

# 金属/CFRTP 積層板のプレス曲げ成形に成形条件が与える影響

## Effect of Forming Conditions on Press Bending of Metal/CFRTP Laminates

航空宇宙工学コース

先端機械・航空材料工学研究室 内藤 美海

### 1 緒言

近年、軽量かつ高強度な材料として CFRP(炭素繊維強化プラスチック)が注目されている。自動車用 CFRP フレームは軽量化と燃費向上に大きく寄与するが、一方でコストが高く、また CFRP の供給不安問題などの課題がある。そこで、金属と CFRP を組み合わせたマルチマテリアルフレームの開発が行われている<sup>(2)</sup>。一般には金属と CFRP 部品を別々に製造して組み合わせることが多いが、大量高速生産には向かない。そこで本研究では、金属/熱可塑性 CFRP(CFRTP)積層材のロール成形を最終目標とする基礎研究として、金属/CFRTP 積層板の V 字曲げプレス成形を試みた。本研究では成形条件とそれが積層板のプレス変形に与える影響に注目して実験を行った。

### 2 実験方法

#### 2.1 材料および試験片

厚さ 2.0[mm]の CFRTP(Tepex 製、樹脂 PA66, dynalite 201-C200(x)/50%)と、厚さ 0.5[mm]の 2 種類の金属(ステンレス(SUS430)とアルミ合金(A5052, 泰豊トレーディング)を用いて図 1 に示す寸法の Al/CFRTP または SUS/CFRTP 積層板を作製した。

#### 2.2 試験片成形法

それぞれの材料を幅 30[mm]、長さ 60[mm]にカットして積層した後、ホットプレス機(SA-302, テスター産業株式会社)を用いてホットプレス成形を行って積層板を製作した。金属薄板表面にサンドブラスト処理を行った。表面粗さ  $R_a$  は約 16 $\mu\text{m}$  であった。

成形条件を確認するため、表 1 に示すように成形温度を 260, 270, 280 $^{\circ}\text{C}$ の 3 種類、プレス圧力を 20 気圧と 40 気圧の 2 種類とした。積層板をホットプレス機に設置して約 10 秒間加圧した後、室温まで冷却した。

#### 2.3 V 字プレス試験

作製した試験片を用いて、V 字プレス試験を行った。試験片は小型電気炉 (B MINIBS-1, 日陶科学) で再加熱した後、

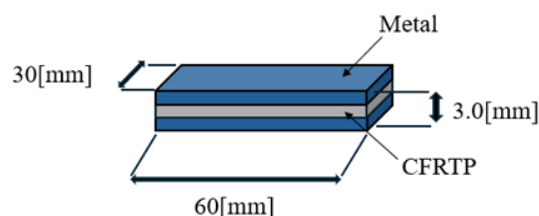


Fig. 1 Dimension of specimen

金型に設置し、ホットプレス機により V 字成形を行った。炉内設定温度は 270 または 280  $^{\circ}\text{C}$  とし、金型温度は 230  $^{\circ}\text{C}$  とした。プレス力は 7.1kN とし、約 1 分間保持した。また、予備実験として、炉内加熱からプレス終了までの温度履歴測定を行った。

### 3 結果および考察

#### 3.1 試験片成形試験結果

本実験では、金属層と CFRTP 層を積層した試験片に高温下でプレス成形を行い、成形温度および加圧条件が積層板の挙動および接着状態に及ぼす影響を検討した。各成形条件で作製した試験片の結果を表 1 に示す。

260 $^{\circ}\text{C}$  ではいずれの圧力でも剥離が生じた。剥離面を観察すると、一部にのみ樹脂付着が認められるにとどまった。よって、260 $^{\circ}\text{C}$  では部分的な融着により剥離が生じることが分かった。

270 $^{\circ}\text{C}$  および 280 $^{\circ}\text{C}$  では、CFRTP 表面樹脂が全面的に熔融し、両金属材料において良好な接着が成立した。しかし、圧力が高い場合は CFRTP の変形が大きくなることが分かった。また大きな CFRTP の変形は CFRTP 表面の平面度を悪化させて剥離の原因になる場合があることも分かった。

Table. 1 Molding conditions and fabrication results of metal/CFRTP laminates

Specimen ID	Metal materials	Hot-press temp. [ $^{\circ}\text{C}$ ]	Pressure [atm]	Results	
				Bonding	CFRTP deformation
AL-260-20	AL	260	20	Fail	No
AL-270-20	AL	270	20	Success	No
AL-280-20	AL	280	20	Success	No
AL-260-40	AL	260	40	Fail	No
AL-270-40	AL	270	40	Fail	Expansion
AL-280-40	AL	280	40	Fail	Large expansion
SUS-260-20	SUS	260	20	Fail	No
SUS-270-20	SUS	270	20	Success	No
SUS-280-20	SUS	280	20	Success	Large expansion
SUS-260-40	SUS	260	40	Fail	No
SUS-270-40	SUS	270	40	Success	No
SUS-280-40	SUS	280	40	Success	Large expansion

Table. 2 Results of Forming Conditions for V-Bend Press

Specimen ID	Metal	Furnace temp. [°C]	Hot-press temp. [°C]	Results	
				Interlayer slip	Delamination
P-AL-270	AL	270	230	Yes	Yes
P-AL-280	AL	280	230	Yes	Yes
P-SUS-270	SUS	270	230	Yes	Yes
P-SUS-280	SUS	280	230	Yes	No

以上より 270°Cおよび 20 気圧が金属/CFRTP 積層板の成形に適することが分かった。この条件で製作した試験片を V 字プレス試験片に採用した。

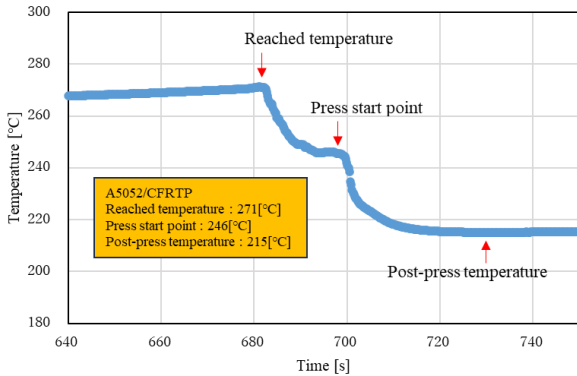


Fig. 2 Temperature distribution during V-bending press

### 3.2 V 字プレス試験の結果と考察

A5052/CFRTP 試験片 (炉内温度 270°C) の試験中に測定した温度履歴を図 2 に示す。図より、試験片を炉内温度に到達後取り出し、金型 (保持温度 230°C) に設置したときには 248°Cまで低下することが分かった。700 秒後にプレスによって上下面が金型に接触すると急激に温度が下がり始め、215°Cまで低下した。炉内温度 280°Cの場合についても同様の試験を行い、プレス温度が 255°Cとなることが分かった。

図 3 に V 字プレス試験後の変形試験片の写真を、表 2 に剥離や変形の状況を示す。A5052/CFRTP 試験片は炉内温度 270°C、280°Cのどちらでも剥離が生じた。剥離後の試験片を観察すると A5052 の大きなスプリングバックが生じており、プレス時の A5052 の塑性変形が不十分であったことが分かった。よって弾性変形による復元力が引き剥がしによる剥離を誘発したと思われる。

SUS/CFRTP 試験片では炉内温度 270°Cでは一部に剥離が生じたが、280°Cでは生じなかった。剥離が生じた試験片の SUS430 のスプリングバックは小さく、SUS 層の塑性変形は十分であったと考えられる。しかし、270°Cでは冷却過程において、SUS と CFRTP の熱収縮差に起因して剥離が生じたことから、プレス変形後の再接着が不十分であったのではないかと考えられる。

CFRTP 層の曲げ変形に注目すると、どの温度においても層間滑りが生じており、またコーナー部に面外変形は見られなかった。よって、プレス温度が 270°C以上であれば、CFRTP 層はプレス曲げ変形でコーナー部以外は平面を保つことが分かった。

## 4 結言

本研究では、金属と CFRTP を重ね合わせた積層板を成形し、再加熱後に V 字プレス実験を行うことで、試験片の変形挙動を調べ、剥離メカニズムおよび剥離が生じない温度条件を明らかにすることを目的とした。

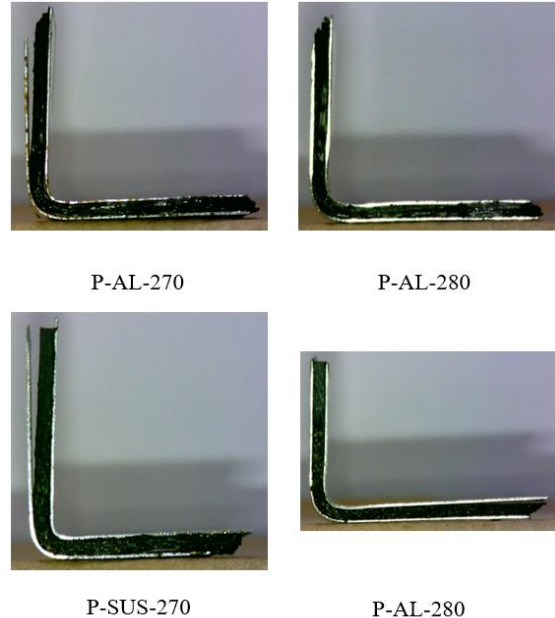


Fig.3 Cross-sectional photographs of each test specimen after V-notch press

(1) ホットプレス成形条件 270°C、20 気圧において金属/CFRTP 積層板の製造が可能であることが分かった。260°Cでは樹脂溶融が不十分であり、280°Cではプレスにより CFRTP 層に大変形が生じた。

(2) A5052/CFRTP 試験片の V 字プレスでは、プレス温度に関わらず AL 層が剥離した。剥離後の AL 層は大きなスプリングバックを示しており、塑性曲げ変形が不十分なため、弾性復元力による引き剥がし剥離が生じたと考えられる。このため、一度の工程で 90 度曲げ加工を行うことは難しく、複数工程による段階的成形が必要である。

(3) SUS430/CFRTP 試験片の V 字プレスでは、SUS430 層のスプリングバックは小さく、炉内温度 280°C (プレス時 255°C) では剥離が生じなかった。したがって、一度の工程で 90 度曲げが可能であると考えられる。

(4) いずれの温度条件においても CFRTP 層は層間滑りによるせん断変形を示しており、CFRTP 層の 90 度曲げに対して適切なプレス温度条件であった。

### 参考文献

- (1) 轟章 他, 基礎からわかる FRP, 強化プラスチック協会編, コロナ社, 第 5 刷, (2016)
- (2) CFRP/CFRTP 成形・加工・接合技術, S&T 出版, 初版, (2016)