

審査の結果の要旨

氏名 長谷川 茂

超高速射出成形法は、超高速のスクリュ射出により溶融樹脂を金型内に充填するもので、流動樹脂の冷却を抑制する効果、せん断速度の増加による非ニュートン流体の粘度特性に基づく樹脂粘度の低下効果、せん断発熱作用に基づく樹脂粘度の低下効果、これらの効果を積極的に利用することで薄肉部への完全充填を可能としている。しかしながら、超高速射出成形現象についてはこれまでほとんど研究がなされておらず、未解明の課題が多く残されていた。本論文は、同分野における新たな実験解析手法として、インプロセス計測を導入した流動性評価バーフロー金型、高応答赤外線放射温度センサ、高耐圧ガラスインサート金型等を提示し、型内残留ガスの影響とスクリュ射出の加速性能(以下、立ち上がり特性)の効果、慣性流れ、プリスター生成現象等、同分野の重要な未解明現象について実験解析を行うことを研究目的としている。

第I部では、超高速充填過程における型内残留ガスおよびスプルー容積の影響、立ち上がり特性の効果をインプロセスで評価することを課題とした。まずフローフロント通過タイミングと型内ガス圧力とを同時計測可能な流動性評価用薄肉バーフロー金型を開発し、ガラス繊維強化液晶ポリマー(GF強化LCP)の膨れ欠陥(プリスター)とガスベント条件との相関解析を試みている。同解析により、型内残留ガスの強制排気で超高速充填でもプリスター生成の抑制が可能であること、残留ガスが流動終端部のフローフロントの前進を阻害すること、スプルー容積の縮小が樹脂昇圧速度を上昇させフロント前進速度の増加をもたらすことを明らかにした。さらに超薄肉成形での真空引き(強制排気)効果を解析するために、矩形キャビティ(厚さ0.5mm)の中央部にガスベント条件可変構造の薄肉部(厚さ0.05mm)を有する部分薄肉キャビティを提案した。同装置により、真空引き操作にて極薄肉部の充填性が向上し、完全充填までの樹脂圧ピークと金型の弾性変形(型開き)が低減し、成形品の薄肉化が効果的に図れることを明らかにしている。また高応答赤外線放射温度計(応答時間8 μ s, 95%)にて、超高速充填時フローフロント領域の温度変化を詳細に捉えることに成功し、立ち上がり特性の高速化によってフロント領域の温度が上昇して極薄肉領域への樹脂の充填性が向上することを初めて具体的に明らかにした。

第II部では、超高速充填挙動の動的可視化手法の確立に取り組み、慣性流れの発現、プリスター生成現象の解析等の実証実験を通してその有効性を明らかにしている。まず高耐圧ガラスインサート金型を提案し、厚さ0.5mmの薄肉矩形キャビティを用いて超高速充填挙動の直接観察にはじめて成功を収めた。ファンゲート内滞留樹脂により凹状特異充填パターンが生成する低射出条件から、中央部が凸状の充填パターンへと遷移する超高速条件ま

で、充填パターンがどのように変化するかを具体的に明らかにした。また樹脂流路が主ランナーから傾斜3方向に分岐するY字型ランナーと、十字状に順次分岐する十字型ランナーとを用いて、非強化PPとGF強化LCPでの分岐部慣性流れの発現と充填挙動の遷移過程を可視化解析した。その結果、主ランナー内のフローフロント前進速度が25~30m/s以上（せん断速度で約105s⁻¹以上）の領域から、流動直進方向に進もうとする慣性流れが発現することを具体的に明らかにした。さらにGF強化LCPのブリスター生成機構解明を目的に、射出速度によるスプルー型キャビティ内での充填挙動変化を、毎秒100万コマまで撮像可能な超高速ビデオカメラにて初めて可視化解析した。これにより、揺動を伴うジェットング樹脂の界面部で、スプルー内残留ガスが樹脂内部に順次引き込まれる現象を鮮明に撮影することに成功し、ブリスター生成機構としてのガス巻き込みモデルを具体的に提示している。

以上のように本論文では、これまで実験解析事例がなかった超高速射出成形の金型内成形現象解析を目的として、光ファイバー・ガス圧センサを組み込んだ流動特性評価用バーフロー金型、高耐圧ガラスインサート金型等の実験解析手法を提示し、実証実験によってその有効性を明らかにしている。またこれらに基づき、これまで未解明であった型内残留ガスの効果、スプルー容積の影響、スクリュ射出の立ち上がり特性の効果を具体的に明らかにするとともに、これまで誰も確認ができなかったランナー分岐部流れにおける慣性流れの発現、LCPにおけるブリスター生成現象の解析を行っている。このように本論文は、超高速射出成形の研究分野において極めて有効な実験解析手法を初めて提示するとともに、未解明現象への適用を通して、工学的にも工業的にも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。