

# 内壁減肉配管補修のためのレーザー溶接技術開発

## Development of Laser Cladding Technology for Maintenance of Pipe Wall Thinning

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	西村 昭彦	Akihiko NISHIMURA	Member
日本原子力研究開発機構	岡 潔	Kiyoshi OKA	Member

We are developing the laser welding and cladding device for the maintenance of heat exchanger pipes. In the case of flow accelerated corrosion where pipe wall thinning occurred after a long time operation, laser cladding is mostly expected. A laser processing head was proposed in order to access the pipe wall. A composite-type optical fiber scope was used for real time observation and laser processing. An air-cooled compact fiber laser was used for spot heating. We present the concept of the laser cladding device which have the following features: 1) Wire feeding modules 2) Module capable of laser irradiation in the vertical heat exchanger pipe 3) Assist gas injection module.

**Keywords:** pipe wall thinning, laser cladding, heat exchanger pipe, composite-type optical fiber scope

### 1. 諸言

原子炉配管には長期連続運転にともなって流れ加速型腐食[1]による配管減肉が発生する。このことは2004年美浜発電所3号機二次系配管破損事故の原因であることが報告されており[2]、厳格な管理が求められている。2015年には半数以上の原子炉が運転開始から30年以上経過する我が国では特にその対策が重要である。

原子力機構では、FBRの1インチ伝熱管に挿入可能な伝熱管検査補修システムを完成させた。このシステムは渦電流探傷装置(ECT)、観察用およびレーザー照射用ファイバが一体となった複合型光ファイバスコープとレーザー加工ヘッドで構成されている[3]。このシステムは、1インチ管内に作成した模擬微小欠陥をECTで発見し、複合型光ファイバスコープにより微小欠陥を観察しながらレーザー照射位置を制御、溶接補修することができる。

原子炉蒸気発生器の配管減肉管理基準は厳しい。安全管理の重要性を考えれば当然であるが、一方でその管理の厳しさが新たな技術開発を妨げている。ここで述べる検査補修技術の適用先は、火力発電、ボイラー、石油化学プラントなどの大型機器から食品加熱装置のような小型機器まで幅広く適用が可能である。本報告では配管内に生じた流れ加速型腐食によって、配管の内径が大きく損傷した場合、これを補修するレーザークラディング技術開発について述べる。

連絡先: 寺田隆哉、〒914-8585 福井県敦賀市木崎65-20、日本原子力研究開発機構敦賀本部レーザー共同研究所、  
E-mail: terada.takaya@jaea.go.jp

### 2. 熱交換器伝熱管用のレーザークラディング装置概念

加熱蒸気に含まれる水滴、金属ナトリウム中に含まれる微小金属粒子、高温ガス中の炭素微粒子、希ガス中に発生するフッ化金属微粒子など、高速流体の流れに伴う固体微粒子は配管の保守保全に問題となる。これらのプラントにおいて、エルボ部分で流れが方向を変える場合、また、配管直径が急に変化し流れに垂直な渦が生じる場合、或いは流れの中に垂直な構造物があり背後に渦が生じる場合など、さまざまな箇所が保守保全の対象とする必要がある。

例えば、多管型の熱交換器は、胴部内に多数の細管をもち熱交換を行う。安全性と保守保全の容易さを考え、高圧流体や腐食性の流体は細管内を流れるように設計される。ここで、大口径の配管から多数の細い管に流れを分配し、再び統合する必要がある。

これらの条件より考案したレーザークラディング装置の概念図をFig.1に示す。

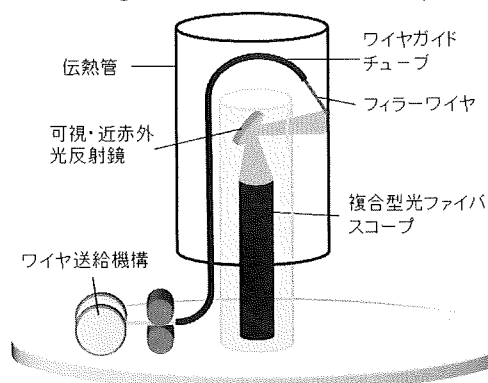


Fig.1 Schematic View of Laser Cladding Processing Head

Fig. 1 では大口径の配管から細管に流れが縮小する場合、縮小部の配管内壁にアクセスする場合を想定している。ここでは以下の3項目について新たにシステム開発に取り組む必要がある。1) 溶接ワイヤの供給機構、溶接ワイヤはレーザー照射部に正確に供給する必要があるため、0.5 mm以下の細径ワイヤを用い、加熱により柔軟性を向上させることも検討項目として挙げられる。2) 垂直に設置された配管に対して挿入、可動することができるレーザー加工ヘッド機構、これまで開発したレーザー加工ヘッド[3]のように1インチ伝熱管内にヘッド回転等の駆動機構を収める必要はなく、代わりにワイヤ、アシストガス供給機構を設置する空間を設ける。3) アシストガスの供給機構、レーザー照射位置にできる限り近い位置にアシストガスを供給する機構が必要である。

### 3. 垂直に配置した平板に対するレーザークラディング実験

実験では2章で提案した装置概念のうちの1)と2)に関わる基礎実験を行った。垂直に配置された伝熱管内壁に対するレーザー溶接では溶融池が重力の影響を受け不安定になる。溶融池の不安定性の肉盛り溶接への影響を調べるため、垂直配置した平板に対するレーザークラディング実験を行った。SUS304の平板に幅1.6 mm、深さ1 mmの溝を作成した。IPG Photonics社のファイバレーザーYLR-300-ACを使用し、照射エネルギー330 W、照射径約2 mmで作成した溝の一点に照射した。照射角度は平板に対し垂直方向から上方20度の角度とし、照射時間は20秒とした。照射開始と同時にレーザースポットに対して下方向から直径0.45 mmのSUS304ワイヤを移動速度0.5 mm/sで送給した。Fig. 2にレーザー照射後のSUS304試験片の様子を示す。肉盛り部位は照射位置より下側に位置している。溶融池および溶融したワイヤが重力の影響を受け、レーザー照射位置より下側で冷え固まったと思われる。これより、垂直面に対する肉盛り溶接では照射位置より上部からワイヤの供給が適切である。

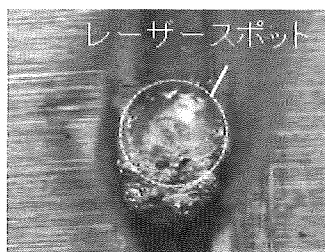


Fig.2 Laser Cladding on a Vertical SUS304 Plate

## 4. 考察と結言

これまでに開発したFBR伝熱管検査補修システムでは管肉厚3.8 mmに対し10%の約0.4 mmのノッチ深さを検知し、レーザー溶接可能であることを確認した[4]。また、放射光を用いたX線吸収コントラスト実験により、溶融池の深さは0.85 mm程度に達することが観察されている[5]。このようにレーザー溶接補修においては、溶融深さに関する検証が重要である。特にレーザークラディングでは、クラディング部分と母材の溶け込み深さが特に重要となる。

このため装置開発としては、レーザー照射で生成した適切な深さをもつ溶融池に対して、フィラーワイヤを最適な方向から適切な速度で供給することが重要である。今後は2章で提案した3項目を中心にレーザークラディング装置の製作を進める。またさらなる基礎実験を実施し、その結果を装置設計に反映させていく予定である。

### 参考文献

- [1] W. Kastner, M. Erve, H. Henzel and B. Stellwag, "Calculation code for EROSION CORROSION INDUCED WALL THINNING IN PIPING SYSTEMS", Nuclear Engineering and Design, Vol.119, 1990, pp.431-438.
- [2] 原子力安全保安院, "関西電力株式会社美浜発電所3号機二次系配管破損事故について(最終報告書)", 2005, pp.14-16.
- [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.3, No.4, 2010, pp.37-42.
- [4] A. Nishimura, T. Shobu, K. Oka, T. Yamaguchi, Y. Shimada, O. Mihakache, A. Tagawa and T. Yamashita, "Development of Inspection and Repair Technology for the Micro Cracks on Heat Exchanger Tubes", レーザ加工学会誌, Vol.17, No.4, 2010, pp.207-212.
- [5] T. Yamada, T. Shobu, Y. Yonemoto, S. Yamashita, A. Nishimura and T. Muramatsu, "In-situ X-ray observation of molten pool's depth during laser micro welding", The 12th International Symposium on Laser Precision Microfabrication, Takamatsu, 2011, Tu-O-7, p.83.

(平成23年8月31日)