

[機] ○橋本 健司 (J-TREC)

[機] 石川 武 (J-TREC)

[機] 河田 直樹 (J-TREC)

藤井 英俊 (阪大接合研)

Expanding use of friction stir welding in railway vehicle manufacture

Kenji HASHIMOTO, Naoki KAWADA, Takeshi ISHIKAWA, Japan Transport Engineering Company

Hidetoshi FUJII, Joining and Welding Research Institute, Osaka University

With expansion of the Shinkansen network, improvement in reliability is required for railway vehicles for safe transport. In railway vehicle manufacture, the joining technology is significant for manufacturing railway car bodies with high quality joints. The friction stir welding process provides fewer defect joints, because welding is accomplished in the solid-state. We applied this welding process to 6 and 3 mm thick A7N01-T5 extruded alloys used in the construction of the vehicle's underframe. The microstructure and the mechanical properties of the joints were investigated. As a result of tensile testing, the ultimate tensile strength of 6mm thick plate was 389MPa, which is greater than that of MIG welded joints.

Keywords : railway vehicle manufacture, friction stir welding, aluminum alloy, A7N01-T5 alloy

1. 緒言

新幹線ネットワークの拡大に伴い、鉄道車両が高速化・走行距離延伸すると、車両構体にも更なる信頼性の向上が求められる。構体を製造する上で、車両構造部材同士を接合する技術は重要なキーテクノロジーとなる。接合技術として、機械的締結や溶融溶接、固相接合があるが、構体製造における主構造部材同士の接合には比較的安価で連続溶接が可能な MIG 溶接が多く用いられる。一方で、近年注目を集めている固相接合法として摩擦攪拌接合(Friction Stir Welding : FSW)がある。FSW は材料を溶かさず接合法であり、材料攪拌時に空気を巻き込まないためブローホール等の内部欠陥発生を抑制でき、また発生する歪が小さいという利点がある。したがって、健全な接合継手を作製するうえで、FSW は有用な接合法である。本稿では、新幹線ネットワーク拡大を見据え、高速車両構体の信頼性向上に関して取り組んだ結果を報告する。

2. 高速車両構体における台枠への FSW 適用

高速車両などの Al 合金製車両構体には、主に 6000 系合金の A6N01 合金 (Al-Mg-Si) と、7000 系合金の A7N01 合金 (Al-Zn-Mg) が用いられている。A6N01 合金は押出性に優れ、Al 合金の中で中程度の強度を有するため、屋根および側構体に中空押出型材が適用されている。一方、A7N01 合金は高強度であり、かつ溶接部の強度が常温放置により母材強度近くまで回復するので、信頼性が求められる台枠に中厚板が用いられている。

鉄道車両分野における FSW は、これまでに塑性流動性が良く、比較的 FSW し易い A6N01 合金に対して適用されてきた。しかしながら、高温における変形抵抗が高く、塑性流動性が A6N01 合金よりも劣る A7N01 合金に対しては、中厚板が使用されていることもあり、FSW の適用は困難とされてきた。

本稿では、接合部の信頼性向上を目指して、鉄道車両台枠の構成材料である A7N01 合金への FSW 適用を検討した。

3. A7N01 合金への FSW 適用検討

3.1 接合試験概要

一般的に、板厚が増加するに従い接合時のツールへの負荷が高くなる。また、ツールに板厚上下方向への高い攪拌力も要求され、FSW の適用は難しくなる。そのため本試験の供試材は、基礎検討用として板厚 3mm、実用化検討用として実際の台枠に使用される板厚 6mm の A7N01-T5 合金押出板材とした。接合方向は押出方向と水平方向とした。接合に用いたツールと裏当て板の材質・寸法と、接合条件を Table 1 に示す。Al 合金の接合には、一般に鉄鋼材料製のツールと裏当て板が用いられる。本試験では、鉄鋼材料よりも、耐久性と蓄熱性に優れた窒化ケイ素セラミックスをツールと裏当て板の材質として採用し、接合をおこなった。

3.2 評価方法

継手の内部欠陥の有無を調査するために断面組織観察、機械的特性を把握するために引張試験をおこなった。断面組織は、接合方向と垂直な面を観察面として、光学顕微鏡で観察をおこなった。腐食液には、ケラー氏液 (塩酸 20 ml + 硝酸 20 ml + フッ酸 5 ml + 蒸留水 20 ml) を用いた。また、引張試験は接合後、室温・大気中で 1 ヶ月の自然時効を施した継手に対して実施した。引張試験片形状は、接合方向と垂直方向に切り出した JIS Z 3121 1A 号試験片とした。

Table 1 Welding conditions.

Material	Tool			Back plate	Welding parameters		
Thickness (mm)	Material	Shoulder diameter (mm)	Probe length (mm)	Material	Tool tilt (°)	Rotation speed (rpm)	Welding speed (mm/min)
3	Si ₃ N ₄	12	3	Si ₃ N ₄	3	1500	500
6		16	5.8			600	150

4. 結果

4.1 基礎検討(板厚 3mm)

Fig.1 に板厚 3mm の板材に対してツール回転数 1500rpm、接合速度 500mm/min の条件で作製した継手のビード外観写真と断面マクロ組織を示す。(a)に示すビード外観からわかるように、ビードには等間隔のリップル模様が観察され、バリの排出も少なく、表面に欠陥がない良好な外観の継手を得られた。また、(b)に断面マクロ組織を示すが、継手内部に欠陥は観察されなかった。引張試験の結果、母材の引張強さ 416MPa に対して、継手は 376MPa であり、この結果から継手効率 [継手強度/母材強度×100 (%)]を算出すると 90%であった。

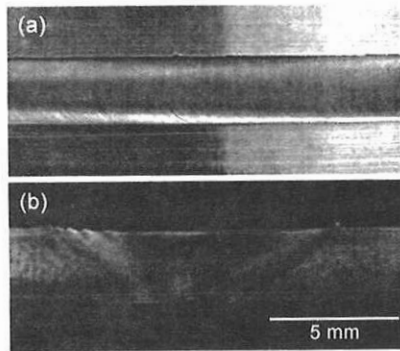


Fig.1 Optical micrograph of 3mm thick joint welded at a rotation speed of 1500rpm and welding speed of 500mm/min : (a) surface appearance and (b) cross-sections perpendicular to the welding direction.

4.2 実用化検討(板厚 6mm)

Fig.2 に板厚 6mm の板材に対してツール回転数 600rpm、接合速度 150mm/min の条件で作製した継手の(a)ビード外観写真と(b)断面マクロ組織を示す。板厚 3mm の場合と同様に、表面および内部に欠陥がない良好な継手を得られた。Fig.3 に母材(BM)と作製した継手の機械的特性を示す。母材の耐力、引張強さ、伸びはそれぞれ 382MPa、428MPa、16%であったのに対し、継手では 263MPa、389MPa、9%であった。MIG溶接継手の耐力と引張強さはそれぞれ 241MPa、333MPa⁽¹⁾であるので、本試験で得られたFSW継手はMIG溶接継手よりも高い引張特性を有している。また、継手効率は 91%であり、引張試験片の破断位置は、攪拌部ではなく熱影響部と母材の境界であった。この破断位置は、硬さ試験結果の軟化位置と対応しており、この結果からも内部欠陥がない、健全な継手を得られたことがわかった。

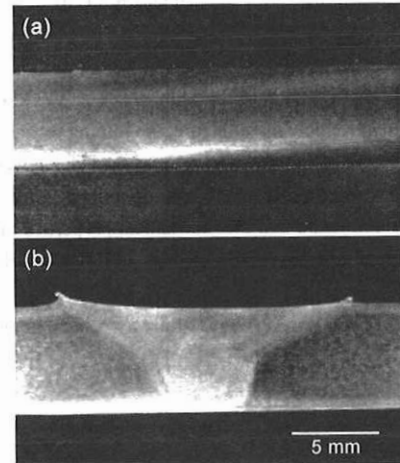


Fig.2 Optical micrograph of 6mm thick joint welded at a rotation speed of 600rpm and welding speed of 150mm/min : (a) surface appearance and (b) cross-sections perpendicular to the welding direction.

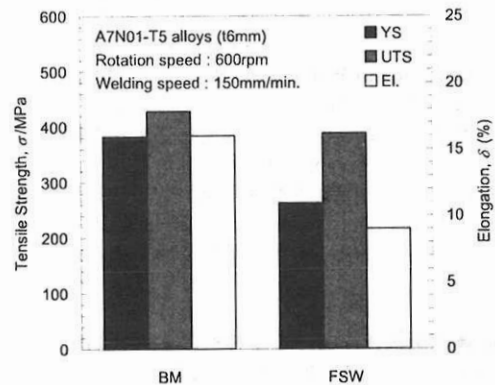


Fig.3 Mechanical properties of 6mm thick joint welded at a rotation speed of 600rpm and welding speed of 150mm/min.

5. まとめ

基礎検討として板厚 3mm、実用化検討として 6mm の A7N01-T5 合金押出板材の FSW を実施した。その結果、両板厚の板材に対して内部欠陥がない良好な FSW 継手を得ることができた。今後、生産性を考慮し接合速度の向上に取り組み、実用化に向けて継手の疲労試験および台枠への FSW 適用部位の詳細検討をおこなう。

参考文献

- 1) 溶接・接合便覧, 溶接学会編, pp.1011