摩擦攪拌接合法による 5052 アルミニウム合金継手の高温機械的特性

金子 純一 (機械工学科)

1. 緒言

摩擦攪拌接合(Friction Stir Welding: FSW)は、従来の溶融 溶接にはない様々な利点を有するため、すでに鉄道車両や船 舶などの構造物への実用化が始まっている.その適用範囲の 拡大に伴い、FSW 継手の高温での機械的特性についての知見 が必要となることが予測されるが、その研究報告例は極めて 少ない.

本研究では 5052 アルミニウム合金 FSW 継手の高温機械的 特性を引張試験およびクリープ試験により評価し,母材の結 果と比較検討した.

2. 実験方法

供試材は厚さ 20mm の A5052-O 圧延板材である. FSW は 圧延方向と平行に約 1200mm にわたり突合せ接合した. ツー ル形状はプローブ径 ϕ 10/ ϕ 8, プローブ長さ 19.5mm, ショル ダー径 ϕ 23 で,接合条件はツール回転数 400rpm,接合速度 100m/min,前進角 4°である. FSW 後の接合部を X 線透過 検査したが,接合欠陥は認められなかった.

接合部横断面について、マクロ組織観察およびマイクロビ ッカース硬さ分布測定を行った.腐食液にはケラー氏液を用 いた.硬さ試験は室温にて行い、試験荷重 0.1N,保持時間 15 sとし、板厚の距離別に板幅方向に 0.5mm 間隔で測定した.

引張試験には、標点距離25mm,平行部直径5mmの丸棒試 験片を使用した.試験温度は、室温、623K、723Kで、引張 速度を0.1mm/min、1mm/minと変化させた.試験温度到達 後5minの保持時間をおいて試験を開始した.

クリープ試験には Fig.1 に示す試験片を使用した. 試験温度 573K~723Kの4条件,負荷応力9.36MPa~31.22MPaの4 条件の組合せで計10条件の試験を行った. なお試験機は一定 荷重方式であり,試験温度到達後20hの保持時間をおいて荷 重を負荷した.



Fig.1 Size and dimension of creep test specimens.

3. 実験結果

3.1 継手のマクロ組織と硬さ分布

Fig.2 に接合部横断面のマクロ組織を示す. 接合上面に発生 したバリは除去した. 一般に 5000 系合金は流動性が悪いと言 われており,本供試材でも攪拌領域はプローブ形状とほぼ一 致していた. その両外側には塑性変形を受けた熱-機械的影響 部が,接合上部にはオニオンリングが確認された. 攪拌界面 は RS 側(Retreating side) よりも AS 側(Advancing side) で明瞭であった.

Fig.3 に硬さ試験結果を示す. 板厚方向の距離による硬さの 違いはなかった. 接合部において硬さの上昇はほとんど見ら れなかった. 熱影響部においても O 材であるため軟化現象は 現れていない. そのため継手全体にわたって硬さの変化はな く, 母材とほぼ同等の硬さ分布を示した.



Fig.2 Macrostructure of FSW joint.



Fig.3 Hardness distributions of the FSW joint.

3.2 引張試験

FSW 継手は高温では試験温度 623K, 引張速度 1mm/min の条件を除き接合部破断であった.しかし,その破断位置, 破断形態は大きく二つに分かれ,一つは RS 側でくびれを伴わ ずに破断するもの,もう一つは AS 側でくびれ破断するもので ある.大多数は前者であった.両者とも塑性変形域に達して からの破断である.後述するクリープ試験結果についても同 様の傾向が見られた. Fig.4 に各試験温度における引張強さ を示す.全ての条件で母材と FSW 継手で引張強さに差はほと んどなく 100%に近い継手効率である.また,高温域ではひず み速度依存性が明瞭に現れた.



at various temperatures.

3.3 クリープ試験

FSW 継手は全ての試験条件で接合部で破断した. 一例と して Fig.5 に 673K-9.36MPa における母材と FSW 継手のク リープ曲線を示す. FSW 継手は破断位置の異なった二本を示 した. 図より FSW 継手は母材に比べ破断までの時間が著しく 短いことが明らかである. これは接合部が優先的にクリープ 変形を起こしているためで,母材よりもクリープ強度に劣る ことを示している.破断位置の異なる2種類の FSW 継手は破 断伸びに違いはあるがクリープ曲線はほぼ同じ軌跡を描いて おり,定常クリープ変形に差異がないことがわかった.



Fig.5 Creep curves of base metal and FSW joint at 673K under 9.36MPa.



性を示す. 試験温度が低いほど,また負荷応力が高いほど低い勾配を示している. すべての試験条件で母材よりも FSW 継手の定常クリープ速度が速いが,負荷応力の増加に伴いその差は小さくなる傾向が見られた.

Fig.7 に Larson-Miller 法により負荷応力と破断時間の関係 を表したものを示す.図より,母材と FSW 継手に明瞭な差が 現れており,FSW 継手の破断時間が短くなっていることがわ かる.この傾向は定常クリープ速度の変化に対応している.





4. 結言

- (1) 高温域において FSW 継手は引張, クリープ両試験にお いて接合部で破断し, RS 側でのくびれを伴わない破断 と AS 側でのくびれ破断の2種類が起こり得た. 大多 数は前者であった.
- (2) FSW 継手の引張強さは、各試験温度で母材とほぼ同等 であり 100%に近い継手効率を示した。
- (3) FSW 継手は、クリープ試験において全ての条件で母材 よりも定常クリープ速度が速く、クリープ破断時間が 短い. つまりクリープ強度に劣る.