

氏名	おおいし まさき 大石 正樹
学位(専攻分野)	博士(学術)
学位記番号	博甲第851号
学位授与の日付	平成29年9月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	工芸科学研究科 先端ファイブ科学専攻
学位論文題目	c-FRTP 成形用中間材料を用いたハイブリッド成形の成形条件が力学的特性に及ぼす影響
審査委員	(主査)教授 濱田泰以 教授 横山敦士 教授 佐久間淳 教授 太田 稔

論文内容の要旨

連続繊維強化熱可塑性複合材料(c-FRTP)は、比強度、比剛性に優れた複合材料であり、かつリサイクル性、二次加工性等を有しているため、今後の利用の拡大が期待されている。しかし強化形態が連続繊維で有るため、複雑形状への適用が難しい。一方、不連続繊維強化熱可塑性複合材料は良好な加工性を持ち、ハイサイクル成形が可能であり、複雑な形状に成形することも容易であるが、力学的特性はc-FRTPに大きく劣る。そこで、連続繊維と不連続繊維の複合材料の互いの長所(優れた力学的特性、短時間で複雑形状の成形が可能、等)を活かす事のできるハイブリッド成形法が開発されている。その中で、シート状のc-FRTP中間材料のプレス成形と不連続繊維強化樹脂による射出成形を組み合わせたハイブリッド成形法は、c-FRTPと不連続繊維射出樹脂が同一金型内で一体成形され、短時間で最終的な製品形状を得ることができるため特に注目されている。しかし、このハイブリッド成形品の力学的特性を左右すると考えられるc-FRTPと射出樹脂の界面特性や、表面性状等の成形品質に大きな影響を及ぼすと考えられる成形システムや成形条件に関しては十分に検討されていないのが現状である。

そこで本研究では、c-FRTPの予備加熱方法、予備加熱時間、搬送手法やプレス成形条件、ならびに射出成形における射出樹脂温度や圧力などの成形条件の違いが、ハイブリッド成形における成形品の力学的特性や表面性状に及ぼす影響について明らかにするとともに、ハイブリッド成形に最適な設備仕様を提案することを目的とした。さらに、完全含浸タイプのc-FRTPプリプレグ材が高コストであることや、曲面への賦形性が良くないことから、賦形性を有するシート状の半含浸中間材料を用いたハイブリッド成形について検討を行い、それら中間材料を用いたハイブリッド成形における最適成形条件について検討を行った。

第1章では、研究背景と本論文の目的および構成について記述した。

第2章では、c-FRTPの予備加熱温度および射出樹脂温度がc-FRTPと射出樹脂の界面強度に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。ハイブリッド成形の2種類の成形モードである、射出圧縮成形モードと射出成形モードにおいて、予備加熱温度および射出樹脂温度を変更しハイブリッド成形を行い、c-FRTPプリプレグ材と射出樹脂の界面強度を評価した。その結果、射出圧縮成形モードの場合、プリプレグと射出樹脂の界面強度に対して、プリプレグの予備加熱温度

が支配的な要因であることが明らかとなった。射出成形モードの場合、プリプレグの予備加熱温度および射出樹脂温度の増加に伴って界面強度が向上することが明らかとなった。

第 3 章では、ハイブリッド成形に適した予備加熱方法を確立することを目的とし、赤外線波長の異なる 3 種類のヒーターを用いて加熱温度履歴および温度均一性の測定を行った。さらにそれらヒーターを使用しハイブリッド成形を行い、ハイブリッド成形の予備加熱に最適なヒーターを検討した。その結果、中赤外線ピーク波長 (2.5 μm) を持つ金属製発熱体のヒーターが、プリプレグ材を比較的早く、低電力量で加熱できることがわかった。

第 4 章では、予備加熱後の c-FRTP プリプレグを金型へ搬送する方式について検討を行った。c-FRTP の予備加熱後の保持機構による材料の温度低下と繊維の損傷を防ぐため、保持機構がなく高速で搬送が行える、新しい搬送方式を考案し、ハイブリッド成形を行った。その結果、新しい搬送方式を利用することにより、上記問題点が解決することが明らかとなった。加えて搬送時間の違いが成形品の表面性状および c-FRTP と射出樹脂の界面強度に及ぼす影響について検討した結果、短い搬送時間の場合、界面強度が向上し、表面性状も改善することが明らかとなった。

第 5 章では、前章までに明らかになった、ハイブリッド成形に適したヒーターおよび c-FRTP の搬送方法を採用し、c-FRTP と射出樹脂の界面強度を向上させるための成形条件の最適化を目的とした。成形条件が c-FRTP と射出樹脂の界面強度へ及ぼす影響について検討した結果、射出速度、保圧力、射出時の型ギャップが界面強度に及ぼす影響およびそのメカニズムが明らかとなった。さらに、ハイブリッド成形品の曲げ試験および衝撃試験を行い、通常の射出成形品と比較してハイブリッド成形品、特に射出圧縮モードの場合、破壊進展が抑制され、力学的特性がより向上することが確認された。

第 6 章では、完全含浸タイプのシート状 c-FRTP プリプレグ材に対して、テープ状の c-FRTP や半含浸状態の織物をハイブリッド成形に用いた場合の含浸特性、成形性、力学的特性について検討を行った。中間材料の予備加熱後の急激な温度低下を防ぐため、中間材料を金型に設置した状態で、装置内部にヒーターを進入させる予備加熱手法を考案し、UD テープと半含浸混織糸を用いて製織した織物を用いてハイブリッド成形を行った。その結果、UD テープの予備加熱時に、重ねた中間材料間に空気が介在してしまうことで熱が内部に伝達せず、半含浸材料の織物を用いた場合、半含浸状の基材が UD テープと比較して柔らかく、空気が介在しにくかったため、内部により熱が伝達し、中間材料と射出材料の溶着状態が向上することが明らかとなった。また、半含浸状の基材の予備加熱条件に最適値が存在することが明らかとなった。これにより成形品の力学的特性が向上し、半含浸材料の織物を必要な部位のみに配置したハイブリッド成形が可能である事が確認された。

第 7 章では、本研究で得られた知見をまとめた。

本論文の成果は、ハイブリッド成形の成形技術および製造設備を改善し、ハイブリッド成形技術の発展に資する可能性を有す。

論文審査の結果の要旨

本論文は、自動車部品への複合材料採用の拡大が見込める成形技術の一つであり、最近特に注目されているハイブリッド成形について、成形設備仕様および成形条件の違いが連続繊維熱可塑性樹脂複合材料 (c-FRTP) と射出材料の界面特性や成形品の表面性状に及ぼす影響について検討

している。通常あまり検討されない設備仕様に関して、それらの違いが c-FRTP と射出樹脂の界面特性におよぼす影響について詳細に検討し、成形条件の依存性ととも定量的に明らかとしたことは非常に有意義である。

ハイブリッド成形において、界面特性はプリプレグ予備加熱温度および射出樹脂温度に対する依存性があり、それぞれ最適な温度条件範囲があること、および射出圧縮成形モードの場合、界面特性に対してプリプレグの予備加熱温度が支配的な要因であること、を明らかとした。

設備仕様に関して、予備加熱には中赤外線ピーク波長を持つヒーターが最も効率がよいことを明らかとし、c-FRTP の予備加熱後の保持機構による材料の温度低下と繊維の損傷を防ぐため、保持機構がなく高速で搬送が行える新しい搬送方式を考案し、その効果を解明した。さらにそれら製造設備を使用し、成形条件が c-FRTP と射出樹脂の界面強度へ及ぼす影響について検討し、射出速度、保圧力、射出時の型ギャップが界面強度に及ぼす影響およびそのメカニズムを明らかにした。以上本論文の成果は、これまで明らかとされてこなかったハイブリッド成形の成形技術および製造設備について解明すると同時に、ハイブリッド成形手法の拡大さらには自動車部品への複合材料採用の拡大につながると考えられることから、工業的にも大変有意義である。

本論文の内容は次の 2 報に報告されており、2 報すべて申請者を筆頭著者とするものである。

1. 大石正樹, 大谷章夫, 仲井朝美
ハイブリッド成形におけるプリプレグ加熱条件および射出樹脂温度と界面特性との関係
Seikei-Kakou, Vol.29, No.4, p.135-141, 2017
2. Masaki Ohishi, Akio Ohtani, Asami Nakai
Effect of Heater System on Heating Efficiency and Interfacial Properties between Prepreg and Injected Part in Hybrid Molding
Journal of Mechanical Engineering and Automation, Vol.7, No.1, p.1-7, 2017

以上の結果より、本論文の内容は十分な新規性と独創性、さらに工業的な意義があり、博士論文として優秀であると審査員全員が認めた。