

審査の結果の要旨

氏名 馬 賽

射出成形は、3次元形状のプラスチック成形品の主要な成形加工量産技術に位置づけられる。金属代替材料としてガラス繊維等の繊維強化樹脂の適用が進み、近年では短繊維に加えて、残存繊維長の増加を目的として長繊維強化樹脂の長尺ペレットも広く用いられるようになった。強化繊維は(1)加熱シリンダ内での可塑化過程、(2)計量時の逆流防止リング通過過程、また(3)金型内の流動過程で順次折損する。本論文では、射出成形機内での繊維折損の抑制を課題として、加熱シリンダ内での(1)可塑化過程および(2)逆流防止リング通過過程を研究対象に掲げる。前者は、ガラス繊維強化樹脂の可塑化過程でどのような現象が生成しているかを課題として、繊維折損現象と可塑化過程との関連を明らかにする。後者では、これまで経験的には理解されていた逆流防止リングを通過時の繊維折損について、どのような形状因子に起因して折損するかを課題とした。

本論文は、序論と総括を含めて6章で構成されている。

第1章では繊維強化樹脂のスクリュ可塑化現象の解明、繊維折損過程の解明に関する従来研究の概要と問題点について分析して、解明すべき課題を抽出し、本研究の目的を明らかにしている。

第2章では、高圧の生成・ガラス内面の粗面化・熔融後の不透明化の懸念により、適用不可とされた繊維強化樹脂に初めて可視化シリンダを適用し、ガラス短繊維強化PP(ポリプロピレン)を用いた150 rpmまでの連続可塑化過程の可視化解析を行った。計量・供給・圧縮部でのソリッドベッド、メルトプールの形成、ブレイクアップ現象の生成を明瞭に捉えて定量解析が可能であることを明らかにし、フルフライトスクリュの圧縮比が繊維強化樹脂の連続可塑化過程に及ぼす影響についても具体的に明らかにした。これらより、ガラス短繊維強化PPの可塑化過程モデルは、短繊維のペレット内均一分散とペレット形状の類似性により、非強化PPと本質的に大きな差異がないことを明らかにした。

第3章では、ガラス長繊維強化PPを用いた連続可塑化過程の可視化解析を行った。3種類の圧縮比のスクリュを用いた実験により、ソリッドベッドとメルトプールの生成に加えて、低圧縮比スクリュでは飢餓供給により空隙を形成する不安定な熔融過程が、また高圧縮比スクリュでは明瞭なブレイクアップの生成

状況が可視化され、圧縮比により可塑化過程が大きく変動することを明らかにした。また高圧縮比ほどスクリュトルク、樹脂圧力が増大し、繊維長が短くなることを具体的に明らかにした。以上を総合して、長繊維強化樹脂の熔融モデルを提示し、特に低圧縮比スクリュでは飢餓供給域での繊維束が綿状に膨張することで、続く圧縮部での干渉による繊維折損が抑制されるなど、熔融モデルと相関して繊維折損分布も相違することを明らかにしている。

第4章では、スクリュとシリンダの相対位置が周期的に変動する計量可塑化過程において、回転数・背圧・計量値・待機時間を変化させ、ガラス長繊維強化PPの可視化実験を実施した。計量過程での一時的な空隙形成、フライトと直交配向した長尺ペレットのフライト方向への回転挙動が観察され、射出樹脂内の重量平均繊維長が射出中盤に一時的に減少傾向を示すことを明らかにした。また、待機時間が重量平均繊維長に及ぼす最も大きな影響因子であること、待機時間一定の下では、低回転数、低背圧、短い計量値により繊維の折損が抑制されることを明らかにしている。

第5章では、シリンダ側壁部から内部の樹脂を多点で採取するインプロセス・サンプリング装置を提案・試作し、逆流防止リングの各種寸法形状を変化させてリング通過前後の樹脂を直接採取し、繊維長分布を比較した。逆流防止リング部に、熔融樹脂が緩やかに流入・通過できる大きな空間が確保され、またリング前後の樹脂流動が急峻に変化しない形状、すなわち閉鎖ストローク量が大きく、当たり面角度が小さく、ツメ無しで、長繊維の折損が抑制されること、一方で逆流防止リングの長さは余り影響しないことを具体的に明らかにした。

第6章では、各章で得られた結論を要約し、本論文での提案モデル、評価装置、解析手法の活用法等について、工学的・工業的位置づけから総括している。

このように本論文は、ガラス短繊維・長繊維強化樹脂のペレット内繊維が、射出成形機の加熱シリンダ内で折損する2つの因子、(1)スクリュ可塑化における熔融過程、(2)逆流防止リングの通過過程について、繊維折損の抑制効果を課題として取り上げたものである。(1)では、各種スクリュ形状・可塑化条件・連続/計量可塑過程での可塑化モデルを可視化シリンダにより明らかにした上で、繊維折損との相関を議論し、また(2)ではインプロセス・サンプリング装置によりリング形状因子との相関を系統的に調査しており、工学的にも工業的にも多くの重要な知見を見出した先導的な研究である。

よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。