

熱可塑性CFRPシートのプレス成形技術の研究

多加充彦* 根田崇史** 山下順広**

プレス加工による熱可塑性CFRP(CFRTP)部品の量産加工技術を確立するためには、熱可塑性CFRPに対応した金型やプレス機械の制御技術の開発が必要となっている。そのためには、熱可塑性CFRPシートの特性、金型やプレス加工条件における成形性や成形品の特性との関連性を明らかにする必要がある。本研究では、予備加熱におけるシートの温度測定、絞り加工などのプレス実験を行い、プレス成形プロセスにおける諸条件が成形品の表面状態、形状および強度に及ぼす影響について検討した。

キーワード: 炭素繊維強化熱可塑性複合材料, プレス加工, 温度測定, 深絞り

Study on Press Forming Method of Carbon Fiber Reinforced Thermoplastics Sheet

Mitsuhiko TAKA, Takashi KONDA and Yorihiro YAMASHITA

In order to establish the mass production of carbon fiber reinforced thermoplastics (CFRTP) parts using press forming method, it is necessary to develop the forming die and press machine control techniques for CFRTP. So, it is necessary to clarify the relation press conditions with properties of sheet and quality of mold parts. In this study, we investigated the influence of various conditions in forming process for the quality such as the formability, strength, surface and shape conditions of molding parts by temperature measurement of sheet in pre-heating, and deep drawing test.

Keywords: carbon fiber reinforced thermoplastics (CFRTP), press forming, temperature measurement, deep drawing

1. 緒言

軽くて強い炭素繊維強化プラスチック(CFRP)は、金属に代わる軽量化材料として、自動車をはじめとする様々な産業分野での利用が期待されている。しかし、現在、航空機部品などに用いられているCFRPは、成形後に熱処理が必要な熱硬化性樹脂を使用しており、成形時間が長く、しかも、高価な設備が必要であるために安価で量産向きの部品製造には適していない¹⁾。

そこで、加熱すると軟化して成形可能になり、常温では固くなる性質を有する熱可塑性樹脂を用いたCFRPが注目され、炭素繊維に予め熱可塑性樹脂が含浸されたプリプレグを何層も積層したプレス成形用中間基材(熱可塑性CFRPスタンパブルシート:以下、CFRPシート)の開発も活発に行われている²⁾。

このような状況のもと、本県のプレス加工工業においても自動車部品の量産加工への対応を目指し、CFRPシートを使ったプレス加工技術の開発に取り組んでいる。しかし、CFRPシートに適した成形方法は確立し

ておらず、成形品の品質にバラツキが生じている。

本研究では、CFRPシートのプレス成形において、成形品の品質に及ぼす加熱条件、炭素繊維の配列方向、およびプレス条件の影響を調べた。具体的には、CFRPシートの温度測定や絞り加工などのプレス成形実験を行い、成形品の表面状態、寸法形状、強度についての評価を行った。これによりCFRPシートのプレス成形に対応した諸条件について考察した。

2. プレス成形プロセス

本研究で取り扱うプレス成形プロセスを図1に示す。CFRPシートは、成形に必要な大きさ、形状に裁断したものを用意し、加熱装置に投入する。

CFRPシートの加熱は、近赤外線ヒータによる加熱装置を用い、樹脂が軟化して成形可能な状態になるまで行い、加熱終了後、速やかに取り出し金型に搬送・投入する。

プレス加工では、図2に示すようにCFRPシートを金

*企画指導部 **機械金属部

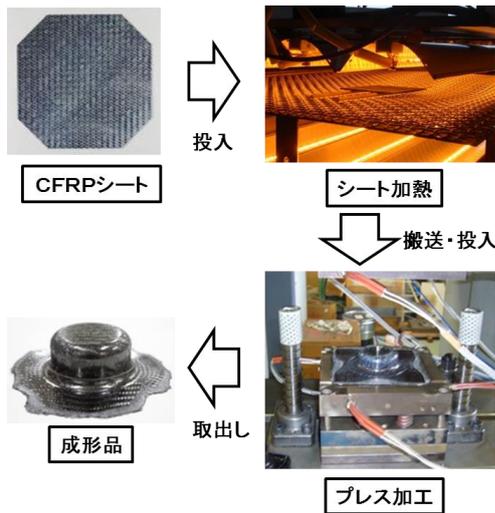


図1 プレス成形プロセス

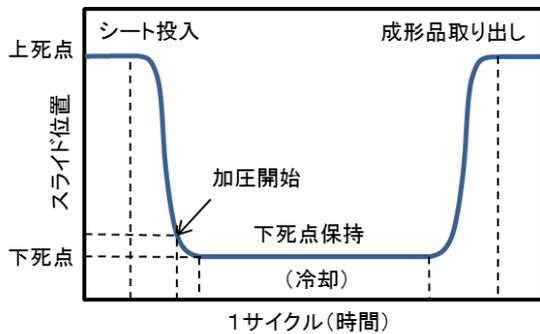


図2 スライドの制御

型に投入後、スライドが上死点から下死点まで下降し、一定時間下死点で保持した後、上死点に戻すモーション制御を用いた。ここで、加圧開始は、CFRPシートが金型との接触により固まる前に行う必要があり、下死点保持は冷却で収縮する成形品の形状を安定化するために行われる。

以上の成形プロセスにおいて、近赤外線ヒータ加熱によるCFRPシートの加熱方法、ならびにプレス成形条件による成形品の品質への影響を調べるため、CFRPシートの加熱実験とプレス成形実験を実施した。

3. 実験方法

3.1 CFRPシートの加熱実験

CFRPシートの成形性は、樹脂の流動性が関係しており、さらに樹脂の流動性は、CFRPシートの温度に影響される。本成形方法は、CFRPシートを加熱した後、金型内での再加熱は行わず、余熱によって成形するため、プレス加工直前のCFRPシートの温度がい

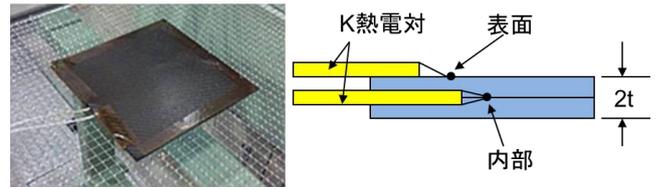


図3 CFRPシートの温度測定方法

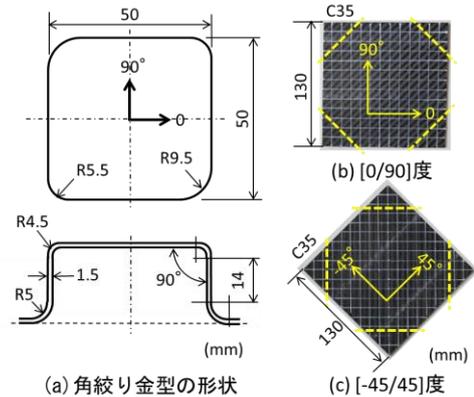


図4 角絞り金型とシート炭素繊維の配列方向

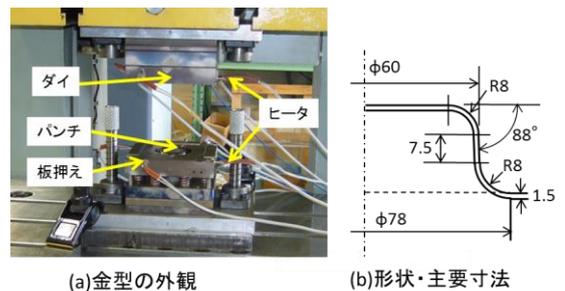


図5 円筒絞り成形用温調金型

つも同じになるように加熱条件を設定する必要がある。

そこで、CFRPシートの加熱条件に関する指標を得るため、近赤外線ヒータ加熱装置による加熱および取り出し過程でのCFRPシートの温度測定を行った。

CFRPシートは、繊維束3000本(3K)の直交綾織りの炭素繊維織物にポリアミド66樹脂(PA66：融解温度265℃、固化温度240℃)を含浸させたCFRPシート(TEPEX dynaline201 BOND LAMINATE社製)を用いた。

板厚は、表面と内部の温度を同時に測定するため、厚さ1mm(織物4層)と2mm(織物8層)のものを2枚ずつ用意し、図3に示すように表面と内部に線径0.32mmのK熱電対を貼付して重ね合わせ、厚さ2mmと4mmの2種類とした。

温度測定は、データロガー(NR-500/NR-TH08：(株)キーエンス社製)を用い、加熱装置により常温から300℃に加熱し、さらに加熱装置から取り出した後、室温25℃の大気中での温度変化を測定した。

3. 2 プレス成形実験

本研究では、成形品の品質に影響する要因として、CFRPシートの繊維の配列方向、金型温度および下死点保持時間を取り上げ、プレス成形での条件の違いによる成形品の品質への影響を調べた。

3. 2. 1 繊維配列方向の検討

CFRPシートの繊維配列方向の検討は、図4(a)に示すような形状の角絞り金型を用いて行った。繊維配列方向は、型形状を基準にして図4(b)の[0/90]度と図4(c)の[±45]度の2水準で行い、成形品の評価は材料の引き込みや繊維の乱れ状況の観察と成形品の強度の比較により行った。

3. 2. 2 金型温度・下死点保持時間の検討

金型温度と下死点保持時間の検討は、図5に示すようなヒータを内蔵した円筒絞り成形用温調金型を用いて評価した。成形条件として、金型温度25℃、50℃、120℃、下死点保持時間5秒、15秒、30秒を組み合わせた9通りとした。成形品の評価は、目視による外観観察と共焦点顕微鏡観察による拡大観察および金型形状に対する成形品の形状誤差の比較により行った。

なお、各成形実験は、いずれも予備加熱実験と同じPA66樹脂製CFRPシート(TEPEX dynaline201:BOND LAMINATE社製)を用い、一辺130mmの正方形に裁断後、四隅をC35mmで面取した。ただし、角絞り成形では厚さ1.5mm、円筒絞り成形では厚さ2mmを使用した。また、プレス加工速度は35spmで、下死点位置はパンチとダイの水平部分のクリアランスが板厚と同じになるよう調整した。

4. 結果と考察

4. 1 CFRPシートの温度測定結果と評価

温度測定の結果を図6に示す。300℃までの到達時間は厚さ4mmの場合が2mmのほぼ倍の時間を要しており、板厚が大きいほど長い加熱時間を設定する必要がある。

CFRPシート内部と表面の温度変化を比較すると、内部の温度上昇時間は表面に比べて遅く、表面が融解温度に達しても内部では融解していない特性を示した。

また、取り出し直後のCFRPシートの表面温度は、大気に熱が奪われるために急速に低下し、厚さ2mmの場合、約40秒で固化温度まで低下した。

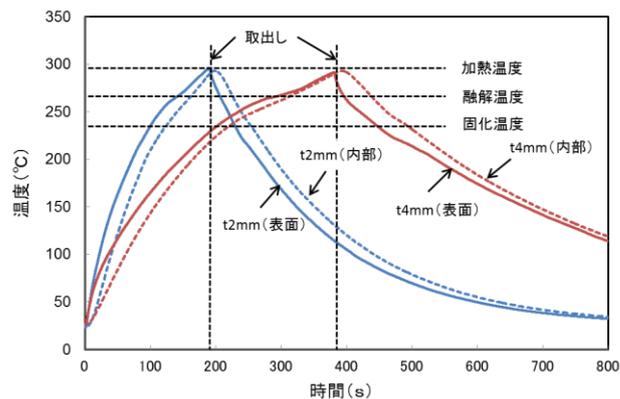


図6 CFRPシートの温度測定結果

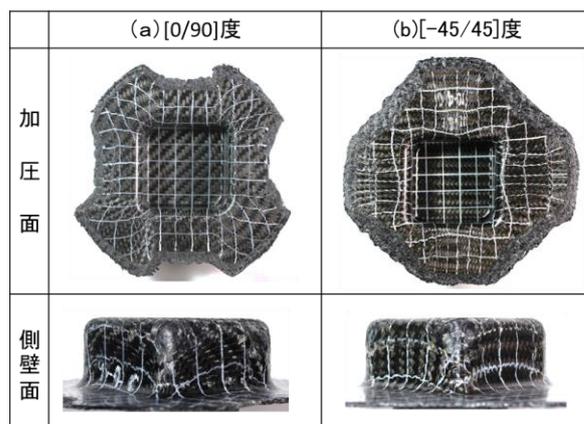


図7 繊維配列方向による成形性比較

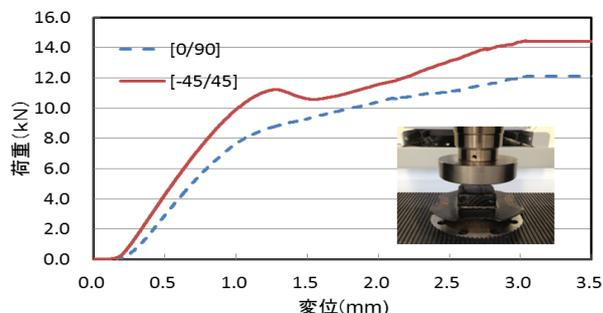


図8 繊維配列による強度比較

CFRPシートは、金型に投入後もスライドが下死点に到達するまで成形可能な温度であることが必要であるが、金型は熱伝導率の大きい金属であるため、大気中よりも早く固化温度に低下してしまうと考えられる。

したがって、加熱温度は、取り出し後の搬送・投入やプレス加工での温度低下の影響を考慮して融解温度より高くする必要がある。ただし、温度が高すぎると樹脂の劣化が生じるため、加熱温度にも上限がある。そのため、取り出し後の搬送からプレス加工までの所要時間をできるだけ短くする必要がある。

4. 2 プレス成形実験結果と評価

4. 2. 1 繊維配列方向の影響

図7に繊維の配列方向[0/90]度と[-45/45]度での成形性を比較した結果を示す。図中(a)の[0/90]度の場合、直線部分のフランジで繊維と樹脂の引き込みによる移動量が大きく、コーナのフランジ部では繊維が集中し、対角線上ではほとんど移動していない。その結果、側壁面の直線部分とコーナ部では、繊維と樹脂の移動量の差が大きくコーナ部での繊維の乱れも大きくなった。一方、(b)の[-45/45]度の場合、コーナのフランジ部の材料の移動が繊維の方向と同じであるため、繊維と樹脂の移動がスムーズとなり、コーナ部の繊維の乱れも少なくなった。

また強度比較では、図8に示すように[-45/45]度の方が[0/90]度に比べ強度が高くなった。

以上より、CFRPシートの板取りの際、金型の形状に対して繊維の配列方向による成形性や強度の異方性を考慮することが必要である。

4. 2. 2 金型温度・下死点保持時間の影響

金型温度と下死点保持時間を変えた成形品の表面状態を観察した結果、図9に示すように金型温度が低いと炭素繊維の織り目による凹凸が顕著にみられ、金型温度が高い場合、凹凸が減少し光沢性が良くなった。また、図10に示すように拡大観察した結果、金型温度が低く保持時間が短いと炭素繊維が露出し、金型温度が高く保持時間が長いと表面全体が樹脂で覆われていることがわかる。このことから成形品表面の樹脂の状態が光沢性に影響すると考えられる。

一方、成形品中心部の輪郭形状を比較した結果、図11に示すように金型温度が高い場合、金型形状を基準とした形状偏差(バラツキ)は大きくなった。この原因は金型温度が高いと型から取り出し後に大気との温度差が大きく、これによって成形品の上面に凹みが生じたと考えられ、形状と表面状態の両面で最適な成形条件を明らかにすることが重要である。

5. 結 言

本研究では、CFRPシートの加熱実験およびプレス成形実験を実施し、以下の結果を得た。

(1)CFRPシートの加熱では、板厚に応じた加熱時間や搬送時間による温度低下を考慮した加熱温度の設定が必要である。

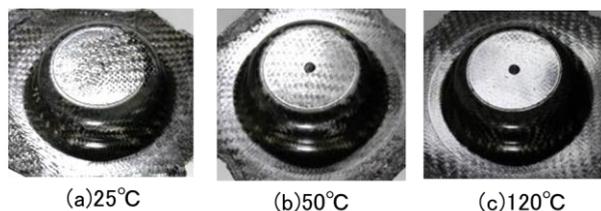


図9 成形品表面の外観比較

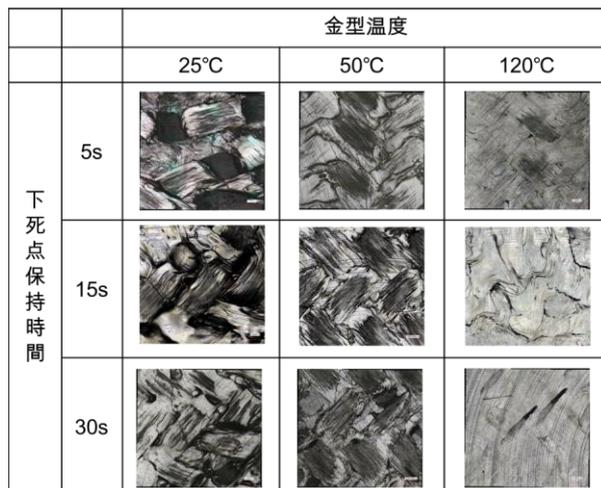


図10 表面の拡大観察

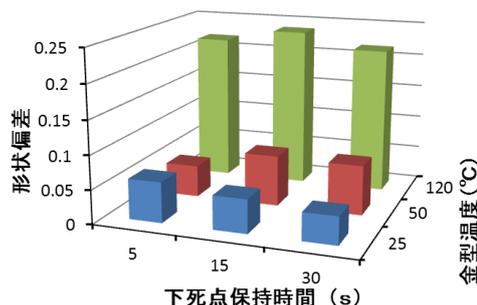


図11 形状偏差の比較

(2)CFRPシートの繊維配列方向、金型温度や下死点保持時間が成形品の表面状態や強度等の品質に影響することを確認した。

謝 辞

本研究の遂行にあたり、有限会社北鉄工所よりプレス成形実験で多大な協力を頂いた。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 北野彰彦, 航空機の軽量化を支える炭素繊維複合材料. 化学と教育. 2011, vol. 59, no.4, p.226-229.
- 2) (社)日本機械工業連合会.(財)次世代金属・複合材料開発協会, 平成19年度熱可塑性樹脂複合材料の機会工業分野への適用に関する調査報告書, p.104.