

CFRP 摩擦熱接合用工具の開発

Development of friction heating tool for CFRP joining

正 加藤 明 (鳥取県産業技術センター)

Akira KATO, Tottori Institute of Industrial Technology, 1247 Kusaka, Yonago, Tottori, 689-3522 Japan

Key Words: Joining, Friction heat, CFRP, Heating tool

1. 諸言

航空機, 自動車・医療機器産業などでは, 軽量・高強度で, 電磁性能・制振性能が良好な特性を持つ CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastic: 炭素繊維強化プラスチック) の利用が増加しており, 中小部品加工企業がこれらの製品の受注を増加させるためには, CFRP 加工技術の高度化が必要である。

一般的に CFRP 製の部品は型により成形されるが, 形状が大型の場合や複雑な場合は, CFRP 部材の接合が必要になる。従来, CFRP 部材の接合はリベット・ボルトなどの機械的接合や接着剤による化学的接合が行われているが, 機械的接合では接合用に穴加工が必要で機械的強度が低下することや締結用部品が必要な課題が, 接着では溶剤が必要なこと, 接着剤接着性発現までの時間が必要で工程時間が延びること, 接着剤のコストが高いことなどの課題がある。一方, 接合技術の中には, 工具を回転させて材料に押し付け, 摩擦熱を発生させることで材料を溶融させて接合する方法 (摩擦圧接) があり, CFRP 部材の接合についても研究が行われている。しかしながら, 摩擦圧接は金属の接合を主眼とした研究が多く, CFRP 部材の接合については十分に検討されていない。そこで, 素材及び形状を変えた摩擦熱接合用工具を試作して摩擦熱発生実験を行い, CFRP 部材摩擦熱接合に適する工具の条件について検討した。

2. 被接合材料

被接合材料は, 熱可塑性 CFRP (CFRTP) である。この材料の諸元を表 1 に示す。従来の CFRP は熱硬化性 CFRP (CFRTS) が主流であったが, CFRTP は CFRTS に比べて射出成型性やプレス成型性に優れことから CFRP の大きな課題である製造加工コストを低減することができる。さらに CFRTS では廃材のリサイクルが困難であるが, CFRTP はリサイクル性も高い⁽¹⁾。これらのことから, CFRTP の利用が進むと考えられる。接合においても CFRTP ではマトリックス樹脂である熱可塑性樹脂の特性を利用した加熱溶融による接合が可能である。

3. 摩擦熱発生実験

接合用工具を回転させながら表 1 の CFRTP 板に表 2 の条件で垂直に押し付けることで摩擦熱発生実験を行った。このとき, 工具及び CFRTP 板の温度を熱画像計測装置 (フリアシステムズ A655sc) で測定した。図 1 は工具 No.6 (円筒形状の構造用鋼) による摩擦熱発生実験中の熱画像である。この図より, 工具と CFRTP 板の接触部で局所的に温度が上昇することが分かった。また, CFRTP 板においては接触部近傍で熱伝導による昇温が見受けられるが, 範囲は限定的であることが分かった。

摩擦熱接合用工具は, 素材, 寸法, 形状について検討を行った。まず, 素材については表 3 に示す 8 種の工具を試作し,

摩擦熱発生実験を行った。図 2 に工具 No.6 による摩擦熱発生実験における工具押し付け時間と温度の関係を示す。この図より, 工具の押し付け時間に伴い接触部分の温度が上昇していることが分かる。工具 No.6 では, 120°C 付近までなだらかに温度が上昇し, その後は温度上昇勾配が緩やかになっている。押し付け時間 120 秒で工具と CFRTP 板が離れるが, このとき温度が大きく上昇し約 158°C の最高温度を計測した。このことは, 押し付けにより CFRTP 板に侵入していた工具先端が工具上昇に伴い測定画面に現れたためと考えられ, 実際の CFRTP 板と工具の接触部分は, 測定値よりも高い温度となっていると推測する。

図 3 は, 工具素材別の摩擦熱最高温度である。ニッケル基合金 (No.1), 高速度工具鋼 (No.4), ステンレス (No.5) は 180°C 程度まで温度上昇する一方で, チタン合金 (No.2), 超硬 (No.3), 構造用鋼 (No.6), 銅合金 (No.7) は 150°C 程度まで, アルミニウム合金 (No.8) は 100°C 程度までしか温度が上昇しなかった。図 4 は, 工具素材別の摩擦熱による 100°C 到達時間である。この図より, ニッケル基合金が特に速く温度が上昇することが分かる。これらのことから, 摩擦熱による温度上昇時間が短く最高温度が高いニッケル基合金が, CFRTP 摩擦熱接合用工具素材として適すると言える。また, 工具材料の性質を考慮すると, 摩擦熱による温度上昇には工具材料の熱伝導率や硬度が影響していると考えられる。

図 5 は, 工具寸法・形状別の摩擦熱最高温度である。また, 図 6 は, 工具寸法・形状別の摩擦熱 100°C 到達時間である。図 5 の No.11 から No.16 の結果から, 工具先端部の直径が大きいほど, 摩擦熱最高温度が高いことが分かる。この原因については, 接する面積が大きいことや直径が大きいほど外周速が速いことによると考えられる。一方で, 図 6 において, No.11 から 13 では顕著な違いは見られない。このことから, 昇温の温度勾配には押し付け圧など工具先端部直径以外にも要因があると考えられる。

工具先端形状に着目すると, 先端部が球状の No.21 は, 温度が十分に上昇しなかったが, これは接する面積が極めて小さいためと考える。工具先端の面積が等しい No.22, No.23 と No.16, No.14 を比較すると, 最高温度については先端部に R 面取りのある No.22, No.23 の方が高温となった。この理由は, 押し付けにより底面だけでなく R 面取り部でも樹脂と工具が接触し, 摩擦熱が発生しているためと考える。一方で, No.23 の 100°C 到達時間は No.14 に比べ著しく遅くなった。この理由は, 摩擦により熱せられた樹脂が工具 R 部により表面に流出しづらくなったためと推測する。また, 工具先端形状の差異による摩擦温度の違いは, 工具先端面積による差異によるものに比べ, 小さいことが分かった。これらのことから, 摩擦熱による温度を高めるには先端面積が大きい工具が適すると言える。

4. 結言

工具を試作し、摩擦熱発生実験を通じて、熱可塑性炭素繊維強化プラスチックの摩擦熱接合に適する工具の条件について検討した。その結果、以下のことが分かった。

- CF RTP と工具間の摩擦熱発生には、工具材質としてニッケル基合金が優れる。
- 工具先端の面積が大きいほど、温度が良く上昇する。
- 工具先端形状よりも工具先端面積の方が、温度上昇に大きく影響する。

(文献省略)

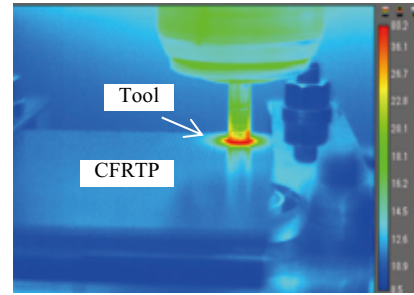


Fig. 1 Thermal image of friction heating experiment (heating tool:No.6)

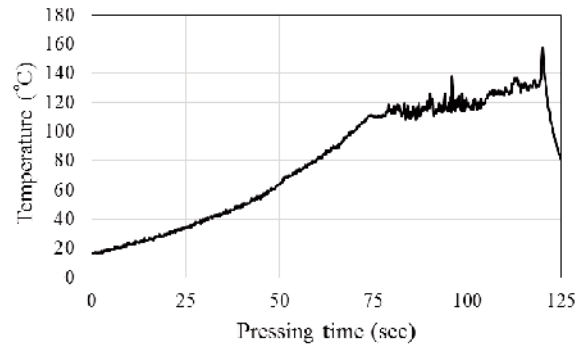


Fig. 2 Relationship between temperature and pressing time (heating tool:No.6)

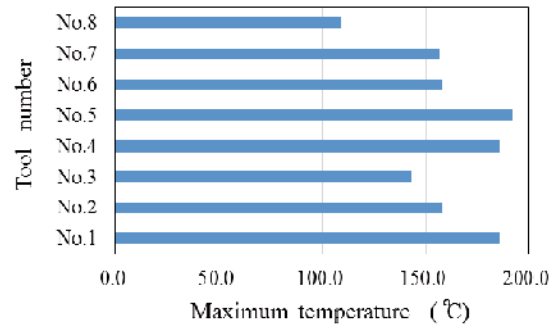


Fig. 3 Maximum temperature on friction heating (material distinction)

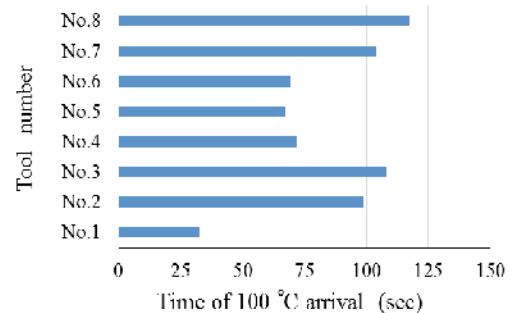


Fig. 4 Time of 100 °C arrival on friction heating (material distinction)

Weight of Carbon Fiber	200 g/mm ²
Matrix	Polyamide 6
Layers	20
Thickness	4 mm
Size	400 x 300 mm
Ratio of Carbon Fiber	53 Vol. %
Specific gravity	1.5
Flexural strength	750 MPa
Flexural modulus	53 GPa

Joining device	NC milling machine (OHTORI KIKO ON-3VII)
Rotational speed	637 min ⁻¹
Pressing speed	0.1 mm/min
Pressing time	2 min
Overhang	30 mm

No.	Material	Form
1	ALLOY718	Cylinder φ10*60 mm
2	TAB 6400 H	
3	Cemented carbide	
4	SKH56	
5	SUS304	
6	SS400	
7	C3604	
8	A5052	

No.	Material	Form	
11	SS400	Step cylinder Shank φ10*50 mm	
12			Tip φ20*10 mm
13			Tip φ16*10 mm
14			Tip φ12*10 mm
15			Tip φ8*10 mm
16			Tip φ6*10 mm

No.	Material	Form	
21	SS400	Radius cylinder Shank φ10*55 mm	
22			Tip R5 mm (Ball)
23			Tip φ4 mm (R3 chamfer)
23		Tip φ8 mm (R1 chamfer)	
23		Shank φ10*57 mm	
23		Shank φ10*59 mm	

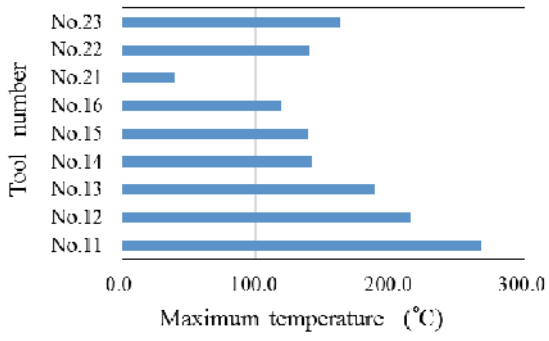


Fig. 5 Maximum temperature on friction heating (size and shape distinction)

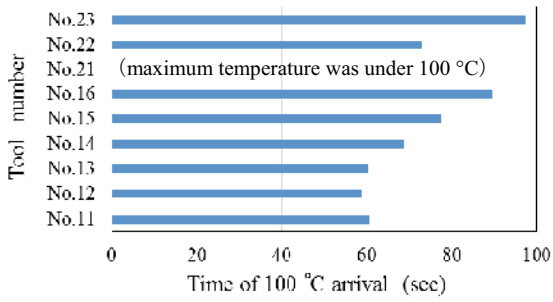


Fig. 6 Time of 100 °C arrival on friction heating (size and shape distinction)