

ファイバ集積型半導体レーザーによる 難溶接材ベローズの開発

機械金属部 ○舟田義則 根田崇史 谷内大世
株式会社ベローズ久世 目木憲一
株式会社村谷機械製作所 長井久雄

1. 目的

発電プラントや半導体製造装置には、ドーナツ状に打ち抜いた金属製の薄板を溶接して製造される溶接ベローズ(図1参照)と呼ばれる伸縮自在な配管継手部品が多用されている。近年、発電効率向上のため蒸気の高圧化が進み、耐熱性と強度に優れるニッケル基耐熱合金製の溶接ベローズが求められている。しかし、この合金は溶接割れを生じやすい材料であるため、YAGレーザー溶接など従来の技術では割れによる漏れを防止できず、未だ製品化されていない。

本研究では、集光形状を調整できるファイバ集積型半導体レーザーと、これを搭載したレーザー溶接機を製作し、ニッケル基耐熱合金製溶接ベローズを安定して製造するための溶接技術を開発した。

2. 内容

2.1 ファイバ集積型半導体レーザー溶接機

ベローズ溶接用に開発した最大出力が300Wで発振波長が975nmのファイバ集積型半導体レーザーの原理を図2に示す。光ファイバが結合された半導体レーザー素子が複数個組み込まれ、各素子からのレーザー光は加工ヘッドで集光して照射される。このとき、各レーザー光の集光点を重ねたり、ずらしたりすることによって擬似的に集光形状を変更できる。これを縦方向にV字に2台搭載して製作したベローズ用のダブルヘッド型レーザー溶接機を図3に示す。異なる集光形状に調節したレーザー光を2方向から同時に照射することができる。

2.2 レーザ溶接時の応力分布解析

溶接割れの原因を溶接中に発生する応力と考え、その分布を熱伝導弾塑性解析により求めるとともに、応力を低減するためのレーザー光集光形状を検討した。図4は、溶接中の応力分布を、レーザー光が一点に集光して照射される場合と、点集光のレ

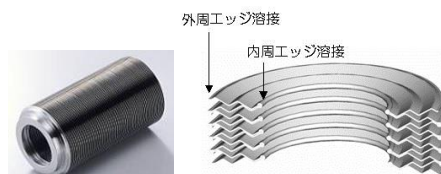
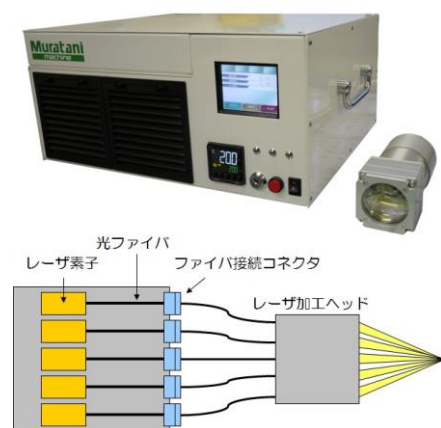
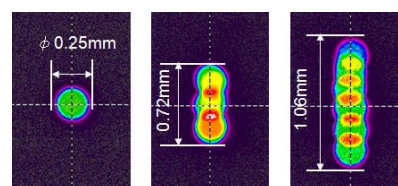


図1 溶接ベローズ



(a) 外観および原理図



(b) 集光形状

図2 ファイバ集積型半導体レーザー

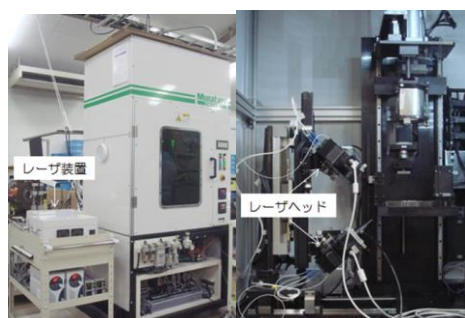


図3 ダブルヘッド型レーザー溶接機

ーザ光の後方に直線に集光するレーザー光を同時に照射する場合とで比較した結果である。一点集光のレーザー光のみを照射する場合、レーザー光照射部後方に大きな応力が生じている。これに比べて、点集光のレーザー光と直線集光のレーザー光を組み合わせる場合、照射部後方の応力値は低減する。

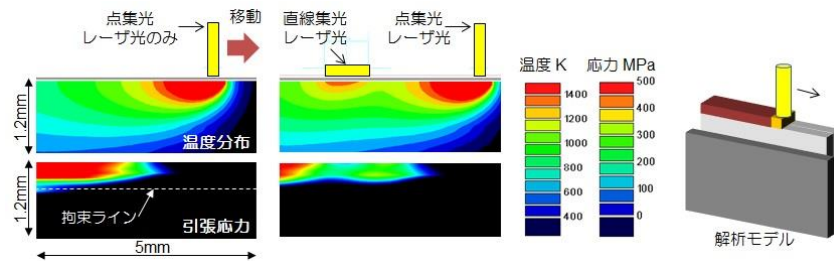


図4 レーザ溶接中の応力分布解析結果

2.3 ベローズ溶接実験

ドーナツ状に打ち抜いた厚さ 0.1mmのニッケル基耐熱合金製ベローズ素材を、ファイバ集積型半導体レーザー溶接機を用いて溶接実験を行った。図5は、2枚重ねたベローズ素材の内周を、一方の加工ヘッドからは点に集光するレーザー光を、もう一方の加工ヘッドからは直線に集光するレーザー光を同時に照射して溶接した結果である。滑らかな溶接部が形成されており、その断面には割れや空隙が見当たらない。

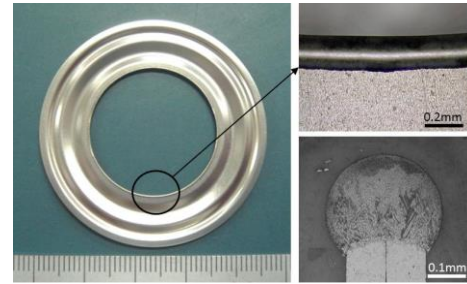


図5 ベローズ素材の内周溶接結果

2.4 気密性および耐久性評価

集光形状の違いが溶接部の気密性に及ぼす影響を評価するため、点集光のレーザー光のみの場合および点集光と直線集光のレーザー光を組み合わせる場合で溶接実験を行った。そして、溶接部の漏れの有無はヘリウムガスを流して調べた。その結果、表1に示すように、点集光のレーザー光のみで溶接した場合、全て漏れたのに対して、点集光と直線集光のレーザー光を組み合わせる場合、一度も漏れが確認されず、漏れ不良率は0%であった。

集光形状	実験数	漏れ数
点集光のみ	20	20
点集光+直線集光	2,600	0



図6 ニッケル基耐熱合金製溶接ベローズ

先に点集光と直線集光のレーザー光を組み合わせる内周溶接したベローズ素材を積層してから、外周を溶接することで、図6に示すニッケル基耐熱合金製溶接ベローズを試作した。これを伸縮疲労試験した結果、1千万回以上伸縮しても破損せず、気密性を保持したまま使用できることを明らかにし、製品化の可能性を示すことができた。

3. 結果

集光形状を変更調整可能なファイバ集積型半導体レーザー装置と、これを用いて点集光のレーザー光と直線集光のレーザー光を組み合わせる溶接方法を提案し、以下の結果を得た。

- (1)ニッケル基耐熱合金製ベローズ素材を不良率0%で溶接することを可能にした。
- (2)ニッケル基耐熱合金製溶接ベローズを試作し、1千万回以上の伸縮にも耐え得ることが明らかになった。