

ファイバーレーザー溶接による二相ステンレス鋼溶接部の断面ミクロ組織と硬さ

Cross Sectional Microstructure and Hardness in Welded Zone of Duplex Stainless Steel by Fiber Laser Welding

齋藤 繁* 前田 憲太郎** 田沼 吉伸*** 塩田 敏也**** 大島 改****

Shigeru Saito, Kentaro Maeda, Yoshinobu Tanuma,
Toshiya Shioda and Kai Ohshima

Abstract

Duplex stainless steel is composed of a ferrite phase and an austenite phase, giving it excellent strength and corrosion resistance. In this study, we used fiber laser welding to butt weld two plates of duplex stainless steel into a test specimen. We then examined cross sections of the welds and measured their Vickers hardness. The duplex stainless steel plates used in this study were composed of SUS821L1. In the welding process, an arm type robot was used to butt weld two steel plates with a fiber laser with an output of 1 kW and a welding speed of 2000 mm/min, using nitrogen as the assist gas. A micro Vickers hardness tester was used to measure the hardness of the welds along horizontal straight lines at measurement points spaced 0.15 mm apart. The test force applied was 1.961 N. The results of the micro Vickers hardness tests revealed that while the hardness of the duplex stainless steel base metal was 249 to 264 HV, that of the weld metal was 280 to 305 HV. Our findings to date indicate that the Vickers hardness of the weld metal tends to be about 40 to 50 HV harder than that of the duplex stainless steel base metal.

1. 緒言

オーステナイト系ステンレス鋼の代表的な鋼種である SUS304 に替わるステンレス鋼として、二相ステンレス鋼は、耐食性の優れた高 Cr 鋼がもっている脆性や溶接性等の難点を Ni や N 等の添加によって改善したものである⁽¹⁾。二相ステンレス鋼は、オーステナイト相とフェライト相の弱点を互いに補うような特性をもっている。特に、高 Cr で Mo を含む二相ステンレス鋼は耐孔食性に優れており、海水熱交換機用材料として用いられる⁽²⁾。

著者らは、ファイバーレーザー溶接を用いて二相ステンレス鋼同士の突合わせ溶接を行い、溶接した試験片の溶接部における組織と硬さについて検討を行っている⁽³⁾。ファイバーレーザー溶接の特徴は、他の溶接工法に比べて溶接強度が優れており、ひずみや焼けが少なく、高品質な仕上がりとなる。また、溶接速度が速く、高精度の溶接が可能であり、アル

ミニウム合金や異種材料等の溶接への適用が期待されている。

本研究では、ファイバーレーザー溶接を用いて二相ステンレス鋼同士の突合わせ溶接した試験片を作製し、溶接部における断面ミクロ組織観察およびマイクロビッカース硬さ試験を行った。本報告では、得られた断面組織および溶接部断面の硬さ分布より、板厚 1 mm における結果について検討した。

2. 実験方法

本研究に用いた二相ステンレス鋼は SUS821L1 であり、板厚は 1, 2, 3 mm の 3 種類を用意した。二相ステンレス鋼同士の突合わせ溶接は、トリパス(株)石狩工場のファイバーレーザー溶接システムを用いた。図 1 はファイバーレーザー溶接システムの外観を示し、アーム型ロボットによる自動溶接を行った。ファイバーレーザー溶接の主な溶接条件はレーザー

* 北海道科学大学寒地先端材料研究所, 工学部機械工学科
** 北海道科学大学寒地先端材料研究所, 工学部建築学科
*** 北海道科学大学名誉教授
**** 株式会社トリパス

出力 1 kW, 溶接速度 2000 mm/min とし, アシストガスには窒素を用いた. 図 2 は, 二相ステンレス鋼同士の突合わせ溶接した試験片の外観を示す. このファイバーレーザ溶接後の試験片は断面組織観察を行うため, レーザ切断によって 12×12 mm に 15 個 (#1~#15) 切断し, 取り外してそれぞれ使用した. 図 3 は取り外した溶接試験片の外観を一例として示し, 図に示すように中央部に溶接ビードが形成されている. 次に, ファイバーレーザ溶接後の試験片は冷間樹脂埋めを行い, 二分割に切断した. 切断後の試験片断面は, 自動研磨機とダイヤモンド研磨材を用いて鏡面研磨した. 研磨後の試験片断面は電解研磨後に, 光学顕微鏡を用いて溶接部の断面組織観察を行い, 溶接部の組織や形状について観察した. また, マイクロビッカース硬さ試験は断面組織観察後の試験片を小型バイスに水平状態でセットし, X-Y 移動ステージ上に置き計測した. 測定条件は, 負荷荷重を 1.961 N, 荷重時間を 10 s とした. マイクロビッカース硬さ試験は圧痕同士の干渉を避けるため, JIS Z2244 (ビッカース硬さ試験方法) に基づき

圧痕の対角線距離を d として $3d$ 以上に設定し, 断面に対して垂直方向に 5 列測定を行った.

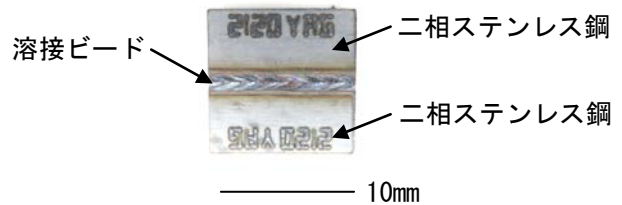


図 3 溶接試験片の外観

3. 実験結果および考察

図 4 はファイバーレーザ溶接における二相ステンレス鋼溶接部の断面組織であり, 貫通溶接した溶接試験片を示す. 一方, 図 5 は未貫通溶接の溶接試験片であり, いずれも二相ステンレス鋼板の板厚は 1 mm の結果をそれぞれ一例として示している. 断面



図 1 ファイバーレーザ溶接システム

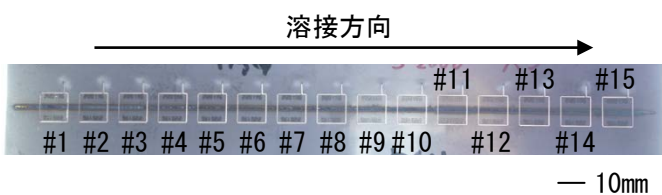


図 2 ファイバーレーザ溶接後の試験片

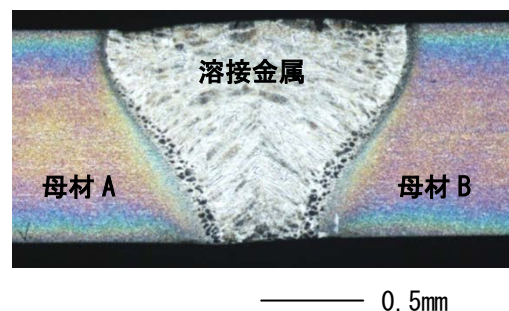


図 4 ファイバーレーザ溶接における二相ステンレス鋼溶接部の断面組織 (貫通溶接試験片の場合)

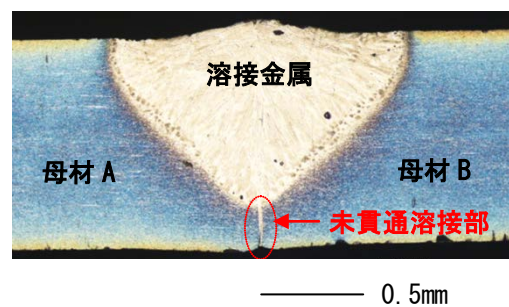


図 5 ファイバーレーザ溶接における二相ステンレス鋼溶接部の断面組織 (未貫通溶接試験片の場合)

組織より、いずれの試験片においても二相ステンレス鋼同士を突合わせ溶接した二相ステンレス鋼(母材 A および母材 B)の間には図に示すような溶込み形状からなる溶接金属が形成されている。また、図 4 における溶接試験片では鋼板の底部まで貫通溶接されているのに対し、図 5 の溶接試験片では図に示すような未貫通溶接部が底部に確認できる。今後は、このような未貫通溶接部が溶接部の機械的強度に及ぼす影響について検討を進める。

図 6 は、二相ステンレス鋼溶接部における母材/溶接金属界面近傍の断面組織を示す。写真の左側が母材の二相ステンレス鋼であり、右側が溶接金属である。二相ステンレス鋼のフェライト相とオーステナイト相からなるが、溶接金属の組織は、フェライト相とオーステナイト相の量比が大きく変化しており、母材より結晶粒が粗大化している。この粗大化した結晶粒は、シェフラーの状態図⁽⁴⁾よりフェライト相と推定される。また、フェライト相の周囲には黒色の溝状組織が確認でき、この溝状組織は Cr 窒化物の析出による Cr 欠乏相であると考えられる。

図 7 は、二相ステンレス鋼溶接部における断面組織とマイクロビッカース硬度試験結果の一例であり、未貫通溶接の溶接試験片における表面部と底部の硬さ分布をそれぞれ示している。マイクロビッカース硬度試験結果より、表面部では溶接金属内で硬さが増大しているのに対し、底部では母材の二相鋼とほぼ同程度の硬さであることがわかる。各部にお

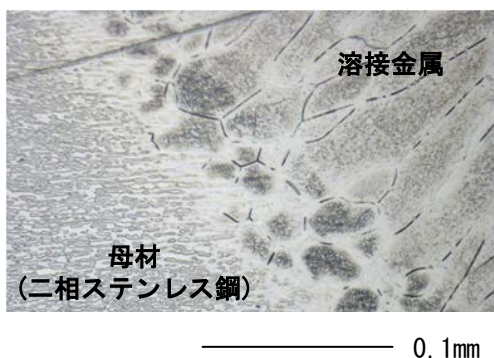


図 6 二相ステンレス鋼溶接部における母材/溶接金属界面近傍の断面組織

ける最高硬さは表面部が 300 HV、中間部が 294HV、底部が 275HV であり、溶接金属の最高硬さは底部側に向かって減少する傾向を示した。

本研究では、前述のように溶接試験片の未貫通溶接部と溶接金属における最高硬さの減少が溶接部の機械的強度に及ぼす影響を明らかにするため、ファイバーレーザ溶接を用いて作製した試験片の引張試験を実施する予定である。

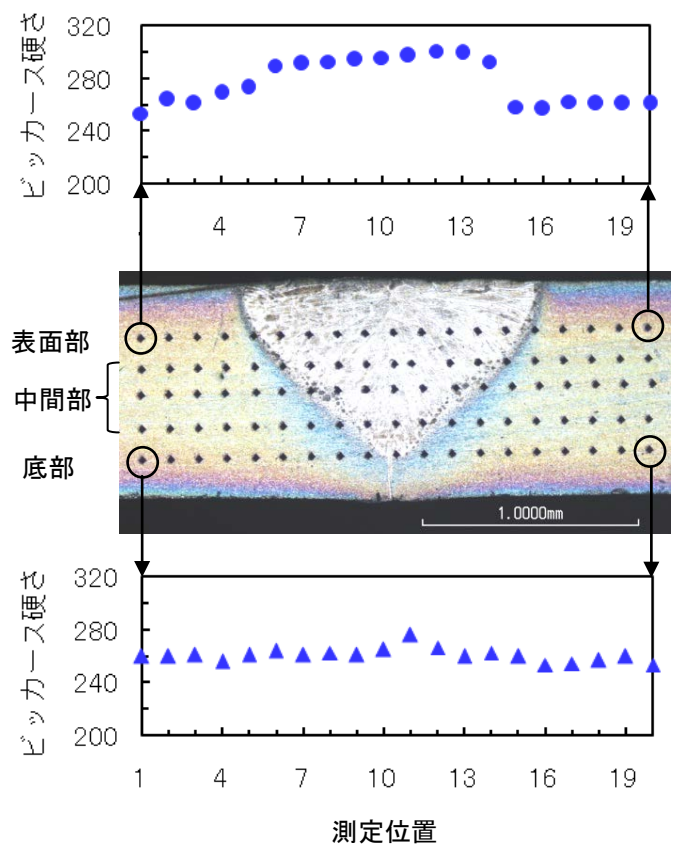


図 7 二相ステンレス鋼溶接部における断面組織とマイクロビッカース硬度試験結果

4. 結論

本研究では、ファイバーレーザ溶接を用いて二相ステンレス鋼同士の突合わせ溶接した試験片を作製し、溶接部における断面ミクロ組織観察およびマイクロビッカース硬度試験を行い、得られた断面組織および溶接部断面の硬さ分布について検討した。得られた結果は、以下のように要約される。

(1) 突合わせ溶接した二相ステンレス鋼溶接部に

は、溶接金属が形成された。

- (2) 二相ステンレス鋼溶接部の断面組織において、溶接試験片の一部には未貫通溶接部が確認された。
- (3) 二相ステンレス鋼溶接部の断面組織において、溶接金属の組織は結晶粒が粗大化しており、フェライト相と推定される。
- (4) 溶接部断面の各部における最高硬さは表面部が 300HV、中間部が表面側で 294HV、中間で 305HV および底部側で 305HV、底部が 275HV であった。
- (5) 未貫通溶接部が確認された溶接試験片では、溶接金属における最高硬さが 300~305HV の範囲であり、底部側に向かって最高硬さが減少する傾向を示した。

謝辞

本研究は、日本溶接協会 2018 年度「次世代を担う研究者助成事業」の助成を受けたものであり、ここに記して謝意を表する。

参考文献

- (1) 及川雄介, 柘植信二, 江目文則, 木村洋, 井上裕滋: 構造用素材として優れたパフォーマンスを持つ省合金型二相ステンレス鋼の開発, までりあ, 55 巻 2 号, pp. 70-72, 2016.
- (2) 小川和博: 二相ステンレス鋼の発展と最近の動向, 日本溶接協会 WE-COM マガジン, 第 17 号, pp. 1-11, 2015.
- (3) 森下泰紀, 葛西達也: ファイバーレーザ溶接システムを用いた二相ステンレス鋼における溶接部の断面組織と硬さ分布に関する研究, 2018 年度北海道科学大学工学部機械工学科卒業論文.
- (4) 西本和俊: 溶接金属の組織予測, 溶接学会誌, 60 巻 8 号, pp. 637-641, 1991.