

日本溶接協会 2018年度 「次世代を担う研究者助成事業」成果報告

二相ステンレス鋼溶接部断面の ミクロ組織学的特徴に関する研究

齋藤 繁

北海道科学大学 寒地先端材料研究所

1 はじめに

二相ステンレス鋼はフェライト相とオーステナイト相の二相組織からなり、高強度かつ耐食性に優れている。とくに、二相ステンレス鋼はオーステナイト系ステンレス鋼SUS304と比較して約2倍の高強度となるため、鋼構造材の板厚を薄くすることで軽量化や使用量を削減することが可能となる。また、二相ステンレス鋼(SUS821L1)の耐食性はSUS304と同等であるため、主に河川内設備や化学プラントなどの鋼構造材として使用されている。一方、北海道内で製造される除雪車のような大型特殊自動車用部品には高強度と計量化、さらには耐食性も求められる。著者は大型機械部品への二相ステンレス鋼の適用を目指し、2018年度「次世代を担う研究者助成事業」に申請し採択された。

本研究は、ファイバーレーザー溶接を用いて二相ステンレス鋼板同士を突合せ溶接した試験片を作製し、溶接継手小片の溶接部断面組織観察およびビッカース硬さ測定

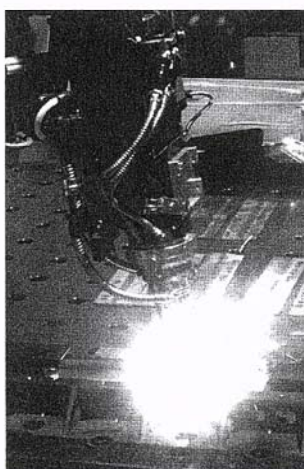


写真1 ファイバーレーザー溶接の様子

を行い、ミクロ組織学的特徴について検討することを目的とする。比較のために、SUS304鋼板同士を突合せ溶接した試験片、さらにティグなめ付溶接を用いて溶接した試験片もそれぞれ作製した。得られた研究成果を本報にて紹介する。

2 研究方法

本研究に用いた二相ステンレス鋼板はSUS821L1であり、主な化学成分(wt%)は25Cr-2Ni-3Mn-1Cu-0.17Nである。鋼板の板厚は1mm、2mm、3mmの3種類とし、縦32mm、横280mmにレーザー切断したものを使用した。溶接方法は、アーム型ロボットによるファイバーレーザー溶接またはティグなめ付溶接を用いて行い、2枚の鋼板を突合せ溶接した。開先突合せ部はI型開先とし、レーザー切断および各溶接はいずれもトリパス石狩工場で行った。写真1は、ロボットの手首に搭載された光学ヘッドからレーザー光が試験片表面に照射してファイバーレーザー溶接が行われているもようを示している。突合せ溶接した1試験片からは、12mm角にそれぞれレーザー切断して溶接継手小片を15個採取した。レーザー切断後の溶接継手小片を樹脂埋め後、精密切断機を用いて切断した。溶接継手小片の切断面は鏡面研磨後に10%しゅう酸電解エッチングを行い、光学顕微鏡を用いてミクロ試験を行った。また、溶接継手小片の溶接部断面における硬さ測定にはマイクロビッカース硬さ試験機を使用した。硬さ測定位置は、鋼板の表側および裏側から0.2mmの深さと板厚の中央部(3列)の計5列を測定間隔0.15mmで横一直線に行い、試験力は1.961Nとした。

3 研究成果

図1は、ファイバーレーザー溶接後における二相ステンレス鋼溶接部の断面ミクロ組織であり、ファイバーレ

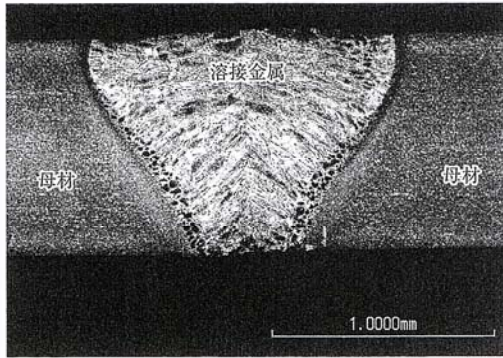


図1 ファイバーレーザ溶接後における二相ステンレス鋼溶接部の断面マイクロ組織

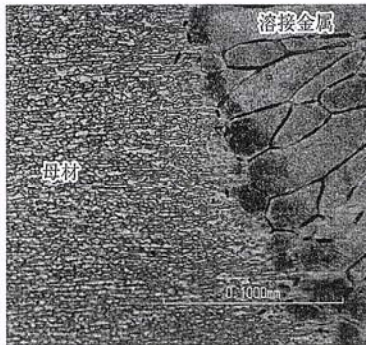


図2 母材と溶接金属間の拡大写真

ザ溶接を用いて二相ステンレス鋼板同士を突合せ溶接した試験片から採取した溶接継手小片の溶接部全体を観察した。母材の板厚は1mmであり、ファイバーレーザ溶接の条件はレーザ出力1kW、溶接速度2,000mm/minで行い、アシストガスに窒素を用いた。断面マイクロ組織より、母材間には溶接金属が形成され、溶接金属はレーザ照射部にキーホールと呼ばれる深い穴が形成された状態で貫通溶接が進行するため、図1で示すような溶込み形状となっている。図2は母材と溶接金属間のより高倍率な写真を示し、写真の左側が母材であり、右側の溶接金属は母材よりも結晶粒が粗大化し、窒化物と予想される針状の組織が確認できる。一方、SUS304溶接部の断面組織においてもほぼ同一の溶込み形状であった。

マイクロピッカース硬さ試験で得られた結果より、二相ステンレス鋼（母材）の硬さは249～264HVの範囲であるのに対して、溶接金属の硬さは280～305HVの範囲で母材よりも40～50HV程度硬化する傾向が認められた。また、母材の厚さ3mmにおいても溶接金属は母材よりも硬化する傾向を示し、溶接金属の硬さは271～296HVの範囲であった。一方、SUS304における溶接金属の硬さは211～230HVであり、二相ステンレス鋼の溶接金属よりも硬さが低下する。

図3は、ティグなめ付溶接後における二相ステンレス

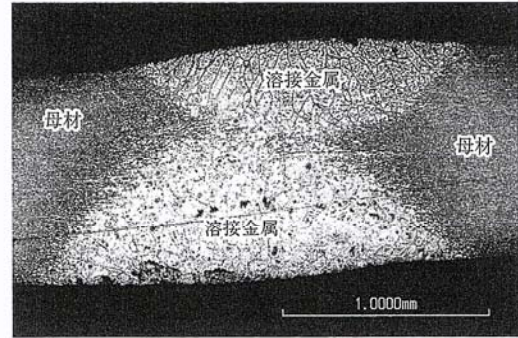


図3 ティグなめ付溶接後における二相ステンレス鋼溶接部の断面マイクロ組織

鋼溶接部の断面マイクロ組織であり、ティグなめ付溶接を用いて二相ステンレス鋼板同士を突合せ溶接した試験片から採取した母材の厚さは1mmであり、ティグなめ付溶接の条件は表面と裏面の2パス、溶接電流20～25A、溶接速度400mm/minで行った。断面マイクロ組織より、母材間の上部と下部には横方向に広い半楕円形からなる溶接金属がそれぞれ形成されている。しかし、母材の厚さ3mmでは板厚中央部に開先面のすき間が確認され、溶込み深さが浅いために溶込み不足が生じていた。一方、SUS304溶接部の断面組織においても板厚中央部に開先面の隙間が確認された。

4 おわりに

本研究結果より、ファイバーレーザ溶接を用いて溶接した二相ステンレス鋼の溶接部は急速な冷却によってフェライト相とオーステナイト相の量比が大幅に変化し、溶接金属の組織は粗大化することが明らかになった。今後の検討課題としては、溶接金属の成分分析や構造解析を行うとともに、二相ステンレス鋼（母材）よりも硬化した溶接金属の組織や形状が溶接継手強度と耐食性に及ぼす影響を検討する必要がある。

ファイバーレーザ溶接はより溶込みの深い高パワー密度溶接で高速溶接かつ1パス溶接が可能であり、適用板厚範囲も広く、低溶接ひずみといったメリットがあり、複雑形状部品への溶接に適した技術である。したがって、ファイバーレーザ溶接を用いた二相ステンレス鋼の溶接では溶接部の機械的特性と耐食性を両立させることが重要であり、そのためには定性的かつ定量的な評価データの構築が急務であると感じている。著者は有用な研究データの蓄積と提供を今後も継続し、除雪車や農業機械など大型機械部品の高強度化と薄肉軽量化、さらには積雪寒冷地環境における高耐久性とメンテナンスフリーの実現に寄与したいと考えている。