



|              |  |
|--------------|--|
| Title        | オーステナイト系ステンレス鋼薄板の高速摩擦攪拌接合の開発とその継手特性評価  |
| Author(s)    | 石川, 武  |
| Citation     | 大阪大学, 2009, 博士論文   |
| Version Type |  |
| URL          | <a href="https://hdl.handle.net/11094/57535">https://hdl.handle.net/11094/57535</a>  |
| rights       |  |
| Note         | 著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、<a href=" <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed</a> ">大阪大学の博士論文について</a>をご参照ください。 |

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

|               |                                       |   |
|---------------|---------------------------------------|---|
| 氏 名           | 石 川                                   | 武 |
| 博士の専攻分野の名称    | 博士(工学)                                |   |
| 学 位 記 番 号     | 第 23364 号                             |   |
| 学 位 授 与 年 月 日 | 平成21年9月25日                            |   |
| 学 位 授 与 の 要 件 | 学位規則第4条第1項該当                          |   |
|               | 工学研究科マテリアル生産科学専攻                      |   |
| 学 位 論 文 名     | オーステナイト系ステンレス鋼薄板の高速摩擦攪拌接合の開発とその継手特性評価 |   |
| 論 文 審 査 委 員   | (主査)<br>准教授 藤井 英俊                     |   |
|               | (副査)<br>教 授 荒木 秀樹 教 授 中田 一博           |   |

### 論文内容の要旨

オーステナイト系ステンレス鋼の摩擦攪拌接合において、高品質の接合部を得るための接合方法の開発および問題点の解決に取り組み検討した。本論文は以下に示す8つの章で構成されている。

第1章では、オーステナイト系ステンレス鋼の摩擦攪拌接合法の特長や問題点を明確にし、実用化へ向けた技術の開発を目的としたことについて述べた。

第2章では、摩擦攪拌接合の原理や特徴を示し、最も一般的なオーステナイト系ステンレス鋼であるSUS304および鉄道車両用に開発されて調質により高強度化したSUS301L-1/4Hを摩擦攪拌接合する場合には、SUS301L-1/4Hの高温強度の高さが塑性流動のしにくさを引き起こし、技術開発において大きな課題となることを考察した。

第3章では、ステンレス鋼の摩擦攪拌接合には大きな荷重に耐えられる剛性の高い接合装置や接合ツールを冷やすための冷却機構、接合ツールおよび被接合材料の酸化防止機能が重要であり、その開発について述べた。接合ツールは、窒化珪素製とし、形状および寸法を最善なものとした。

第4章では、SUS304およびSUS301L-1/4Hの摩擦攪拌接合を回転速度600rpmでおこなった結果について示した。SUS304は、半自動アーク溶接と同等の400mm/minの速度で接合可能であり、母材と同等の接合強度が得られた。SUS301L-1/4Hは、120~180mm/minの接合速度範囲で母材と同等の接合強度が得られた。SUS301L-1/4HはSUS304よりも、良好な継手強度を得られる適正接合条件範囲が狭かった。

第5章では、安定した継手強度を得ることを目的として、裏当て板に高温での熱伝導率が小さく高強度な窒化珪素を用いて接合をおこない、SUS304の摩擦攪拌接合が60~1150mm/minで可能となったことを示した。この速度範囲で接合した継手は欠陥が無く十分な延性を有し、継手効率は100%を得ることができた。SUS301L-1/4Hの摩擦攪拌接合は60~720mm/minで可能であり、これらの継手は欠陥が無く十分な延性を有し、継手効率は95%を超えた。

第6章では、SUS304およびSUS301L-1/4Hを用いて摩擦攪拌接合した継手の耐腐食性に及ぼす接合速度の影響を調査した。攪拌部断面には腐食しやすい帯状の層が生成し、接合速度が大きくなるほど帯状の層の形成面積は減少した。SUS304およびSUS301L-1/4Hは、1000hの塩水噴霧試験結果から接合速度が小さいほど発錆しやすかった。腐食の要因は攪拌部の銳敏化率の上昇で、接合速度が小さい場合は大きい場合の約3倍粒界腐食感受性が高くなつた。しかし、従来より大幅に耐腐食性は改善されており、Cr化合物や $\sigma$ 相は確認できなかつた。

第7章では、接合法の高効率化を目的として実験をおこなった。ショルダ径を減少させ元のショルダ径と同一の面圧で接合すれば接合荷重を減少させることができ、接合ツールの回転トルク軽減で主軸モータは約60%，送り軸モータは約45%の電力負荷低減が可能であり、エネルギー効率が上昇した。接合ツールのショルダ径を4/5に小さくすることにより、同じ接合荷重で接合速度を2.5倍に向上させることができた。

第8章では、本研究から得られた知見を取りまとめて総括した。本研究は工業的に利用される将来性と周辺技術が応用される発展性があり、その利点を活かして製品適用をおこなっていけることがわかった。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、オーステナイト系ステンレス鋼薄板の高速摩擦攪拌接合法の開発をおこない、その特長や問題点を明確にし、実用化へ向けた技術の展開を目的としている。これまで困難とされた摩擦攪拌接合法の開発・改良をおこなうとともに、得られたステンレス鋼薄板継手の微細組織および機械的特性の評価をおこない、その結果、以下の成果を得ている。

1. SUS304 および SUS301L-1/4H の摩擦攪拌接合が可能であることを機械的特性により検証している。SUS304 は、半自動アーク溶接と同等の速度で接合可能であり、母材と同等の接合強度が得られる。また、SUS301L-1/4H は、SUS304 よりも狭い適正接合条件範囲ではあるが、母材と同等の接合強度が得られている。SUS301L-1/4H の適正接合条件範囲が狭い理由は、接合温度における高温耐力が高いためと説明している。
  2. 裏当て板に高温での熱伝導率が小さく高強度な窒化珪素を用いて接合をおこなった。SUS304 の摩擦攪拌接合が 1000mm/min 以上で可能となり、安定して母材と同等以上の継手強度が得られることを示している。同様に、SUS301L-1/4H の摩擦攪拌接合が 720mm/min まで可能になり、継手効率は安定して 95% を超えることが示されている。
  3. SUS304 および SUS301L-1/4H を用いて摩擦攪拌接合した継手の耐腐食性に及ぼす接合速度の影響を調査している。1000h の塩水噴霧試験結果から接合速度が小さいほど発錆しやすく、腐食の要因が攪拌部の鋭敏化率の上昇にあるとしている。接合速度が小さい場合は大きい場合の約 3 倍粒界腐食感受性が高くなつたが、TEM 等を用いた詳細な解析にもかかわらず、クロム炭化物やシグマ相などの粒界腐食を特定する化合物は観察されなかつたため、その量は存在してもごく微量であると結論づけられている。一方、攪拌部に腐食しやすい帯状の層が生成することを突きとめ、その帯状の層は接合速度が大きくなるほど形成面積は減少することから、高速度接合が耐腐食性の向上に有効であることが示されている。
  4. SUS304 を用いて接合効率の向上を検討している。ショルダ径を減少させて元のショルダ径と同一の面圧で接合すると接合荷重を減少させることができる。そのため、接合ツールの回転トルク軽減で各軸の電力負荷を低減し、エネルギー効率を上げることが可能である。接合ツールのショルダ径を 4/5 に小さくすることにより、同じ荷重で接合速度を 2.5 倍に向上させることができるとしている。
- 以上のように、本論文はこれまで困難であると考えられていたステンレス鋼の摩擦攪拌接合に成功し、かつ高品質な継手が得られる接合法を金属学的な視点から開発したものである。そこで発生した問題点の解決法も示され、今後の工業生産分野で使用される将来性と周辺技術が応用される発展性が期待できる技術である。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。