集まれエンジニア!

航空機産業へのFSSWの適用について*

藤本 光生**, 岡田 豪生**, 上向 賢一**

藤本 光生

Friction Stir Spot Welding Application on Aerospace Industries*

by FUJIMOTO Mitsuo**, OKADA Hideki** and KAMIMUKI Kenichi**

キーワード

摩擦攪拌点接合, 航空機, 塑性流動, 継手強度, 点接合

1. はじめに

航空機の構造部材では、アーク溶接等の溶融溶接はあまり用いられておらず、主にリベットによる機械的締結が用いられている。これは、航空機材料の溶接性に起因するものであるが、静強度や疲労強度が母材よりも低下することにも影響している^{1,2)}。しかしながら、主たるリベット締結は機体の重量増となるだけでなく、リベットを挿入する穴加工には極めて高い精度が求められる。また、生産に用いるオートリベッターは複雑かつ大規模で高価な専用装置であり、安価でフレキシブルな産業用ロボットの導入が期待される。航空機産業では、FSW (Friction Stir Welding) の実用化にむけた研究が積極的に行われている^{3,4)}が、近年、同じ摩擦攪拌現象を応用した FSSW (Friction Stir Spot Welding) 技術が注目されている。

ドアであり、既に200台以上のロボットが自動車の生産ラインに納入されている⁵⁾。

図1 単動式 FSSW 継手の外観

2. 摩擦攪拌点接合の適用状況

すでに自動車産業では、RSW (Resistance Spot Welding) に代わって FSSW が採用されている⁵⁻⁷⁾。しかし、いずれも図1に示す単動式 FSSW と呼ばれる、中央部に凹みやバリが生じる接合方法である。本接合法は、RSW 同様、点接合であり、施工法、継手の強度特性に類似点が多いことから、RSW の適用に課題を残すアルミニウム合金に対して適用されている。図2に示すように、接合ツールはロボットアームに把持されたガンに接続され、ロボットコントローラにより制御される。適用対象は、図3に示すようなアルミニウム合金製のフロントフードやバック

図2 FSSW ロボットおよび単動式 FSSW ツール

図3 自動車への適用対象

*原稿受付 平成23年9月26日

**正 員 川崎重工業(株) Member, Kawasaki Heavy Industries, LTD

3. 航空機産業における FSSW の適用検討

航空機産業においては、部分的な板厚の減少や突起は許容困難であることから、凹みやバリの残らない複動式 FSSW 技術の開発が期待されている⁹⁾。複動式 FSSW は、図 2 に示した一体型のツールではなく、図 4 に示すように、ショルダとプローブが分割構造となっており、軸方向に移動させることが可能である。これらツールのさらに外周に備えたクランプの内側で、接合中にショルダとプローブの相対位置を変化させることにより接合後に平坦な外観を得ることができる。図 5 は複動式 FSSW のプロセスの一例を示しているが、図はショルダを圧入する方法であり、プローブを圧入する方法に比べて高い加圧力を必要とするが、接合領域が広がるため高い継手強度を得ることが可能である。

4. 航空機材料の複動式 FSSW 継手特性

航空機の機体には、2000系や7000系だけでなく6000系アルミニウム合金も用いられる。本試験では、複動式 FSSW が最大限の効果を発揮する薄板を対象に評価を行った。用いた試験体の材質および板厚を表 1 に示す。試験体の形状

図 4 複動式 FSSW ツール

図 5 複動式 FSSW プロセス

表 1 試験体の材質および板厚

	材質	板厚	備考
上板	Al6061-T6	0.635mm	
下板	Al2024C-T3	0.508mm	両面純アルミクラッド材

表 2 複動式 FSSW ツールの形状

プローブ径	ショルダ径	クランプ径
3.0mm	6.0mm	11.0mm

は、長さ 120 mm、幅 30 mm とし、重ね代を 30 mm として A6061-T6 材側から施工した。なお、試験体数は 60 とした。また、下板には航空機外板を想定してクラッド材を配置したため攪拌による純アルミ層の変化についても観察を行った。本試験に用いたツールの形状は表 2 に示す通りである。

引張せん断強度の平均値は 2363N であり、標準偏差は 63N であった。この強度は、同板厚クラスに施工するリベット強度を十分に上回る値である。図 6 に示すように、接合部には凹みやバリ、母材部分との段差はほとんど存在しない。また、図 7 に断面マクロを示す。図に示すように、内部はエッチングによる腐食の違いにより上板と下板の材料を明瞭に認識することが可能である。また、接合による下板間表面のクラッド層への影響を明らかにするため、接合外周部近傍の領域（図 7 (A)）および接合中心部の領域（図 7 (B)）を詳細に観察し、それぞれ図 8 (A) および (B) に示した。図 8 (A) に示す中央より右側の領域では、板間界面ならびにクラッド層が明瞭に認められた。一方、中央より左側の領域では板間界面が不明瞭となっていた。次に、図 8 (B) に示す接合中心部では板間界面は消失しており明瞭なクラッド層は認められなかった。しかし、プローブ先端が平坦であることから薄い層が残存している可能性もあり、今後詳細な検討が必要である。複動式 FSSW の接合メカニズムは、単動式 FSSW で作製した継手のように上下

図 6 複動式 FSSW 継手外観

図 7 複動式 FSSW 継手断面マクロ

(A) 接合外周部 (B) 接合中心部
図 8 複動式 FSSW 継手界面部のミクロ組織

板の材料が混ざって接合領域が形成されている¹⁰⁾のではなく、ツールの回転で生じた塑性流動現象とツールの加圧で界面が消失することにより接合部が形成されていると推察される。

5. おわりに

造船業界では、1921年イギリスにおいて、それまでのリベットを用いた船殻に代わり全溶接船が登場し、我が国においても翌1922年に諏訪丸が進水した。全溶接船の登場により、船舶の基本性能が向上するだけでなく生産効率も大幅な向上を成し遂げた。航空機業界では、これまでリベットによる機械的結合が主流であり、溶融溶接を中心とする他の接合法が入り込む余地も無い状態であった。しかし、近年航空機産業においても品質の維持を前提とした低コスト化がキーワードになっていることから、FSW ならびに FSSW の登場により、リベット以外の締結方法の採用や高価な大型の専用機に代わる安価で汎用性の高いロボットの適用が拡大することを期待したい。

参考文献

- 1) 岡田孝雄：航空機構造に対する疲労寿命の予測，日本機学会誌，2010. 1, Vol.113, No.1094, 24-27.
- 2) 大村秀樹，宗野和夫：航空宇宙機器の接合技術，溶接学会誌，第59巻（1990），第 6 号，459-466.
- 3) 佐藤：溶接技術の航空機構造への適用動向，溶接技術，54-3 (2006), 60-64.
- 4) F Fernandez: Friction stir welding applied on mid size aircraft, 8th FSW Symposium.
- 5) 玄道俊行，西口勝也，麻川元康：摩擦熱を利用した鋼板とアルミニウム合金板の点接合技術開発，軽金属溶接，Vol.44, No.12 (2006), p.556-559.
- 6) 古賀信次：フリクションスポット接合法（FSJ）の開発，軽金属溶接，Vol. 42 (2004), 523-529.
- 7) 村上士嘉：環境にやさしい接合技術の開発，自動車技術，Vol.57, No.6 (2003), p.63-68.
- 8) 藤本光生，附柴祐一，野村浩二：ハイブリッド車における FSSW 技術，溶接学会誌，第80巻（2011），第 3 号，227-230.
- 9) 岡田豪生，上向賢一，藤本光生，フリクションスポット接合について，第47回飛行機シンポジウム，2009.
- 10) 藤本光生，古賀信次，阿部 奈津美，佐藤裕，粉川博之：摩擦攪拌点接合で得られたアルミニウム合金継手における塑性流動に関する検討，溶接学会論文集，Vol.26, No.1, (2008) 67-73.