

FSW（摩擦攪拌接合）の航空機への適用動向

1. 概要

1991年にTWI（The Welding Institute：英国にある公立の溶接/接合研究所）によって開発されたFSW（Friction Stir Welding：摩擦攪拌接合）は、従来接合法に比べ、機械的特性、接合歪等で優れた特性を持つ接合方法である。鉄道車両への適用に始まり、自動車や航空宇宙機器への適用が急速に広がっている。

本稿では、FSWの原理、特徴を概説すると共に、FSWの航空機及び宇宙機器への適用動向について報告する。

2. FSW 概説

2. 1 FSW の原理

FSWは、回転ツールを被接合材料の接合界面に挿入し、被接合材料と回転ツールとの摩擦熱で材料を加熱し、それにより軟化した材料を回転ツールで攪拌して塑性流動させることにより接合する技術である。融点以下で接合が可能な固相接合であるため、接合歪が少なく欠陥が発生しにくい接合法である。（図2. 1-1参照）

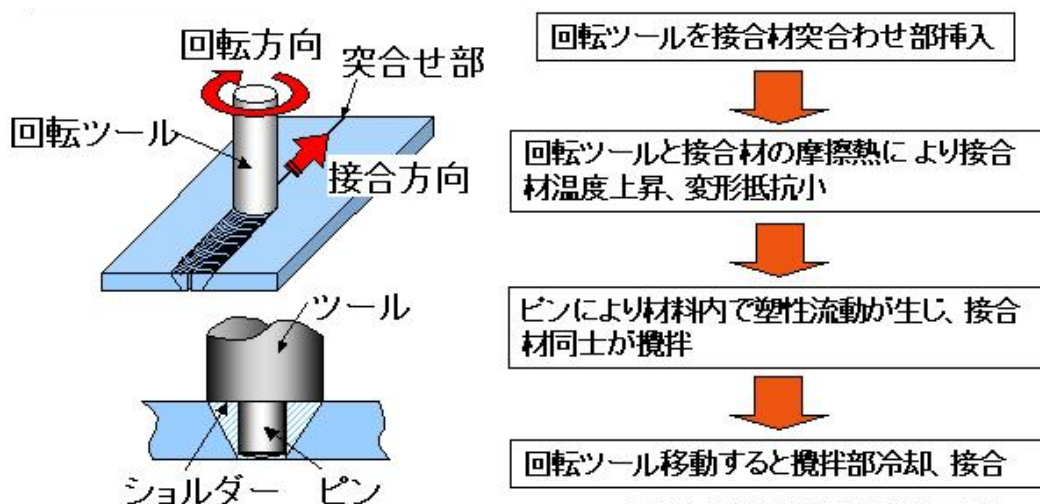


図2. 1-1 FSWの原理

2. 2 FSW の特徴（従来接合法との比較）

従来の溶融溶接と比較すると、継手強度が高い、接合歪が小さい、2000系・7000系アルミ合金の接合が可能、欠陥が出にくい、接合前後処理が簡単（製造コストが低い）等のメリットがある。また、リベット結合と比較すると、継手強度が高い（静強度）、重量軽減効果がある、製造コストが低い等のメリットがある。一方、デメリットとしては接合面寸法の要求精度が高い、複雑形状部の接合が困難である等が挙げられる。

メリットを最大限に生かせる適用部位を選定すれば、重量軽減、コスト低減で大きな効果が得られる。従来接合法と比較したFSWの特徴を表2. 2-1に示す。

表 2. 2-1 FSW の特徴 (従来接合法との比較)

接合法		TIG	EBW	リベット結合	FSW
強度	引張	素材の70%程度	素材の80%程度	FSWの50%程度	素材の80%程度
	疲労	素材の70%程度	素材の70%程度	FSWと同等	素材の80~100%
歪み		大 (FSWとの比較)	中 (FSWとの比較)	小	小 (リベットより大)
接合材料	Al	2000/7000系難	同左	2000/7000系可	同左
	異種	可能	同左	同左	良好 (鋳物可)
欠陥		条件により発生	同左	少ない	同左
接合前処理		必要	同左	プライマー済に打鋏	前処理無くても接合可
接合形状		複雑形状可	複雑形状多少可	複雑形状多少可	単純コンター可
接合面		要求精度低い	同左	要求精度高い	同左
重量 (%) 外		小	小	大	小

※強度はリベット結合のみLap接合、他はButt接合の場合

2. 3 FSW の接合条件

良好な FSW 接合品質を安定して得るために、ツールの送り速度、回転速度、被接合部材に対する傾斜角度、押し込み荷重といった接合パラメータを厳密に管理する必要がある。この際、ピンの形状も品質に大きな影響を与える。接合パラメータ、ピン形状は接合を実施する機関のノウハウとなっていることが多く、公になっているケースは少ない。

3. FSW の航空機及び宇宙機器への適用動向

3. 1 国内での適用状況

量産品への適用については、日本では新幹線、地下鉄等鉄道への適用が先行しており、自動車への適用も徐々に進んでいる。航空宇宙関係についても各社で適用化研究が行われている。航空機の適用に関しては FHI (富士重工業) の無人標的機への FSW 適用が国内では初の実機適用である。FHI では、その後、疲労寿命を考慮する必要があるビジネスジェット機の主翼へも FSW を適用している。(図 3. 1-1 参照)

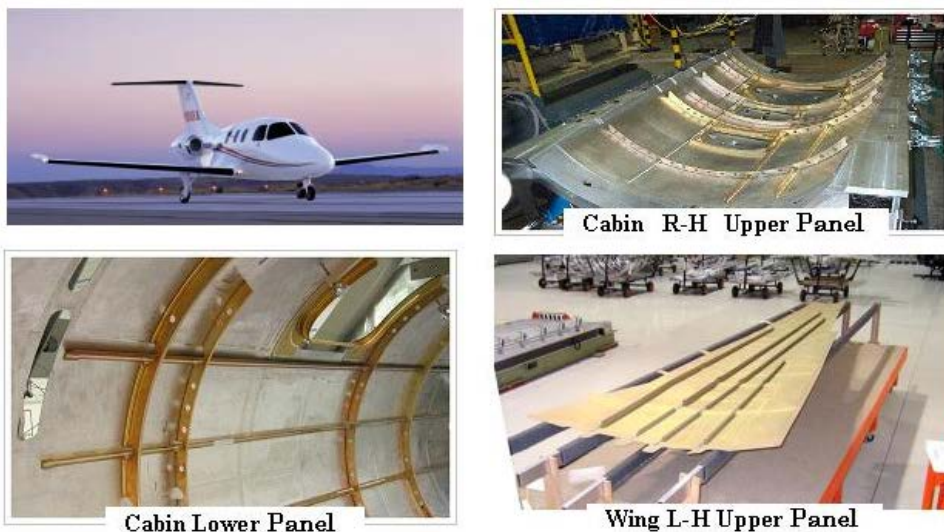


図 3. 1-1 ビジネスジェット機への FSW 適用例 1)

MHI(三菱重工業)では H-IIA ロケットまでは TIG 溶接 (表 2. 2-1 参照) で製造していた推進薬タンクを、大型化した H-II B ロケットの推進薬タンクでは FSW を適用している。ポピンツールと呼ばれる接合工具を用い当て金なしの FSW を可能にすることにより、タンク円周接合面に FSW を適用した例は世界でも初と思われる。(図 3. 1-2 参照)



図 3. 1-2 H-II B ロケット推進薬タンクへの FSW 適用例²⁾

KHI(川崎重工業)では、FSW の航空機への適用に関する発表は無いが、リベット結合や抵抗スポット溶接の代わりとなる摩擦攪拌点接合 FSJ (Friction Spot Joining) 技術の研究が報告されている。³⁾

3. 2 海外での適用状況

(1) エアバスの動向

欧州では WAFS (Welding of Airframes using Friction Stir) や TANGO (Technology Application to the Near Term Business Goals and Objectives of the Aerospace Industry) といった国家横断的プロジェクトが進められるなど、航空機への FSW 適用化研究が積極的に進められてきた。エアバスでは旅客機の中央翼、主翼、胴体といった 1 次構造部への適用研究に力を入れているのが特徴的であり、A350XWB では一時胴体への FSW 適用が発表されたが、設計変更により胴体構造がアルミニウム合金から繊維強化プラスチック複合材料に変更されたことになり、FSW 適用の件も立ち消えとなった。

(2) ボーイングの動向

ボーイングでは宇宙機器に関してはデルタロケットやスペースシャトルの燃料タンクへの FSW 適用を既に実施しており、品質の向上、組立コストの大幅低減に成功している。

(図 3. 2-1 参照)

航空機に関してはエアバスと比較すると 1 次構造部への適用検討が遅く見えるものの、C-17 床構造部への適用がなされている。(図 3. 2-2 参照) 更に民間旅客機についても 747 及び 777 Freighter の Cargo barrier beam 組立に FSW が使用されており、着実に適用拡大が図られている。

15 meter welding length
5 meter diameter cylinders

- ◆40%コスト削減。
- ◆製造日数23日→6日
- ◆2.5km無欠陥



図3. 2-1 Delta IV 燃料タンク接合に用いた縦型 FSW 装置¹⁾

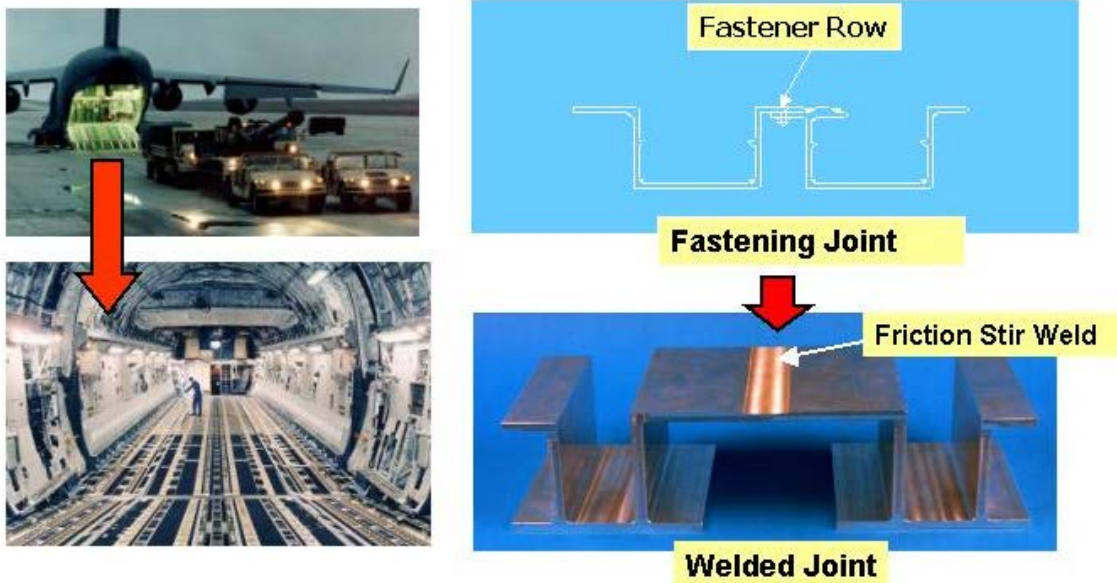


図3. 2-2 C-17 への FSW 適用例¹⁾

(3) その他

ブラジルのエンブライエル社で開発されているビジネスジェット Legacy450、500 の胴体パネル接合にも FSW が適用されることが決まっている。

4. まとめ

FSW はこれまで発明・開発から短期間でその適用範囲を急激に広げてきたが、適用の遅かった航空宇宙分野においても着実に量産機への適用が進みつつある。今後、機体構造材の主役がアルミニウム合金から繊維強化プラスチック複合材へ移行する流れは変わらないと予想されるが、それでも高レートで製造される機体などは今後もアルミニウム合金が主構造材として使用されるとの予測もあり、その際の低コスト組立手法として FSW の重要性は益々増していくものと考えられる。また、主構造が繊維強化プラスチック複合材となるのに伴いチタン合金の適用増加が見込まれるが、近年チタン合金への FSW 適用技術の研究・開発も盛んになってきており、いずれのケースにおいても FSW の適用拡大が今後益々期待される。

参考文献

- 1) 軽金属 第 56 巻 第 3 号 (2006) 航空機用アルミニウム合金の FSW 技術 178-183
- 2) 第 4 7 回飛行機シンポジウム(2009 年 11 月 4 日～6 日) 大型液密タンクへの FSW 適用 JSASS-2009-5170
- 3) 第 4 7 回飛行機シンポジウム(2009 年 11 月 4 日～6 日) フリクションスポット接合について JSASS-2009-5169