

学位論文

「射出成形用繊維強化複合材料の高強度化に関する研究」

藤 和久

要旨

経済成長に伴い、環境問題は、局地的な問題から、地球規模の問題となっており、自動車の抱える課題に対し、複数の解決策が必要である。そして、車両軽量化はその解決策のベースとなると考える。現在、樹脂は、車両の軽量化用材料として活用され、その重量比率は、8-10wt%である。しかし、既存の樹脂の特性、例えば、低比重や高い成形自由度、さらには金属とは大きく異なる電気特性、熱特性を上手く活かした形での自動車への適用は成熟時期にきており、その比率は期待したようには増加していない。将来に亘り、樹脂材料で車両の軽量化に貢献していくためには、これまでより優れた性能や新しい機能を有する新規樹脂材料、及び成形加工技術の開発が強く求められている。本研究では、樹脂材料としては、自動車用樹脂として使われている材料の40wt%以上を占めるポリプロピレン（以下PP）、成形法として、樹脂成形工法の中では、もっとも生産性が高く広く使われている射出成形に着目し、樹脂の物性向上、及び補強繊維として、ガラス繊維（以下GF）及び炭素繊維（以下CF）を用いた繊維強化複合材料の成形品物性を向上させるための研究を行った。

第2章では、熔融粘度の低い、すなわち低分子量の材料がスキン層を構成し、熔融粘度の高い、すなわち高分子量の材料がコア層を形成するとの仮説に基づき、これまでになかった機能を有する材料に関する研究を行った。結果として、新しく開発した5成分系のTPO材、すなわち2種類のPP、2種類のゴム、そしてタルクが、通常の射出成形機により、サンドウィッチ構造化させることを可能にすることを明らかにした。これまで、低熔融粘度樹脂と高熔融粘度樹脂を混ぜて流すと、低熔融粘度樹脂が表面層を形成する可能性があるとの推論はあったが、これを具現化し、バンパの重量を約20%軽量化した。

第3章では、独自に開発した圧力センサーを金型内に配備したバーフロー金型により、繊維強化複合材料の熔融粘度を正しく測定することが出来ることを確認した。これまで、繊維強化複合材料の熔融粘度を正しく測定することは難しかったが、この金型の開発により、それが可能になった。このバーフロー金型を用いた実験により、マトリックス樹脂に補強繊維を添加することで、複合材料の熔融粘度は大きく向上することが確認できた。特に、熔融粘度の低いマトリックスPPを用いた場合、増粘効果は、高かった。また、CFがGFに比べて、より複合材料の熔融粘度を向上させること、長い繊維は、より複合材料の熔融粘度を向上させることを確認した。さらに、無水マレイン酸変性PP（以下MAH-PP）添加によるCFPP、GFPPの界面の状態がどう変化するかを観察し、CFPPの場合は、界面の特性に変化が見られず、GFPPの場合は、界面の特性が向上すること確認できた。しかし、CFPP、GFPPいずれもMAH-PP添加による複合材料としての熔融粘度への影響はないことを確認した。

第4章では、射出成形用の長繊維CFPP（以下L-CFPP）を用いて、材料の熔融粘度や成形機の混練スクリーンの圧縮比及び背圧が、成形品中の残存繊維長に及ぼす影響について明らかにした。供試材料として、4つの熔融粘度の異なるPPを用いてCFを30wt%含む長さ7mmのL-CFPPを調製し、圧縮比の異なる混練スクリーンにて背圧を変えて射出成形を行い、成形品中の残存繊維長、及び引張特性と衝撃強度を評価した。その結果、高熔融粘度の材料と圧縮比1.8の低せん断スクリーンを用いて、低い背圧で成形することで、成形品中に1mm以上のCFを残すことが可能であり、それに伴いより高い物性を発現させることが可能であることを見出した。

第5章では、MAH-PPの添加によりGF/PP間の界面せん断強度を高めた材料を用い、マクロなGF/PP間の界面せん断強度を算出する手法として、Kelly-Tyson法、ミクロンオーダーの径を有する繊維1本と樹脂の界面せん断強度を直接測定する手法として、ナノインデンテーションを用いた押込み法、オングストロームオーダーの界面せん断強度をシミュレーションする手法として、分子動力学法の有効性を確認した。その結果、マクロな手法としてKelly-Tyson法、ミクロな手法としてナノインデンターを用いた押込み法が使えることが確認できた。ナノインデンターを用いた押込み法が使えることを明らかにすることで、種類

の異なる繊維で補強された樹脂複合材料中の繊維と樹脂の界面せん断強度を測定することが可能になり、工業的な利用価値が高いことを示した。一方、今回の解析手法として用いた分子動力学法は、単純化した形で界面形成をシミュレーションしたが、この時には MAH-PP の添加が強固な界面形成に寄与しないことが分かった。しかし、本研究において、解析をオングストロームオーダーまで踏み込んで検討した工業的価値は高い。

第 6 章では、本研究で得られた知見をまとめ、今後の展望について述べた。