

超臨界流体を用いた微細発泡射出成形におけるCELL成長挙動に関する研究 (2)

山田岳大* 小熊広之* 村田泰彦***¹ 横井秀俊***²

Observation of Cell Growth Behavior in Microcellular Injection Molding (2)

YAMADA Takehiro*, OGUMA Hiroyuki*, MURATA Yasuhiko***¹,
YOKOI Hidetoshi***²

抄録

超臨界微細発泡射出成形におけるキャビティ表面温度および冷却作用が、発泡成形品表面状態に与える影響について検討を行った。その結果、射出開始前の金型温度をガラス転移点 T_g 以上に加熱すると、シルバーストリークが消失することを確認できた。射出開始前の金型温度を90℃その射出直後に30℃冷却水を流し成形した発泡成形品の表面は発泡成形でない通常成形品と比較して、同等の表面粗さであることが分かった。

キーワード：超臨界流体，窒素，射出成形，誘導加熱，温度コントロール

1 はじめに

射出発泡成形は高寸法精度成形品の作製や、軽量品の作製を目的として使用されている。射出発泡成形では、従来発泡剤としてフロンや、炭化水素が用いられていたが、環境負荷を低減させる目的で、二酸化炭素及び窒素を発泡剤とした超臨界発泡射出成形が用いられるようになってきた。しかしながら超臨界発泡射出成形法では、成形品表面にシルバーストリークが発生し、外観部品としての使用が困難になっている。このため、シルバーストリークを消失させる技術が求められている。そこで、高速ヒートサイクル成形技術などにより、キャビティ表面を加熱し、シルバーストリークを抑制する試みが行われている。^{2),3)}しかし、キャビティ表面温度と型内でのピーク樹脂圧である最高充填圧力といった条件が、成形品表面に与える影響について、詳細に検討されている例が少ない。そこで、本研究では、誘導加熱・冷却金

型⁴⁾を使用し、キャビティ表面温度および冷却作用が、発泡成形品表面状態に与える影響について検討を行った。発泡成形品表面状態が通常成形品と同様の平滑性を有する表面制御技術を確立することを目的とする。また表面改善のプロセスを明らかにするため、型内のシルバーストリーク抑制過程について可視化し検証した。

2 実験方法

2.1 金型温調可変実験

図1に使用した誘導加熱・冷却金型の基本構造を示す。本金型では、誘導加熱用コイルと冷却用配管が設けられた中空の円柱状の入れ子が、固定側と可動側モールドベースにそれぞれ取り付けられた構造となっている。図2に金型可動側の加熱・冷却用入れ子の形状を示す。入れ子内部には、温度制御用および温度計測用のシース熱電対を挿入するための穴が設けられている。キャビティは円盤形状と

* 試験研究室 生産技術担当

***¹ 日本工業大学

***² 東京大学 生産技術研究所

表1 成形条件

樹脂温度 (°C)	200-200-195-195-195-195-190-180		
射出率 (cm ³ /s)	40.2		
最高充填圧力(MPa)	30		
保圧 (MPa)	0		
保圧時間 (s)	0.04		
型温度 (°C)	30	60	90
冷却開始時間 (s)	0	0	0/10
冷却水温度 (°C)	30		
窒素添加量 (wt%)	0.3		

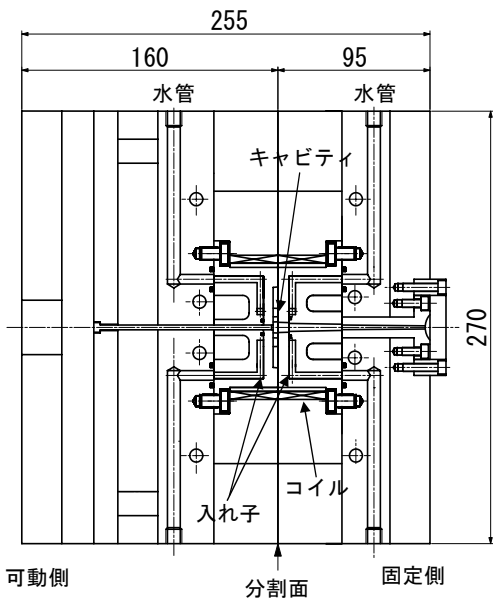


図1 誘導加熱・冷却金型の基本構造 (単位:mm)

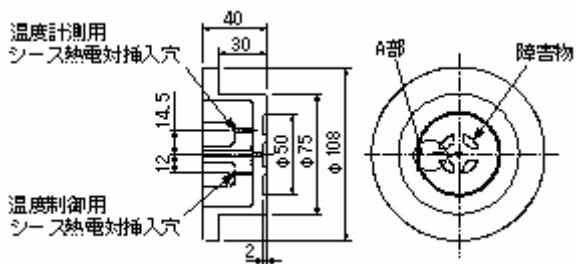


図2 可動側加熱・冷却用入れ子の形状 (単位:mm)

した。誘導加熱には据置型誘導加熱装置 (SK-NF002SA, 十王株) を使用し、急速冷却には金型温度調節機 (GMCH-J-25J-OP, 松井製作所株) を使用した。成形条件を表1に示す。樹脂は汎用ポリスチレン (GPPS; (CR2500大日本インキ株) を使用した。発泡剤にはN₂を使用した。キャビティ内における最高充填圧力が30MPaと一

定となるよう射出容量を調整して成形した。入れ子温度は、入れ子の加熱と樹脂のキャビティ内充填完了後における冷却水流入開始時間を変化させ調整した。樹脂圧力を水晶圧電式圧力センサType9221(日本キスラー株) を用いて、ゲート部に設置されたエジェクタピンを介して計測した。得られた成形品の可動側表面状態と内部構造を、SEM (日本電子株 JOEL5300LV) を用いて評価した。図2に観察領域(ゲートから15mm離れた領域A)を丸印にて示す。

2.2 型内可視化

石英プリズムガラス

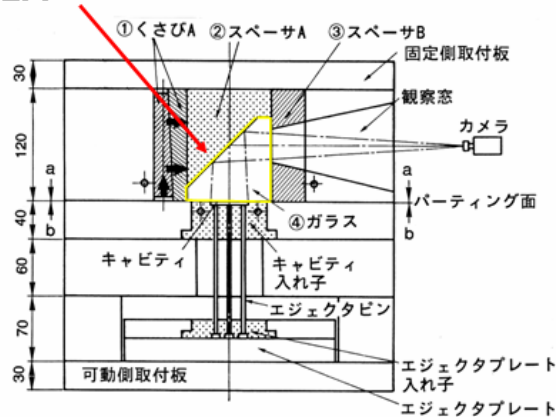


図3 ガラスインサート金型基本構造 (単位:mm)

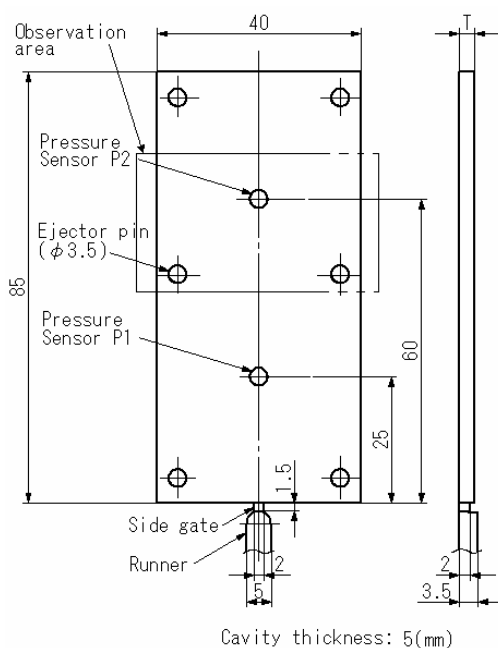


図4 可視化キャビティ形状

表2 可視化成形条件

樹脂温度 (°C)	200-200-195-195-195-195-190-180
射出率 (cm ³ /s)	40.2
型内最高充填圧力 (MPa)	28
保圧 (MPa)	0
保圧時間 (s)	0.04
背圧 (MPa)	15
型温度 (°C)	90
冷却時間 (s)	70
窒素添加量 (wt%)	0.24

図3にガラスインサート金型の基本構造を示す⁵⁾。本金型は、キャビティ内の樹脂挙動を石英ガラスのプリズムカット面を介してモールドベース側面に空けられた窓から観察するものである。図4に示す厚さ5mmの矩形平板キャビティにて検討を行った。キャビティにおける観察領域を、図4に示す。観察領域はゲートから56mm離れた縦30mm×横50mmのキャビティ中央部とした。可視化観察は、高速ビデオカメラ HSV-500(株ナック)を用いて250frames/sで撮影を行った。また、型内樹脂圧力の計測を、水晶圧電式圧力センサ Type9221(日本キスラー(株))を用いてゲートから25mm離れた位置に設置されたエジェクターピンを介して行った。J85EL III-110H-MuCell 型(株日本製鋼所,最大型締力 833kN,スクリュー直径 32mm)の成形機を使用して、表2の条件で成形を行った。

3 実験結果

3.1 入れ子温度と樹脂圧力プロファイル

図5に、誘導加熱・冷却金型を用いて成形した際に、計測された入れ子温度と樹脂圧力の経時変化を示す。本実験では、(1)～(4)の4つの温度制御パターンで成形を実施した。(1)は、誘導加熱・冷却を行わずに、入れ子温度を30°C一定として成形した場合である。(2)は、60°Cまで誘導加熱した直後に射出を開始し、樹脂がキャビティ内に完全充填した圧縮過程から冷却水を注入して30°Cまで冷却を行った場合である。この場合、樹脂圧力の低下が(1)の場合に比べて、若干緩やかとなっている。

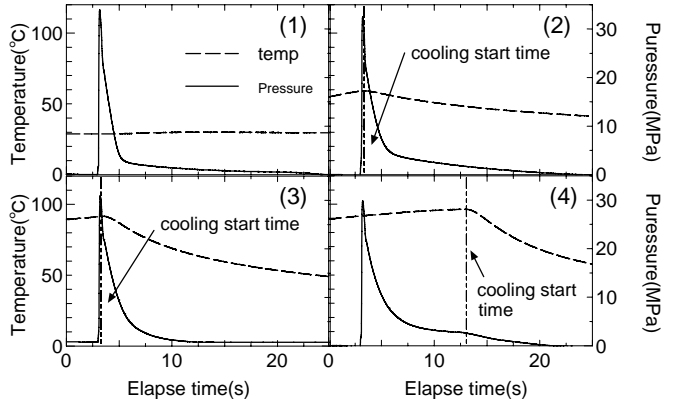


図5 入れ子温度及び金型内樹脂圧力の経時変化

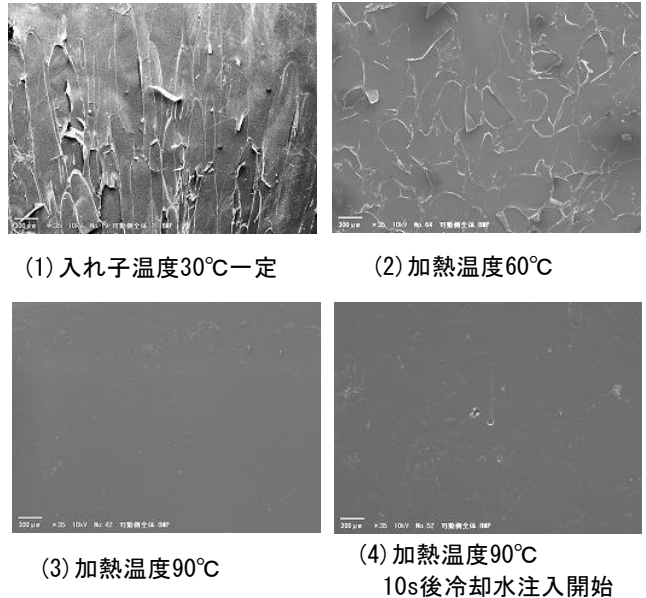


図6 発泡成形品表面のSEM観察結果

(3)は、GPPSのガラス転移点温度 T_g (80°C) 以上の90°Cまで加熱して(2)と同様に冷却を行った場合である。樹脂圧力の低下がさらに緩やかになっている。(4)は、90°Cまで加熱して、冷却水の注入タイミングを完全充填時における圧縮過程から10s遅らせた場合である。この場合、樹脂圧力は、緩やかに低下し、途中でしばらく低い圧力が保持されながら、冷却水注入とともに、0に低下している。

3.2 入れ子温度と樹脂圧力プロファイル

図5の4つの温度制御パターンにおいて得られた成形品表面のSEM観察結果を図6に示す。(1)の30°C一定で成形した場合には、成形品表面に

シルバーストリークが多く生成している。(2)の加熱温度 60℃の場合では、シルバーストリークが生成しているものの、(1)の場合よりも減少しており、誘導加熱の影響が現れた結果となっている。(3)の加熱温度 90℃では、成形品表面のシルバーストリークが消失して、平滑な面が得られている。この場合、通常成形と比較して同等の表面粗さが得られた。(4)の加熱温度を 90℃として、冷却水の注入タイミングを 10s 遅らせて得られた成形品表面では、シルバーストリークは消失しているものの、成形品表面に多数のひけと膨れによる凹凸が観察される。

3.3 型内可視化観察

金型温度を 90℃一定に設定してシルバーストリークの成形過程及び消失過程を観察した。最高充填圧 28MPa の場合における型内樹脂内圧力の経時変化を図7に示す。また、図7に示した①～③の時刻における発泡状況の可視化観察画像を図8に示す。流動過程①においてフローフロントで激しく発泡しながら流動している。この破泡により、表面にはシルバーストリークが形成され流動している様子が観察された。②の圧縮過程では樹脂圧の上昇により、樹脂表面が型面に押しつけられ、シルバーストリークが消失する。その後の減圧過程では、表面及び内部のセルが生成する様子が観察された。

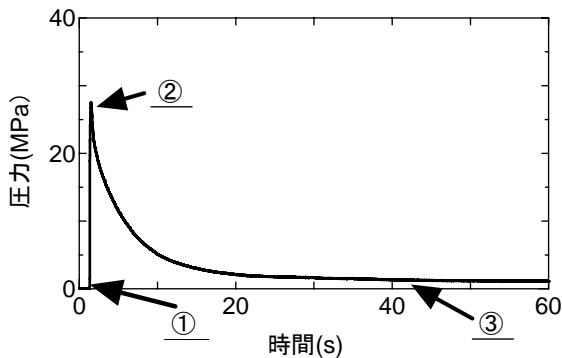


図7 型内樹脂圧力波形 (GPPS)



① 流動過程



② 圧縮過程



③ 減圧過程

最高充填圧力28MPa

図8 可視化観察画像 (GPPS, 射出率:40.2cm³/s)

4 考察

30℃一定で成形した場合には、流動過程で形成される破泡が型表面に展開した直後に既に固化しており、その後の圧縮過程で樹脂表面が型面に押しつけられるもののシルバーストリークの形状を維持したものと推察する。

圧縮過程までの金型温度が 60℃の場合においては、流動過程での型表面に展開した破泡が完全に固化しないために、シルバーストリークの形状が若干減少した物と推察する。圧縮過程までの金型温度が 90℃の場合、樹脂のガラス転移点(Tg)となっており樹脂圧力上昇に伴いシルバーストリークの痕跡が金型表面に押しつけられて消失しているものと推察される。圧縮過程後における高い圧力状態の時点で、入れ子が急激に冷却されているため、成形品表面近傍での Cell の生成および成長が抑制され表面が平滑化したものと推察され

る。入れ子温度を 90°C にし、10s 後に冷却水を流した場合では、圧縮過程においてシルバーストリークは消失するが、その後減圧過程で圧力がほとんど 0 に低下するまで入れ子温度が T_g 以上に保たれた状態となっているために、成形品表面近傍において Cell の生成および成長が行われるなどにより、成形品表面のひげや膨れの生成につながったものと推察される。

5 まとめ

本研究では、誘導加熱・冷却金型⁴⁾を使用し、キャビティ表面温度および冷却作用が、発泡成形品状況に与える影響について検討を行った。また表面改善のプロセスを明らかにするため、型内のシルバーストリーク抑制過程について可視化し、以下の結果が得られた。

- 1) 表面観察から初期金型温度をガラス転移点 T_g 以上に加熱すると、シルバーストリークが消失することを確認できた。
- 2) 圧縮過程以降 T_g 以上に保つと、減圧過程で軟表面の粘度が低下し、そのため、表面においてセルの生成、成長、変形が生じ、ひげおよび膨れが生成することも確認された。
- 3) 型内の可視化観察から、流動過程においてフローフロントの破泡の痕跡（シルバーストリーク）が形成され、圧縮過程では樹脂表面が T_g 以上の型面に押しつけられ、シルバーストリークが消失することを確認した。

謝辞

金型製作にご協力いただいた池上金型工業㈱に謝意を表します。

参考文献

- 1) 馬場文明: プラスチック精密成形技術の展望, 三菱電機技報, 178(2004) 11
- 2) 宇野泰光: 高速ヒートサイクル成形・超臨界微細発泡成形ハイブリッド射出成形技術, プラスチック成形技術, 20, (9) (2004) 9

- 3) 宇野泰光: 高転写射出成形技術, プラスチックエー ジ エン サ ク ロ ペ デ ィ ア 進 歩 編, 2006 (2005) 223
- 4) 村田泰彦, 木野賢太郎, 飛田広樹, 赤池拓也, 横田太平: 誘導加熱・冷却金型による射出成形品外觀の向上, 精密工学会誌, 75, 3 (2009) 407
- 5) 横井秀俊, 村田泰彦, 坂本一郎: ガラスインサート金型におけるガラスキャビティ面の充填特性評価, 成形加工, 6, 5, 349 (1994)