

# スーパー二相ステンレス鋼の複合型摩擦攪拌接合法に関する研究

杉本, 一等

<https://hdl.handle.net/2324/1959148>

---

出版情報 : Kyushu University, 2018, 博士 (工学), 課程博士  
バージョン :  
権利関係 :

氏 名 : 杉本 一等

Name

論 文 名 : スーパー二相ステンレス鋼の複合型摩擦攪拌接合法に関する研究

Title

区 分 : 甲

Category

## 論 文 内 容 の 要 旨

## Thesis Summary

スーパー二相ステンレス鋼はフェライト ( $\delta$  相) とオーステナイト ( $\gamma$  相) とを含み、優れた耐食性と高強度特性とを兼ね備えた材料であるが、溶接部での耐食性の悪化が著しく、製品適用における課題となっている。スーパー二相ステンレス鋼の溶接部では高温環境から冷却された後に  $\delta$  相と  $\gamma$  相との相比を一定に保つことが難しく相比ずれが発生する問題があり、また母材の二相以外の準安定相として、溶接部で金属間化合物や窒化物が析出しやすい。これらの微細組織の変化が耐食性の悪化を引き起こす原因と考えられる。本研究では熔融溶接法に比べて接合温度が低温の固相接合であり、二相ステンレス鋼の接合部において相比ずれが発生しにくい摩擦攪拌接合法 (FSW: Friction-Stir-Welding) に着目をした。本手法を元に複合型の溶接プロセスを検討し、 $\delta$  相および  $\gamma$  相の相比や二次的な析出物の生成に与える影響を調査した。

まず、FSW で接合したスーパー二相ステンレス鋼の接合部を EBSD (Electron-Back Scatter Diffraction-Patterns) で相分析を行い、観察断面に  $\gamma$  相が占める面積比率として  $\gamma$  相比率 ( $R_\gamma$ ) を分析した。その結果、ガスタングステンアーク溶接 (GTAW: Gas-Tungsten-Arc-Welding) では  $R_\gamma$  が 20~35% に低下するのに対し、FSW では接合部のほとんどの領域で母材と同程度の  $R_\gamma = 55%$  であるが、接合部の表層約 200  $\mu\text{m}$  の領域に  $R_\gamma$  が 50% 以下となったフェライトリッチ層が形成されていることが分かった。本研究では FSW 接合部にオーステナイト安定化元素である窒素を添加し、接合部表層の相比を母材と一定にさせることを検討し、窒素ガスを供した GTAW と FSW とを複合させた接合法、すなわち GTAW-FSW を開発した。GTAW-FSW は接合線に沿って前方に GTAW の溶接トーチを、後方に FSW ツールを配置し、溶接トーチでは  $\text{N}_2$  を 10% 配合した Ar ガスによってプラズマを形成し、窒素添加を図る手法である。これを用いて接合したスーパー二相ステンレスの接合部では、表層にフェライトリッチ層を形成せず、表層を含めたすべての領域で母材と同程度の  $R_\gamma$  を実現することができた。以上の研究結果を踏まえて、GTAW、FSW および GTAW-FSW の耐食性試験を実施した結果、GTAW-FSW の試験片は他の試験片を上回る高い耐食性を示した。また、GTAW-FSW は FSW の前方で GTAW が入熱を補助する効果を持つことから、従来の FSW よりも高速での接合に好適であることを確認した。鉄鋼材の FSW および GTAW-FSW を実験により比較した結果、GTAW-FSW は FSW の約 2 倍の接合速度で無欠陥の接合を可能にすることが分かった。次にスーパー二相ステンレス鋼の FSW 接合部に発生する析出物に関して、EBSD、STEM (Scanning-Transmission-Electron-Microscope)、および TEM (Transmission-Electron-Microscope) を用いて接合部を分析し、その析出挙動を調査した。FSW で最も高温となる箇所の接合温度は融点の約 8 割の 1100°C 程度である。スーパー二相ステンレス鋼は多種の析出物が確認されており、特に  $\sigma$  相は 800°C~1000°C の温度領域で長時間の熱処理を行った際に、体積率が最大 40% 程度となる析出物を形成することが知られている。本研究では FSW の接合速度を遅くして析出しやすい条件で接合し、その接合部を観察することで金属間化合物の析出挙動を確認した。接合速度  $v$  が 1.7 mm/s の際には析出物が確認されなかったのに対し、 $v = 0.42$  mm/s とした場合に接合部近傍の熱影響部において  $\sigma$  相が析出することが確認された。また接合部の内部において別の析出物が確認された。微細組織観察の結果、 $\gamma$  相が局部的に集合体を形成し、その粒界に  $\text{Cr}_2\text{N}$  と  $\chi$  相とが析出していることが分かった。拡散が早い結晶粒界において  $\text{Cr}_2\text{N}$  が析出し、Cr と窒素の欠乏が起きることで二次  $\gamma$  相と  $\chi$  相とが生成するメカニズムが考えられる。

本研究により、スーパー二相ステンレス鋼は窒素添加を図った GTAW-FSW により高品質の接合部を得ることができ、また接合速度の低下が特性悪化の析出物を形成する原因になりえることが分かった。