に対して垂直となる方向へ走査し、複数の点で超音波を受信する。計測されたデータはデータ収録用 PC にて SAFT 処理を行う。本機構を溶接装置に設置することで、溶接終了後の高温状態である箇所を逐次検査することが可能となる。

Fig.2 Experimental setup

3. 試験結果

3.1 厚板検出性試験

厚さ 150mm の炭素鋼板に $\phi 1.0\text{mm}$ の横穴 (SDH) を深さ 15mm(D1)、45mm(D2)、75mm(D3)、105mm(D4)、135mm(D5) の位置へそれぞれ付与した試験片を作製し、LUT による測定を行った。試験片概念図を Fig.3(a)、送信レーザおよび受信レーザを Time of Flight Diffraction (TOFD) 法⁽²⁾と同様の配置にして測定し、15 回加算平均した結果を Fig.3(b)、開発手法による結果を Fig.3(c)に示す。TOFD 法ではバックグラウンドのノイズが大きいため最も高い強度となる指示でも S/N は 3 未満であり、欠陥の識別は困難であった。一方開発手法では、すべての深さにある欠陥が S/N7 以上で検出できることを確認した。これにより LUT と SAFT 法を組み合わせることで、深さ 135mm までの欠陥検出が可能となる知見が得られた。

Fig.3 Detection result of thick specimen with SHD

3.2 実溶接試験検査結果

厚肉溶接部材の溶接施工インプロセスにおいて LUT を実施した。Fig.4 にインプロセスでの測定結果および同一試験体を室温に戻した状態での測定結果を示す。試験体の板厚は 150mm、溶接時の試験体温度は約 250℃であった。温度影響による感度変化を見るため、SAFT 処理を行わずに TOFD 法で測定を行い、波形を 15 回加算平均した。ここで、底面エコーの到達時間が異なるのは試験体の温度に依存した音速変化のためである。室温のとき S/N11.9、インプロセスのとき S/N11.2 で底面エコーが確認された。室温に対する溶接インプロセス時の超音波受信感度は約 94%であり、

本対象温度における受信感度への影響が小さいことを確認できた。

Fig.4 Detection result at high temperature

また、本対象にて、溶接線垂直方向へ SAFT 処理を行い、探傷結果を溶接線方向に投影表示させた D-scan 結果を Fig.5 に示す。本計測は、板厚 150mm の試験体に対して、底面から表面 20mm の位置まで無欠陥で溶接を実施した際の結果である。欠陥の指示はないが、深さ 150mm の位置に底面エコーの強い指示が計測されている。本結果より、開発した計測手法が溶接中に適用可能であることを確認できた。

Fig.5 D-scan result

4. 結言

LUT と SAFT 法を組合せた溶接施工インプロセス検査技術により、これまで LUT では困難であった厚板内部の欠陥検出が可能となった。また、試験体温度が 200℃以上となる溶接施工中において LUT を適用した結果、本手法が適用できる目処を得た。今後は溶接施工中にボイドや融合不良などといった溶接の実欠陥を対象とした検出試験を実施し、本技術の確立を進めていく。

参考文献

- (1)M.Ochiai, et al., Review of Quantitative Nondestructive Evaluation Vol.22 (2003) pp1497-1503
- (2)J. P. Charlesworth, et al., Engineering Applications of Ultrasonic Time-of-Flight Diffraction Second Edition, Research Studies Press Ltd. (2001)