

3209 超々ジュラルミン 7075 のナノ組織化による 高強度化と特性改善

非 [機] ○森 久史 (鉄道総研) 正 [機] 辻村 太郎 (鉄道総研)
正 [機] 石塚 弘道 (鉄道総研)

Improvement of strength and properties of ultra super duralumin 7075 by nanostructural control

Hisashi MORI, Railway Technical Research Institute 2-8-38, Hikari-cho, Kokubunji City
Taro TSUJIMURA, Railway Technical Research Institute
Hiromichi ISHIDUKA, Railway Technical Research Institute

Improvement of strength, restraining of sensitivity on stress corrosion cracking, and joining by the Friction Stir Welding of 7075 alloys was examined by the nano control of microstructure in this study. As a result, it was found that those performances were influenced by size and condition of dispersion of precipitates of microstructure and were increased with finely and uniform precipitation.

Keywords : Aluminium alloy , nano scale, microstructure, strength, stress corrosion, Friction Stir welding

1. はじめに

新幹線電車の車両構体の軽量化を目的として、構体の使用材料が高張力鋼からアルミニウム合金に置き換えられてきた。今後、新幹線電車のさらなる省エネルギー化を考える上で、アルミニウム合金製車両構体のより一層の軽量化が求められる。アルミニウム合金製車両構体の中で、台枠は高い強度が求められる部材であり、現行では中強度の 7N01 合金の厚肉材が適用されている。そこで、さらなる軽量化には、台枠部材の高強度薄肉化が考えられる。しかし、7000 系合金では、強度が増すとともに応力腐食割れ感受性が高くなる。また、7000 系合金は、熱影響への感受性が高いためアーク溶接のみならず摩擦攪拌接合 (FSW) も困難であるとされている。

そこで本研究では、7000 系のアルミニウム合金の中でも強度の高い超々ジュラルミン 7075 合金にナノ組織制御を行った材料を用い、強度及び応力腐食割れ感受性を調べた。また、FSW 法により接合して、接合部の欠陥の発生及び硬さについて調べた。

2. 実験方法

2.1 金属組織のナノ組織化及び金属組織の観察

本試験では、7000 系合金として、Table 1 に示すような化学成分の 7075 合金を用いた。材料は精密鑄造法によって作成した鑄造まま材に、熱処理として溶体化処理を 743 K×1h、時効処理を 673 K×8h 行い、圧延を熱間で加えた。圧延温度は 373 K であり、圧下率を 96% として与えた。その後、一部の材料については 473K あるいは 573K で再結晶処理を行った。

Table 1 Chemical composition of test specimen (wt%)

Si	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn	Al
0.10	2.60	0.26	1.60	5.75	0.30	bal

金属組織の観察は、処理材を精密切断機で切り出した後に研磨と腐食処理を行ってレーザ顕微鏡を用いて行った。また、析出物の状態を調べるために透過型電子顕微鏡 (TEM) による観察を行った。TEM の観察試料は、レーザ顕微鏡による金属組織観察片を用い、電解研磨及びツインジェット研磨機を用いて処理を行った。

2.2 引張試験

引張試験は油圧サーボ型引張試験機を用いて行った。試験片の形状及び寸法は JIS Z 2241 13B 試験片の相似則に準じ、機械加工によって作製した。形状は板状であり、寸法は平行部寸法の長さが 20mm、幅が 5mm、厚さが 0.6mm である。

2.3 応力腐食割れ性試験

応力腐食割れ性試験は、JIS H 8771 に従って行った。試験方法の概要を Fig 1 に示す。応力は、処理材から作成した板状試験片を 3 点支持の状態であらうて支持し、負荷を中心部のボルトの締付けで与えた。凸面の応力は、(1)式で算出した。

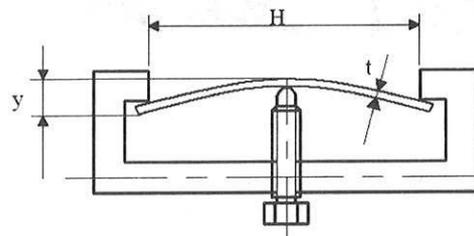


Fig.1 Schematic illustration of Stress corrosion cracking.

$$\sigma = 6Ety/H^2 \quad (1)$$

σ : 凸部の応力, E : 弾性率, t は板厚, y は撓みであり, H は支持間の長さである。

一方、腐食は、負荷支持された試験の治具内に NaCl (2.5mass%) と $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}$ (0.55mass%) の混合液を加えて与えた。試験は、負荷応力を 0~5000MPa として 20 日間連続保持して行った。浸漬後は、光学顕微鏡を用いて、試験片の凸部の腐食の有無を調べた。また、浸漬材について引張試験を行い、試験片の破面の観察を走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いて行った。

2.4 摩擦攪拌接合による接合と接合部の調査

摩擦攪拌接合では、セラミック接合ツールを用いて行った。ツールの形状はショルダ径が 12 mm、プローブ径が 6 mm、プローブ長さが 3 mm である。接合条件は、ツールの挿入角度を接合面に対して 3° の傾斜を与え、ツール回転数は 1000 rpm、接合速度 500・1500 mm/min、接合長 150 mm とした。接合は、板材の長手方向に対して行った。接合後に、接合部の外観観察と接合断面の金属組織を観察した。また、接合部の断面についてマイクロピッカース硬さ計を用いて硬さ試験を行った。

3. 実験結果及び考察

Fig.2 に圧延後、再結晶処理した材料の析出物の状態を TEM で観察した結果を示す。Fig.2(a) は未再結晶領域である 473K で加熱保持した試験片、Fig.2(b) は完全再結晶領域温度である 573K で加熱保持した試験片である。図から、析出物の寸法と形状が異なることが分かる。このような析出物の違いは強度の他、様々な機械的性質に影響を及ぼすことが知られている。Table3 に 7075 合金の一般的な処理材と本研究で試験した再結晶処理を行った素材の引張試験結果を示す。析出物を棒状と粒状の混合相微細化すると、強度は増加するが伸びは低下した。しかし、析出物をより微細に分散することで強度と伸びが共に向上することがわかった。

次に、一般的な時効処理材と 573K で再結晶処理した素材に対して、応力腐食割れ試験を行った。表面状態を観察した結果を Fig.3 に示す。

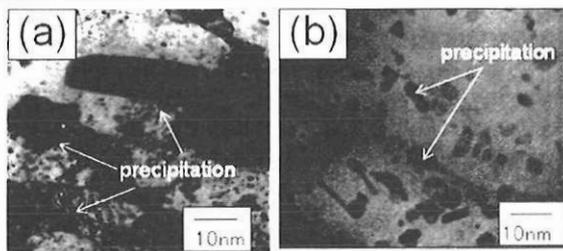


Fig.2 Results of observation of microstructure by TEM after recrystallization treatment., (a)473K, (b)573K, respectively.

Table 2 Tensile properties of specimen

Specimen	0.2% proof stress (MPa)	Tensile fracture stress(MPa)	Elongation (%)
7075(reference)	480	550	13
Recrystarization (473K)	515	570	7
Recrystarization (573K)	550	630	15

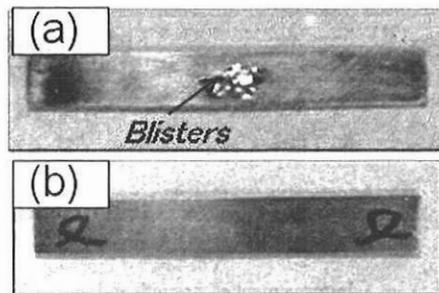


Fig.3 Surface condition after stress corrosion cracking test, (a) 7075 alloy normal treatment, (b) recrystarization treatment on 573K.

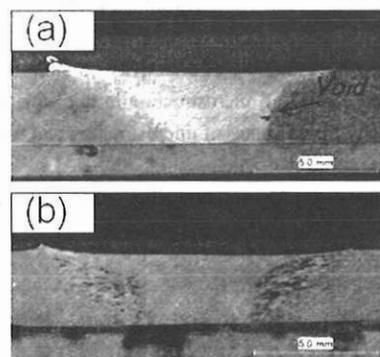


Fig.4 Cross section area of welding parts on specimen treated at (a)473K and (b)573K.

一般の処理材では、Fig.3(a) に示すように表面の中心に膨れが認められ、応力腐食割れの発生が認められた。473K 及び 573K で再結晶処理した素材には特に異常は認められなかった。

次に、FSW による接合について検討した。Fig.4 に 473K 及び 573K で処理した素材に FSW 法で接合して、接合断面を観察した結果を示す。473K 処理材では界面部に欠陥の発生が認められ、接合の速度を 1000mm/min 以上で行った際、接合層内に流動不良が認められた。一方、573K 処理材では、473K 処理材に比べて欠陥の発生はなく、良好な接合断面が認められた。また、硬さを測定した結果、硬さは接合部で硬化を示していた。一般的な 7075 合金の FSW での接合材の断面硬さは、微細析出物が再固溶するために軟化するが、本研究では硬化が認められた。このことから、ナノ制御とその後の再結晶処理によって、応力腐食割れ感受性を低減して強度を向上し、良好な接合を可能にすることができることを提示できたと考えられる。

4. おわりに

本研究では、7075 合金の応力腐食割れ感受性を抑制しながら強度を向上し、さらに FSW による接合が行いやすい方法について、金属組織のナノ制御で行う観点から検討した。その結果、加工熱処理により析出物を均等に細かく分散し、その後の完全再結晶温度域で加工歪を除去し、安定的な金属組織の状態に回復させることが望ましいと考えられる。このような熱処理方法で 7075 合金の応力腐食割れ感受性を低減して強度を向上し、良好な接合を可能にすることが提示できたと考えられる。