日大生産工(院) 高橋 正詞 日大生産工 加藤 数良 時末 光

1.緒 言

摩擦撹拌接合は輸送用機器や土木・建築 用構造物などに実用化され適用例や研究報 告も増加傾向にある¹⁾.研究報告の多くは 比較的接合が容易な5000系,6000系アルミ ニウム合金,航空機用材料として用いられ る7000系アルミニウム合金を用いた継手の 組織や機械的性質に関するものであり,70 00系アルミニウム合金のように応力腐食な どがなく高強度の2000系アルミニウム合金 に関する報告は少ないのが現状である.ま た, 構造物として使用するためには静的重 要であるが, 摩擦撹拌接合継手の疲労強度 に関する研究は少ないのが現状である.

本研究では、2000系アルミニウム合金と して使用量も多い2017アルミニウム合金を 用いた摩擦撹拌接合において、回転工具形 状および接合条件が継手の機械的性質、特 に疲労強度に及ぼす影響ついて検討した。

2.供試材および実験方法

供試材には,2017-T3アルミニウム合金 板(板厚5mm,引張強さ:374MPa,伸び: 12.0%,硬さ:115.8HV0.1)を幅50mm,長 さ400mmに機械加工したものを用いた.

実験には,FN- 型摩擦撹拌接合機を使 用し,接合面は機械加工のままで脱脂およ

Ta	ble	1	Friction	stir	welding	conditions
----	-----	---	----------	------	---------	------------

Rotational speed	Ν	(rpm)	1610
Welding speed	V	(mm/s)	5 ~ 15
Tilt angle	θ	(deg.)	3.0
Preheating time	t	(s)	30



Fig.1 Shapes and dimensions of tool.







test specimen.

Fatigue Strength of Friction Stir Welded 2017 Aluminum Alloy Joints

Masashi TAKAHASHI, Kazuyoshi KATOH and Hiroshi TOKISUE



Fig.4 Macrostructures of joint.

び酸化膜除去等の前処理を一切行わないで, ルート間隙なしの I 型突合せ接合とした.

接合はプローブを素材中へ完全に挿入後, Table 1に示す条件によった.回転工具は Fig.1に示す形状の炭素工具鋼(SK105) 製とし,回転方向は時計回りとした.

得られた継手の組織観察,硬さ試験,接 合部をゲージ部中央とした JIS 7号試験片 および継手各部の引張強さを検討するため に Fig.2に示した位置に深さ1mmの V ノッ チを付した切欠試験片による引張試験をい ずれも室温で行った.

疲労試験は接合部をゲージ部中央とした Fig.3に示す寸法形状の試験片による平面曲 げ疲労試験(周波数20Hz)とし,10⁷回に耐 え得る応力を疲労限として求めた.

3.実験結果および考察

図は示さないが,継手外観には使用した 回転工具の形状による相違は認められなか った.両継手ともに全条件で Advancing side (AS)にばりの発生が認められ,接合速 度の増加に伴いばりは小さくなった.また, ばりは Left screw に比較して Cone-R が小 さかった.

Fig.4に接合部横断面の巨視的組織を示 す.Left Screw によった継手は撹拌部 (Stirred zone:SZ)にオニオンリングが認 められ,接合速度の増加に伴いオニオンリ ングの撹拌部内に占める割合が大きくなっ た.撹拌部の周辺にはボール状の熱影響部 が観察され,熱影響部は接合速度の増加に 伴い狭くなった.このことは,接合速度が 速くなると発熱量が少なくなるためである と考える.Cone-Rを用いた継手の撹拌部は プローブ形状に類似した形状となり,Left Screw と同様にボール状の熱影響部が観察





(b) Boundary of SZ and HAZ of AS $100 \,\mu$ m

Fig.5 Microstructures of joint. (V=15mm/s)



された . Cone-R の熱影響範囲は接合速度の 大小による差はLeft screwに比較して小さ かった . このことは , Cone-R は Left screw に比較して撹拌力が小さく接合速度の影響 を受けにくいことによるものと考える.

Fig.5に微視的組織を示す.両継手ともに SZ 中央では母材部に比較して微細な組織 を示した.Left screw において SZ と HAZ の境界部近傍の HAZ 側は撹拌の影響を受け て接合表面方向の塑性流動が認められた. Cone-R では熱影響部の塑性流動はほとん ど認められなかった.また,図には示さな いが,両継手ともに RS 側では SZ と HAZ の 境界部は明瞭には観察されなかった.

Fig.6に継手横断面板厚中央部の硬さ分 布を示す.継手各部は接合後の自然時効に より硬さに変化が認められたので、図には 変化が認められなくなった接合後14日間経 過後の測定結果を示した.硬さ分布にはプ ローブ形状の違いによる明瞭な差異は観察 されなかった. 接合条件に関係なく SZ の硬 さは母材部に比較して低い値を示した.接 合速度の速い条件で SZ の硬さはわずかで はあるが低い値を示した.また,SZの両側 に最軟化部が認められ,最軟化部の硬さに は AS 側と RS 側の差はほとんどなく, 接合 部中心から最軟化部までの距離は接合速度 の増加に伴い短くなった.最軟化部と SZ 中央部の硬さの差は接合速度の速くなるの に伴い小さくなった.

平滑試験片による継手の引張試験結果 をFig.7に示す.平滑試験片では接合速度が 同一ならば,工具形状による引張強さおよ び伸びの差はほとんど認められなかった. 継手の引張強さは接合速度の増加に伴い向 上し,接合速度 V=15mm/s では母材の約70% の継手効率が得られた.伸びは接合速度の 大小による差は小さく,母材の伸びに比較 して低下した.継手の破断は引張試験後の 試験片外観を Fig.8に示すように,全条件で AS 側および RS 側いずれかの最軟化部に相 当する部分であり,熱影響部と母材の境界 部に沿って破断した.

Fig.9に切欠試験片による引張試験結果 を示す.Left screw によった継手の撹拌 部中央は接合速度の大小に関係なく引張強 さは一定値を示し,母材(334MPa)の約80% の継手効率が得られた.Cone-Rによった継 手は撹拌部中央の引張強さは接合速度の増





Fig.9 Results of tensile test with notched specimen.

加に伴い僅かではあるが向上する傾向を示したが,最高値を示した接合速度 V=15mm/s においても母材の約78%の値であった.熱影 響部の引張強さは工具形状に関係なく,AS 側,RS 側ともに同程度の値を示し,接合速 度の増加に伴い向上する傾向にあった.ま た,熱影響部の引張強さには工具形状の違 いによる差は小さく,接合速度が速い条件 では Cone-R が僅かではあるが高い引張強 さを示した.

Fig.10 に疲労試験結果を示す.継手の疲 労強度は全継手で母材より低下した.疲労 限は工具形状による違いは認められず同一 の値を示し,引張強さの低かった接合速度 V=5mm/sがV=15mm/sに比較して僅かではあ るが高い値を示し,母材の約65%であった. 時間強度は接合速度 V=5mm/s では工具形状 による明瞭な差異は認められなかったが、 =15mm/sの時間強度は V=5mm/s に比較して 低く, Left screw に比べて Cone-R が低い 値を示した.これらのことは,前述したよ うに撹拌部の組織の違いによるものである. Left screw は撹拌部に同心楕円状のオニ オンリングが存在するために, Cone-Rの撹 拌部の組織に比べて亀裂進展がしにくくな るためであると考える。また,接合速度が 速くなると Left screw ではオニオンリン グの間隔が狭くなるために時間強度が低下 したものと考える.

Fig.11 に疲労試験後の破断面を示す.全 試験片ともに繰り返し数が長くなるのに伴 い破断面は平滑になる傾向が認められた. 継手の破断面にははしご状の模様が認めら れた.この模様は繰り返し数が短いものに 明瞭に認められた.また Cone-R に比べ Left screw に明瞭に観察された.この模様は回 転工具による撹拌の影響によるものと考え られ,撹拌力の小さい Cone-R および母材に は観察されなかった.

参考文献

- 1)例えば,高井,西山,江角,石田,竹中, 松永:軽金属溶接,42(2005),66.
- 2)例えば,Alexander Goloborodko,Tsutomu Ito,Xiaoyong Yun,Yoshinobu Motohashi and Goroh Itoh:Materials Transactions, 45(2004),2503.







Fig.11 Macrostructures of fatigue test specimens.