

# 論文内容要旨 (和文)

平成21年度入学 博士後期課程

専攻名 物質生産工学

氏名 大塚 正輝



論文題目 薄肉射出成形の樹脂流動性および成形品特性に対する金型表面特性の影響

工業製品の薄型化や廃材削減を射出成形の面から実現する技術として、金型の狭小部へ樹脂を充填しやすくする技術が求められている。その手段の一つとして、安価であり、幅広い部品に適用できるのが金型の最適化である。しかしながら、これまでは成形条件を最適化することによる薄肉成形の研究や実施がされており、金型により成形性向上を研究した報告はほとんどなされていない。本研究では射出成形において樹脂が接する金型表面特性に着目し、薄肉成形時の流動性とこれらの成形プロセスが成形品の高次構造や機械的特性へ及ぼす影響について明らかにすることを目的として、精密成形で使用されるポリカーボネート (PC) を対象に、研究を実施した。金型表面特性としては、金型を製作する上で考え得る因子として金型表面の熱物性、金型表面のぬれ性および金型表面粗さを挙げた。

第1章では、上記に述べた研究背景により本研究の意義について説明した。

第2章では、金型の熱物性として熱伝導率に着目して流動性との関係を調査した。また、金型表面の熱伝導率は、入子の材質の変更や鋼材表面に低熱伝導材料の被膜を設けるなどして1/10にまで変化させ、バーフロー流動長、金型内樹脂圧変化および成形品の高次構造により関連性を評価した。金型の熱伝導率が10 W/m・K以下の場合、熱伝導率の指数関数的な減少に比例して、固化層 (スキン層) は薄くなり、流動性は向上した。さらに熱伝導率が3 W/m・Kでは、充填時間の増加と圧力損失低減などにより樹脂の冷却遅延効果が顕著に示され、流動長はおよそ20%向上した。一方で、熱伝導率が通常の鋼材の範囲である40 W/m・Kおよびそれ以上の場合には、およそ30 $\mu$ mの厚さのスキン層が断熱層として作用し、流動性に影響しなくなることを実験および数値解析により明らかになった。

第3章では、金型表面のぬれ性の影響について検討した。ぬれ性、つまり、樹脂と金型間の界面張力はフッ素系の表面処理により50%程度に小さくなり、ぬれ難いことを確認した。金型上の熔融樹脂にかかる重力を増加させる滑落角評価により、金型温度が220 $^{\circ}$ C以上の場合、ぬれ難い金型表面はより小さな力で樹脂を流す作用があることを明らかにした。しかし、金型温度が $T_g$ 点以下に設定される射出成形の樹脂流動性に対しては、樹脂粘度の温度依存性が強く影響し、ぬれ性は影響しないことが実験的に明らかとなった。また、ぬれ性が及ぼす影響として仮説に挙げた金型と樹脂間のすべり現象や樹脂のフローフロント形状に対しても変化は確認されなかった。これらの検討結果により、金型のぬれ性が流動樹脂挙動や高次構造に影響を及ぼさないことを実験的に明らかにした。

第4章では金型表面粗さの影響について検討した。入子のキャビティ面には放電加工により一様な粗さを付与したものを使用した。表面粗さ $Rz$ が1 $\mu$ m~10 $\mu$ m未満の場合、流動性はわずかに低下する傾向となるが、表面粗さ $Rz$ が10 $\mu$ m以上のときに流動性が線形的に向上し始め、 $Rz$ 28 $\mu$ mでは3%の向上が確認された。この流動性向上は、表面粗さが大きい場合、樹脂流動過程金型において金型表面の凹部に空気層が存在する時間が長くなり、これが樹脂の固化を遅らせていることを金型表面の凹凸への転写挙動を観察することにより明らかにした。また、金型表面の凸部には流動する樹脂が先に

接触するために、この部分の樹脂温度が低下し、局部的にせん断配向層を成長させ、金型表面凹凸に応じてスキン層の中にせん断配向層が現れるといった不均一な高次構造となることについても言及した。

上記の金型表面特性（熱伝導率、表面粗さ）が樹脂流動過程における分子配向に影響を及ぼすことがパーフロー成形評価で明らかになったことから、第5章では実際の成形部品を想定して2点ゲート化した金型を用い、一定のキャビティ体積に完全充填させた成形品にて、偏光観察による定性評価およびレタデーション測定による定量評価により高次構造への影響を確認し、また、この結果と成形品（分子配向部、ウエルド部）の機械的特性（引張特性および曲げ特性）の関係性を検討した。結果として、金型特性の変化に応じて高次構造、特にせん断配向層の厚さは薄く変化したが、本研究で使用した非晶性樹脂PCにおいては引張特性と曲げ特性に対する明確な影響は確認されず、仮説として挙げた分子配向やウエルド部の分子鎖の絡み合い効果による強度向上は肯定されなかった。

最後に第6章では本研究の総括を行った。金型表面特性として金型表面付近の熱伝導率と表面粗さは樹脂流動性および成形品の高次構造に影響を及ぼすが、一方で、ポリカーボネートの機械的特性に及ぼす影響はないことを明らかにした。本研究の内容は今後の射出成形プロセスに広く適用することができるため、プラスチック部品の適用形状拡大や廃材削減による環境負荷低減などに応用展開されることが期待される。

(注) ① タイプ、ワープロ等を用いてください。10pt 2,000字程度（2頁以内）とします。

② 論文題目が英文の場合は、題目の下に和訳を（ ）を付して併記してください。

学位論文の審査及び最終試験の結果の要旨

平成24年 2月 11日

理工学研究科長 殿

課程博士論文審査委員会

主査 ..... 伊藤 浩志

副査 ..... 滝本 淳一

副査 ..... 高橋 一郎

副査 ..... 杉本 昌隆

副査 ..... ④

副査 ..... ④



学位論文の審査及び最終試験の結果を下記のとおり報告します。

記

1. 論文申請者

専攻名 ..... 物質生産工学  
氏 名 ..... 大塚 正輝

2. 論文題目 (外国語の場合は, その和訳を併記する。)

..... 薄肉射出成形の樹脂流動性および成形品特性に対する金型表面特性の影響  
.....  
.....

3. 審査年月日

論文審査 ..... 平成24年 1月25日 ~ 平成24年 2月10日  
論文公聴会 ..... 平成24年 2月10日  
場所 ..... 工学部 国際事業化研究センター 3階秦ホール  
最終試験 ..... 平成24年 2月10日

4. 学位論文の審査及び最終試験の結果 (「合格」・「不合格」で記入する。)

(1) 学位論文審査 ..... 合格  
(2) 最終試験 ..... 合格

5. 学位論文の審査結果の要旨 (1,200字程度)

別紙のとおり

6. 最終試験の結果の要旨

別紙のとおり

## 別紙

専攻名	物質生産工学	氏名	大塚 正輝
学位論文の審査結果の要旨			
<p>本論文は、射出成形において、これまで系統的に研究されなかった金型表面の材料特性、表面粗さや形状に着目し、これら金型を用いた薄肉射出成形への効果を明らかにした内容である。全6章から構成され、各章の概要は以下の通りである。</p>			
<p>第1章では、本研究の背景として、薄肉射出成形に対する産業的および社会的要求とこれに対する研究開発動向を述べ、本研究で取り扱う金型表面特性の定義と目的について言及している。</p>			
<p>第2章では、金型の熱物性として熱伝導率と流動性との関係について実験的に調べた内容である。金型の熱伝導率が10 W/m・K以下の場合、熱伝導率の指数関数的な減少とともに、固化層（スキン層）は薄くなり流動性は向上した。さらに、熱伝導率が3 W/m・Kでは、充填時間の増加と圧力損失低減などにより樹脂の冷却遅延効果が顕著に現れ、流動長は約20%向上した。一方、熱伝導率が通常の鋼材の範囲である40 W/m・Kおよびそれ以上の場合には、およそ30<math>\mu</math>m厚のスキン層が断熱層として作用し、流動性への影響が軽微することを実験および数値解析により明らかにし、特徴的な結果とともに有用な知見を得ている。</p>			
<p>第3章では、金型表面のぬれ性と流動性の関係について実験的に調べた内容である。様々な表面処理金型のぬれ性を界面張力として評価し、金型温度と樹脂の付着エネルギーの関係を明らかにしている。そして、これらの関係が流動性へ及ぼす影響を調査した。これらの結果、金型温度が樹脂のガラス転移温度以下に設定される射出成形の樹脂流動性に対しては、樹脂粘度の温度依存性が強く影響し、金型への樹脂のぬれ性はあまり影響しないことを明らかにした。</p>			
<p>第4章では、金型表面粗さと流動性の関係について実験的に調べた内容である。表面粗さが1<math>\mu</math>m~10<math>\mu</math>m未満の場合には、流動性はわずかながら低下し、表面粗さが10<math>\mu</math>m以上のときに、粗さと比例して流動長が向上する結果を得た。表面粗さが大きい場合には、樹脂流動過程において金型表面の凹部に空気層が存在する時間が長くなり、これが樹脂の固化を遅らせるためであることを検証した。</p>			
<p>第5章では、様々な金型が成形品内部構造に及ぼす影響を明らかにするため、樹脂合流部（ウエルド）有無の射出成形品の高次構造と機械的特性を調べた内容である。流動性の向上により分子配向の低減はあるが、引張強度の低下は僅かであった。一方、ウエルド界面での分子鎖の拡散作用により、ウエルド強度が向上することを示し、金型表面特性が薄肉射出成形の力学特性へ及ぼす影響を明らかにしている。</p>			
<p>第6章では、本研究を総括している。本論文で報告した金型表面特性による薄肉流動性向上に関する研究結果が、薄肉射出成形をより容易に実現し、さらに物性を制御するための知見から様々な成形に応用展開され、プラスチック部品の適用拡大と環境負荷低減の両面に貢献することが期待できると結論付けている。</p>			
<p>本研究の成果は、3報の学術論文（英文2報）としてまとめられており、既に掲載されている。国際学会では1件の発表を行っている。国内学会発表では2件の発表を行い、成果公表についても十分満足できるものである。</p>			
<p>以上を総合的に判断し、本論文に関する研究およびその成果は、博士（工学）学位論文の研究としての水準を満足しているため、合格と認定する。</p>			
最終試験の結果の要旨			
<p>本学の規定に従い、本論文および関連分野に関して口頭により最終試験を行った。最終試験は、学位論文を中心とした60分の口頭発表、ならびに30分の質疑応答により実施した。その結果、学位論文の内容ならびに関連分野に関する理解度は十分にあり、博士として必要とされる専門知識および研究能力を十分に備えているものと判断し、合格と判定した。</p>			