

レーザー溶接部の検査技術開発

Development of Inspection Technology for Laser Welding Section

日本原子力研究開発機構	西村 昭彦	Akihiko NISHIMURA	Member
日本原子力研究開発機構	寺田 隆哉	Takaya TERADA	Non Member
日本原子力研究開発機構	山田 知典	Tomonori YAMADA	Non Member
エーテック	竹仲 祐介	Yusuke TAKENAKA	Non Member
エーテック	古山 雄大	Takehiro FURUYAMA	Non Member

We are developing the inspection technology for laser micro spot welding. Butt welding for the inner wall of heat exchanger tubes were successfully carried out by a composite-type optical fiber scope. The related technologies are the following : ①Rapid inspection by Eddy Current Testing ②Fiber endoscope observation ③Synchrotron X-ray absorption contrast method. These technologies are versatile to be applied in maintenance for industrial production plants.

Keywords: Laser Welding, Eddy Current Testing, Endoscope, X-ray Absorption Contrast, Butt Welding

1. はじめに

福島原子力発電所の事故をきっかけとして、これまでの原子力安全研究での過酷事故の想定内容が問い直されている[1]。これまで著者は、ナトリウムを熱交換器に使用する高速増殖炉の伝熱管の安全性確保はきわめて重要であると考え、実際に検査修理を行う技術開発の重要性を提案した[2]。安全確保の要点のひとつは伝熱管の溶接部分である。この伝熱管内壁を検査補修する技術は、高経年化する軽水炉や石油化学プラントにも適用可能である。

平成 19 年度から 21 年度にかけて、文部科学省の推進する原子力システム研究開発事業の助成のもとで、複合型光ファイバスコープによる伝熱内壁の観察と渦電流探傷技術による欠陥発見技術を組み合わせたプローブを開発した。ここでは、1 インチ内径の熱交換器伝熱管に挿入し内壁に瑕疵が認められた場合、これを観察しレーザー溶接補修できる小型レーザー加工ヘッドを開発した[3]。この開発事業では、伝熱管を施栓処理ではなく溶接補修することで熱交換器を延命させて経済性の改善を目的である。H22 年度からは開発技術を基盤に、種々のプラントの苛酷事故の予防保全を主目的として、レーザーによるマイクロ溶接補修の技術開発に力を入れている。

ここではレーザー溶接を施した伝熱管の検査技術について開発の現状を報告する。

連絡先: 西村昭彦、〒619-0215 京都府木津川市梅美台 8-1、日本原子力研究開発機構 量子ビーム応用研究部門 光量子融合研究グループ
E-mail: nishimura.akihiko@jaea.go.jp

2. 伝熱管内壁の検査技術

今回報告する検査技術は、渦電流探傷技術に加えて、これを補完する精密観察が可能なファイバスコープによる目視観察及び溶接部の内部観察のための放射光 X 線による吸収コントラスト計測、について報告する。

2.1 渦電流探傷

開発した渦電流探傷プローブは、中空の亚克力パイプに探傷コイルを円周上に埋め込んだ構造である。探傷精度を上げるために 10 チャンネルの探傷コイルを伝熱管内壁に接するように配置した。コイルからの信号線はマルチプレクサにより 1/3 に減数化したうえで、次に述べる複合型光ファイバに沿わせた。信号線の全長は 10m である。複合型光ファイバと信号線は熱収縮チューブに通し、加熱により一体化した。検出信号はデ・マルチプレクサにより復元され、ロックインアンプにより検波増幅した。

渦電流探傷試験は熱交換器を模擬したモックアップ施設で実施した。全長 8.1 m の直管部に 150 cm の枝管接続部分を取り付け、その後に長さ 1 m の試験用伝熱管を接続した。試験用伝熱管は内径 23 mm、厚さ 4.5 mm、材質は 2.25% のクロムを含有する STPA24 であり、その内壁には幅 0.3 mm で伝熱管の厚みの 50%、20%、10%、5% の深さのノッチを 4 箇所設けた。渦電流プローブは 8.1 m の伝熱管の上部から挿入した。挿入速度は 10 cm/s である。測定の結果、フランジによる配管の接続部分及び溶接部分からマーカとなる強い信号が得られた。ノッチからは微弱な信号が得られ、10% ノッチが検出下限であった。

2.2 ファイバ스코ープ観察

複合型光ファイバ스코ープは、溶接補修のための高エネルギーレーザー光を伝送するコアファイバを中央に配し、その周囲を映像伝送用光ファイバが取り巻いている。更に最外部にはハロゲン光を伝送するライトガイドが設けられている。ライトガイドはファイバ스코ープの外径を小さくしたい場合に有効であるが、現在のシステムではハロゲン光源とライトガイドのカップリングが悪い。

伝熱管程度の大きさの内部を観察する場合は、高輝度LEDによる照明が有効である。Fig. 1は、伝熱管をファイバレーザーにより突合せ溶接した際の内壁の観察映像である。中心の円形部分はレーザー光伝送のための0.2 mm径のコアファイバである。Fig. 1 (a)は溶接ビードを示すが、Fig. 1(b)は溶接ビードの終端部分であり、固化した溶融池と未溶接の突合せ部分が明瞭に観察できた。

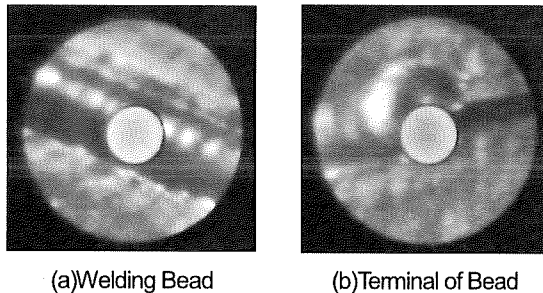


Fig.1 Images of Laser welding Bead by a Composite-type Optical Fiber Scope

LED照明により明瞭な画像が得られたことから、高輝度LEDとボタン電池を組み合わせた小型照明を試作した。この小型照明はレーザー加工ヘッドのレーザー反射ミラーの上部に着脱可能である。レーザー反射ミラーは、レーザー溶接のための高エネルギーレーザー光と溶接ビードの良否を確認するための映像の両方を反射する。このため、銅ブロックから削り出しにより製作し、その表面に可視光コーティングを施し、更にレーザー光を反射する誘電多層膜コーティングを施した。小型照明はレーザー加工ヘッドの回転と一緒にレーザー照射位置を照らすことができた。

2.3 X線吸収コントラスト観察

レーザー溶接における溶け込み深さを把握することは重要である。著者らは突合せ溶接において、レーザー溶接中の溶け込み深さの成長をX線吸収コントラスト法により解明した。レーザー出力は300 W、スポット径1 mmの際に、突合せ溶接の間隙が溶接で結合する様子を、70.3 keVのX

線透過吸収を実時間で測定することに成功した。X線源にはSPring-8 ビームラインBL22XUを使用した。鉄は融点で固体から液体に変わる際に11%の密度の低下が生じる。このX線吸収量の減少をX線CCDカメラにより捉えた。サンプルはSUS316鋼、厚さは5 mmである。

レーザー照射開始から300 ms後には溶融池の深さは表面から0.2 mmの深さに成長する。深さが0.85 mmに達するには7 sを要した。Fig. 2は溶融池の直径が1.5 mm、深さが0.5 mm程度に達した時のX線吸収コントラスト像である。突合せの境界部分は2本の明るい縦の線で表されている。僅かに明るさが増した領域が広がる様子が観察できた。本計測により、Fig.1に示したレーザー溶接ビードの深さ方向の進展の様子が明らかとなった。

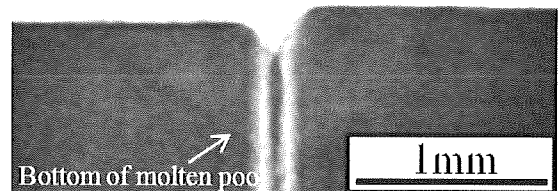


Fig.2 Images of molten pool by X-ray absorption contrast

謝辞

渦電流探傷とX線吸収コントラスト計測に関しては、原子力機構の山口智彦氏及び菖蒲敬久氏にご指導頂きました。深く感謝いたします。

参考文献

- [1] . “IAEA INTERNATIONAL FACT FINDING EXPERT MISSION OF THE FUKUSHIMA DAI-ICHI NPP ACCIDENT FOLLOWING THE GREAT EAST JAPAN EARTHQUAKE AND TSUNAMI “, REPORT TO THE IAEA MEMBER STATES, Tokyo, Fukushima Dai-ichi NPP, Fukushima Dai-ni NPP and Tokai Dai-ni NPP, Japan, 24 May – 2 June 2011, pp. 30-31.
- [2] 西村昭彦、岡潔、山口智彦、他、“伝熱管内壁検査補修技術開発の概要”、日本保全学会第5回学術講演会要旨集、2008、pp.139-142.
- [3] 岡潔、西村昭彦、関健史、赤津朋宏、山下卓哉、“複合型光ファイバを用いた1インチ伝熱配管用観察補修レーザー加工ヘッドの開発”、保全学、Vol.8、No.4、2010、pp.37-42.

(平成23年8月31日)