

審査の結果の要旨

氏 名 今泉 賢

プラスチック成形加工法の中で、射出成形法は複雑形状部品を低コストで効率的に製造できる代表的な工法に挙げられる。金属の機械加工法では、呼称寸法に対する公差の比（公差／呼称寸法）で寸法精度を評価した場合に 1/1000 以上の精度が一般的である。これに対してプラスチック射出成形法では、高強度化を狙う結晶性樹脂での結晶化収縮と熱収縮とが相俟って、これまで 1/100 程度が限界とされてきた。本研究は、結晶化度や物性を犠牲にすることなく、収縮を抑制して精度を向上させる「冷却速度制御による精密射出成形法」を提案し、樹脂の収縮抑制効果とその発現条件を実験的に明らかにするとともに、高精度化のメカニズムについて理論的な解明を行ったものである。

その成形加工法は、まず初期金型温度 (T_M) に加熱した金型に樹脂を射出して、精度が求められる成形品の部位を金型に保持させた状態で局所的に急冷し、所定の冷却時間経過後に離型するものである。有効性の確認実験として、単純な円筒形状試験片の内周面を急冷できる金型を用いて、代表的な金属代替樹脂である PPS を成形し、試験片の内径収縮率および真円度を測定した。通常冷却した試験片に比べて収縮率が抑制され、真円度が著しく向上することが確認された。収縮率に及ぼす T_M の影響調査では、 T_M が 90℃ (PPS のガラス転移温度 T_g) より高くなると、通常冷却での収縮率は増大するが、急冷した試験片はほぼ一定の収縮率を示して収縮抑制効果が発現され、 T_g が収縮特性に影響を与えることが示された。つぎに PPS 以外の結晶性樹脂および非晶性樹脂の中から代表的な樹脂を選定し、本成形法による収縮抑制効果とその発現条件を体系的に調査した。その結果、 T_g が常温 (T_r) 以上の結晶性樹脂では、 T_M が T_g 以上の場合に、 T_g が T_r 未満では T_r 近傍からそれより高い場合に収縮抑制効果が示された。また非晶性樹脂では収縮抑制効果を得ることができなかった。以上より、本成形法に適した樹脂は結晶性樹脂であり、 T_M を T_g 以上かつ T_r 以上に加熱した場合のみ収縮抑制効果が得られることを明らかにした。さらに結晶化に対して急冷条件が及ぼす影響について、結晶化ピーク温度が T_M よりも高い PPS と、 T_M の設定域内にある PP を選定して調査した。いずれの樹脂でも結晶化の進展には T_M を T_g よりも高く設定する必要があるが、結晶化促進により増大する収縮率を本成形法では抑制できることが具体的に示された。

収縮メカニズムについて理論的な検討を行うために、ばねとダッシュポットを連結した単純 Maxwell モデルを樹脂要素として導入し、 T_g が T_r 以上の PPS と PBT、および T_g が T_r 未満の POM について、冷却過程における熱応力の発生と応力緩和の進行を同時に考慮して収縮ひずみを解析した。まず通常冷却した PPS の収縮特性では、 T_g よりも高

い T_M で熱ひずみが支配的となり、線膨張係数に依存して収縮ひずみが増大した。 T_g 以下の T_M では緩和時間が急上昇するため、樹脂の収縮は一時的にばねに貯蔵されて弾性ひずみが増大する。そのため、熱ひずみと弾性ひずみは均衡する関係となり、収縮ひずみはほぼ一定となった。これに対して **PBT** の収縮特性は、**PPS** に比べて緩和時間が長いため、ばねに蓄えられた応力はダッシュポットで緩和されにくく、長い冷却時間ではじめて応力緩和が進行し弾性ひずみが抑制された。**POM** の収縮特性では、熱ひずみが抑制された分だけ弾性ひずみが増大するという均衡した関係は確認されず、 T_M が高温では熱ひずみが支配的で収縮ひずみは徐々に増大し、通常冷却と急冷との差が拡大した。以上の解析結果より、各種樹脂の収縮メカニズムを理論的に解明することに成功した。

円筒形状以外への適用効果を確認するため、コの字型試験片に適用して、**PPS**、**PBT**、**POM** での対向する側壁の倒れ量に及ぼす T_M および冷却速度の影響について調査した。いずれも、円筒形状で得られた知見に対応する結果、すなわち冷却速度に依存した熱応力の発生と応力緩和の進行により現象を説明できることが示された。また、本成形法がコの字型試験片の変形抑制にも有効であることが示された。

本成形法を工業部品の給湯機用流量制御弁や携帯端末用機構部品に適用し、従来法より 1 桁精度の高い 1/1000 レベルの加工精度と、残留応力の抑制効果による高い寸法安定性の実現を実証的に明らかにしている。さらに、本成形法は金型の加熱と冷却に伴う成形サイクルタイムの延長が懸念されたが、その解決法として成形品と金型ブロックをモールドベースから取り出し、金型の外で加熱冷却する手法を新たに提案した。

このように本論文は、結晶性樹脂の射出成形ではこれまで両立が困難であった (1) 結晶化度や物性の実現と (2) 収縮抑制による高精度化を、冷却速度制御によって同時に実現する精密射出成形法を世界で初めて提案し、樹脂の収縮抑制効果とその発現条件を実証的に明らかにして、高精度化のメカニズムを実験解析と理論解析とにより解明したもので、工学的にも工業的にも独創的かつ重要な研究成果と評価される。

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。