摩擦攪拌接合における工具挿入速度が 7075 アルミニウム合金継手の機械的性質に及ぼす影響

日大生産工(院) O古市 英樹 日大生産工(院) 荒深 純一

日大生産工 加藤 数良

1. 緒 言

摩擦攪拌接合(Friction Stir Welding:FSW) は摩擦発熱および塑性流動を利用した固相接 合法の一種である.FSW は溶融溶接で発生しや すい気孔,凝固割れなどの欠陥が発生せず, 接合に要するエネルギー効率が高い.これら の利点から,発明されて以来多くの研究開発 が進められ航空・宇宙分野,鉄道車両,土木 構造物を中心として種々の産業分野で実用化 されている¹⁾.

FSW 時の単位接合距離当たりの入熱量は, 接合速度を工具回転数で除した回転ピッチ, すなわち1回転中に工具が移動する距離に依 存する. このことから, FSW 継手の機械的性質 は工具回転数および接合速度の組合せに影響 されることが知られており²⁾,これらのパラメ ータにより被接合材料の材質に適合した接合 条件範囲が選定される³⁾.しかしながら,FSW 時の初期条件となる工具挿入速度および予熱 時間が FSW 継手の強度などに及ぼす影響につ いては明確ではなく,研究報告が少ないのが 現状である.著者らは先に,5052 および 2024 アルミニウム合金板を用いて FSW を行い、継 手の機械的性質に及ぼす工具挿入速度および 予熱時間の影響について報告した^{4),5)}. その結 果, それぞれの材質において工具挿入速度お よび予熱時間の適正値が明らかとなった. そ こで,アルミニウム合金のなかで最も高強度の 7000 系合金についても工具挿入速度および予 熱時間の最適値を求めることは最適接合条件 の選定につながるものと考える.

本研究では 7075 アルミニウム合金板を用 いて FSW を行い, 撹拌部の組織および機械的 性質に及ぼす工具挿入速度および予熱時間の 影響について検討した.

2. 供試材および実験方法

供試材には板厚 5mm の 7075-T651 アルミニ ウム合金板を幅 50mm,長さ 200mm に機械加工 後,接合面を脱脂洗浄し実験に供した.供試 材の化学組成および機械的性質をそれぞれ Table 1, Table 2 に示す.実験には全自動摩 擦攪拌接合機を使用し,予備実験により選定 した Table 3 に示す条件を組合せ,ルート間 隙なしの I 型突合せ接合とした.回転工具は 合金工具鋼 (SKD61) 製とし,ショルダー径 20mm,ショルダー角 4°,プローブは M6,長 さ 4.5mm に機械加工したものを用いた.

Table 1 Chemical compositions of base metal.

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	AI
0.07	0.14	1.5	0.03	2.7	0.19	5.8	0.03	Bal.

Table 2 Mechanical properties of base metal.

Tensile strength	Elongation	Hardness	
(MPa)	(%)	(HV0.1)	
586	12.8	197	

Table 3 Friction stir welding conditions.

Rotational speed	Ν	(rpm)	1000
Welding speed	V	(mm/s)	3
Tilt angle	θ	(deg.)	3
Tool insert speed	Vt	(mm/s)	0.1 ~ 2
Preheating time	t	(s)	0.1 ~ 20

Effect of Tool Insert Speed in Friction Stir Welding on Mechanical Properties of 7075 Aluminum Alloy Joint Hideki FURUICHI, Junichi ARAFUKA and Kazuyoshi KATOH



Fig.1 Appearances of starting point of joint.

20mm



Fig.2 Macrostructures of starting point of joint.

得られた FSW 継手の外観, 巨視的および微 視的組織観察, 硬さ試験, 引張試験をいずれ も室温で行った.引張試験は接合部を平行部 中央とし,接合方向と垂直に JIS14B 号試験片 を採取し試験片とした.合わせて回転工具先 端部の温度測定を行った.

3. 実験結果および考察

Fig.1 に継手接合部始点部の外観を示す.工 具挿入速度が遅く,予熱時間が短い条件では 接合部表面に付着物が観察された.この付着 物は,素材の流動性が悪いため,ばりがショ ルダーに巻き込まれた状態となり,接合部に 残存したものと考える.工具挿入速度および 予熱時間の増加に伴い接合部表面は平滑とな り,FSW 継手特有の円弧状の模様が接合部表 面の始点から終端まで観察された.また,工 具挿入速度が遅く,予熱時間の短い条件では 始点部において繊維状の付着物が観察された. これは工具挿入時に,素材がショルダーに押 さえつけられることなく、切削屑となって外 部に排出されたものと考える.

Fig.2 に継手横断面巨視的組織を示す. 全条 件で撹拌部にはオニオンリングが観察され, 予熱時間の増加に伴ってオニオンリングの幅 は広くなる傾向を示した. また,工具挿入速 度が速い条件では予熱時間の増加に伴う撹拌 部の拡大は顕著となった. このことは工具挿 入速度が速くなるのに伴い,予熱時における 温度上昇が大きくなり,素材の流動性が良く なったためと考える. 巨視的には全条件で欠 陥は認められず,良好な継手が得られた.

Fig.3 に継手横断面微視的組織を示す.全条件で撹拌部は母材に比較して著しく微細な組織を示した.撹拌部外周の熱機械的影響部(Thermomechanically affected zone:TMAZ)では接合部表面への流動組織が認められた. TMAZの幅は予熱時間の減少に伴って狭くなる傾向を示し、工具挿入速度2mm/s、予熱時間0.1sの



Fig.3 Microstructures of starting point of joint.

条件では TMAZ は著しく狭くなった.このこと は、工具挿入速度が速く予熱時間が著しく短 いため、素材への入熱量が減少し、流動性が 悪くなったためと考える.また、工具挿入速 度が速く予熱時間が短い条件ではキッシング ボンドが観察されたが、予熱時間を増加させ ることでキッシングボンドは消滅した.

Fig.4 に継手横断面撹拌部中央部の微視的 組織を,Fig.5 にFig.4 に示した微視的組織よ りチンマー法によって平均結晶粒径を求めた 結果を示す.母材の平均結晶粒径は56 µmで あった.前述したように,撹拌部の組織は母 材に比較して著しく微細となり,工具挿入速 度の増加および予熱時間の減少に伴って撹拌 部中央部の結晶粒は微細化する傾向を示した. このことは,工具挿入速度の増加および予熱 時間の減少に伴い接合部始点部での入熱量が 減少し,動的再結晶による結晶粒の粗大化を 抑制したためと考える.

Fig.6 に接合後 30 日経過後の継手横断面板 厚中央部の硬さ分布を示す.予熱時間 20s の 条件ではショルダー径に相当する位置に軟化 が認められたが,予熱時間の減少および工具



Fig.4 Microstructures of center of stir zone.



挿入速度の増加に伴って軟化域の幅は狭くな る傾向を示した.また,全条件において撹拌 部に相当する範囲で軟化割合は著しく減少し た.このことは, 撹拌部では熱影響を受ける が,母材に比較して撹拌部の組織が微細とな ったことと,時効硬化により硬度が回復した ことが起因と考える.

Fig.7 に接合後 30 日経過後の引張試験結果 を示す.始点部の引張強さは工具挿入速度の 増加に伴い著しく向上し,工具挿入速度 2mm/s,予熱時間 0.1s の条件で最高値 492MPa を示し,母材の 84%の値であった.

図には示さないが,接合部始点部以降では 工具挿入速度および予熱時間の違いによる引 張強さの大小に明瞭な差はなかった.

Fig.8 に回転工具の温度履歴を示す.工具挿 入速度の増加に伴って昇温速度は著しく大き くなった.工具挿入速度が速く予熱時間が短 い条件では,接合開始時の温度は著しく低い が,予熱時間の増加に伴って予熱時の温度上 昇は著しく大きくなった.その結果,接合時 の温度は安定し,ほぼ一定温度を示した.この ことより,工具挿入速度の増加に伴い,予熱時 間の影響が顕著となることが明らかとなった.

4. まとめ

本実験条件範囲内では、工具挿入速度の増 加に伴って接合部始点部の引張強さは向上し た.予熱時間の違いが引張強さに及ぼす影響 は小さかった.

参考文献

- 1) 例えば,前村孝志,原英統,宇治野功: 高温学会誌, 36-3(2010), 153-159.
- 2) 例えば、高橋正詞、加藤数良、時末光:
 軽金属、61-1(2011)、14-19.
- K. Nakata, S. Inoki, Y. Nagano and M. Ushio: Mater. Sci. Forum, 426-432 (2003), 2873-2878.
- 4) 古市英樹,荒深純一,加藤数良:軽金属
 学会第122回春季大会講演概要,(2012), 177-178.
- 古市英樹,荒深純一,加藤数良:日本機 械学会 2012 年度年次大会講演論文集, (2012), DVD-ROM.











Fig.8 Measuring results of temperature of tool.