
超高速射出成形による複屈折低減効果の検証

Examination of Birefringence Reduction Effect by Ultra-high-speed Injection Molding

原田 知広* 小鷹 一広* 横井 秀俊**

Tomohiro HARADA Kazuhiro KOTAKA Hidetoshi YOKOI

要 旨

超高速射出成形は、従来、形状転写特性が向上することから注目を浴びてきたが、複屈折に代表される成形品内部の光学特性への影響については報告がない。一方、最近、フレネルレンズなど、良好な形状精度と光学精度を併せ持つ成形品が広く望まれている。そこで、超高速射出成形が複屈折に与える影響を探ることを目的に、薄肉キャビティを用いて実験検証を行った。成形品の複屈折を評価した結果、厚み方向の複屈折と断面方向の複屈折パターンとの相関が見られた。併せて、金型内可視化実験を行った結果、超高速射出成形が金型内における樹脂流動の高速化に寄与することを確認した。これらの結果から、金型内における速度分布を低減でき、断面方向のせん断履歴が反映されるかたちで超高速射出成形による複屈折低減効果が検証できた。

ABSTRACT

An ultra-high-speed injection molding that forms microscopic shapes is in demand. In the past, transcription characteristics were examined. Other characteristics, however, were not reported. Molded components having precise transcription shapes and good optical characteristics, such as Laser Disks and Fresnel lenses, also need to be examined. Experiments were made on how to influence ultra-high-speed injection molding on optical characteristics with a thin cavity. Specifically, we quantitatively evaluated birefringence of molded samples. Birefringence to thickness direction correlates with a cross-sectional birefringence pattern. Experiments were made to confirm that ultra-high-speed injection molding contributed to the speedup of resin flow front in a cavity. We found that ultra-high-speed injection molding reduces velocity distribution inside the cavity and birefringence reduction effect is reflected shearing record.

* 研究開発本部 基盤技術研究所

Core Technology Research Center, Research and Development Group

** 東京大学 国際・産学共同研究センター

Center for Collaborative Research, The University of Tokyo

1. 緒言

超高速射出成形は、スキン層形成を抑制して充填できることから、これまで転写特性を向上する目的で実験され、その効果が検証されてきた¹⁾。しかしながら、他の特性に関しては報告された例はわずかである²⁾。特に、光ディスク、フレネルレンズ、導光板など微細形状を伴う光学部品では、良好な形状精度と光学特性を併せ持つ成形品が広く望まれていることから、超高速射出成形によるせん断歪みの増加等の悪影響が光学特性に及ぼす影響を探る必要がある。

そこで、本報告では、超高速射出成形が光学特性のうち複屈折性にどのように影響するかを探ることを目的に、実験検証を行った。以下、その概要を報告する³⁾。

2. 技術

2-1 複屈折へのアプローチ

射出成形品に要求される光学品質には、屈折率、複屈折、反射率などが挙げられる。これらのうち複屈折は、その樹脂材料の分子構造に起因する光学異方性などとともに、成形プロセスも大きな影響を及ぼす。

複屈折に影響を与える原因には、ガラス転移点以上の流動時の応力によって発生する配向歪みと、ガラス転移点以下の冷却時に発生する熱歪み（冷却歪み）がある⁴⁾。

配向歪み：キャビティ内へ射出された熔融樹脂は、金型壁の表面と接する部分に非流動層（スキン層）を形成しながら充填されていく。温度の低い金型表面に熔融樹脂が接触するとこの部分の流動速度が低下し、スキン層と中央の流動層との間に大きな速度勾配が発生する。速度が異なる層間にはせん断応力が発生し、分子配向層が生じる。この分子配向が凍結されて残り、配向歪みが発生する。

冷却歪み：金型内で固化した樹脂は、金型や取り出し後の大気によってさらに冷却され、この温度変化に伴い冷却歪みが発生する。成形品は板厚方向の温度分布により中心部ほど冷却歪みが大きくなり、中心部の樹脂は大きく収縮しようとするが、収縮の小さい表層部に拘束されて自由に収縮できず、中心部に引張応力が発生して残留し、逆に表層部には圧

縮応力が残留することになる。

複屈折低減のためには、成形過程でいかに内部歪みを少なくするかが不可欠である。すなわち型内での樹脂圧力の低減、成形材料の流動分子配向の緩和、成形品内に発生する残留応力の低減が、成形において極めて重要となる。

一方、超高速射出成形は、①高速充填によりスキン層（のちに固化層）の樹脂冷却が遅れ、固化層の生成が抑制されることで流動層が確保されたまま充填できる、②薄肉キャビティでは、高速充填時にせん断発熱が生じて、配向が緩和する時間が延長できる、等の効果が考えられる。そこで、本報告では、薄肉キャビティに対する透過方向及び断面方向の複屈折を詳細に検証することで、超高速射出成形の複屈折への影響を探った。特に、成形中の流動段階で生じる分子配向が複屈折に与える影響を探るために、得られた成形品の複屈折を定量的に評価した。併せて、金型内の樹脂流動の高速化に寄与したことを確認するため、金型内可視化実験を行った。

2-2 実験方法

2-2-1 実験条件

金型構造および計測・可視化手法は既報⁵⁾に記述されているのでここでは割愛する。使用したキャビティ形状および計測位置をFig.1に示す。キャビティは、肉厚0.5mmの矩形状キャビティを使用し、キャビティエンドの樹脂溜り用入れ子を変更することで、開放端／閉鎖端の調整をした。圧力センサは、直径φ2.5mmの直圧式圧力センサ（Type6159A、日本キスラー（株））をゲートから20mm、40mm位置において流動方向に20mm間隔で2本組み込んだ。材料にはPMMA（SV001、三菱レイヨン（株））、PC（AD-5503、帝人化成（株））、COP（ZEONEX E48R、日本ゼオン（株））を用いた。また、成形機は射出速度2000mm/sの電動超高速射出成形機ROBOSHOT α-100iA LINEAR（スクリュ径φ20mm、ファナック（株））を使用した。Table 1にPMMAの基準成形条件を示す。また、本実験では、観察・評価前処理として、成形品の残留歪みを除去するために、PMMA；80℃（2h）、PC；100℃（2h）、COP；120℃（2h）の条件でアニール処理を行った。

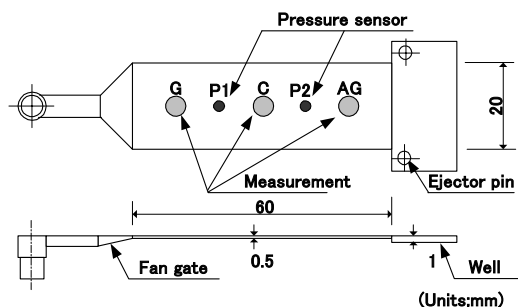


Fig.1 Cavity shape, set-up locations of pressure sensors and birefringence measurement areas.

Table 1 Set-up molding conditions for PMMA.

Resin	Unit	PMMA/SV001 (Mitsubishi Rayon)
MFR(ASTM D1238)	(g/10min)	21 (230°C, 37.3N)
HDT(ASTM D648)	(°C)	90 (1.82MPa)
Cylinder temperature	(°C)	245-250-250-240-60
Mold temperature	(°C)	60
Injection rate (Screw injection speed)	(cm ³ /s) (mm/s)	50/100/200/400/600 (157/318/637/1274/1910)
Holding pressure	(MPa)	20
Holding time	(s)	0.5
Cooling time	(s)	40

2-2-2 評価方法

透過方向（0.5mmの肉厚方向）の複屈折の評価には、複屈折測定装置（F3HP-13NDT，アドモンドサイエンス(株)）を使用した。測定位置はゲートから10, 30, 50mmの各位置において、測定を行った。これらの位置をそれぞれG（ゲート側），C（中央），AG（反ゲート側）と呼称する。

また，超高速射出成形が断面方向の複屈折に及ぼす影響を検討するために，クロスニコルにおいて成形品を偏光顕微鏡（BH-2，オリンパス(株)）により断面観察した。測定位置はゲートから0, 10, 20, 30, 40, 50, 60mm位置において，幅5mmの短冊状に切り出し，切り出し面を2000番の研磨紙で仕上げた後，7箇所での測定を行った。

2-3 実験結果

2-3-1 フローフロント速度

PMMAのシリンダー温度条件を変更した成形において可視化実験により計測したフローフロント速度（キャビティ内を樹脂先端が流動する速度）をFig.2に示す。速度はゲートから20～40mmにおける平均速度を示している。フローフロ

ント速度は射出率（スクリュが1秒当りに押し出す樹脂容量）の増加に伴って，大きくなっていった。また，シリンダー温度を高く設定すると，フローフロント速度が大きくなる傾向を示した。

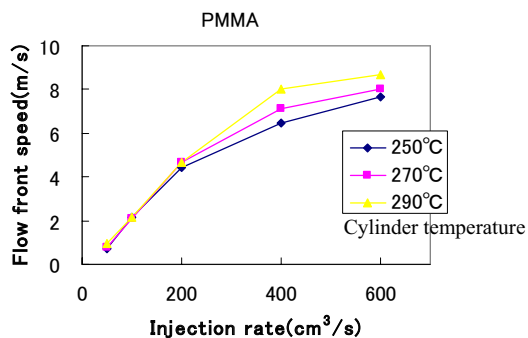


Fig.2 Influence of cylinder temperature on the relationships between injection rate and flow front speed.

2-3-2 樹脂圧力

Fig.3にPMMAにおけるキャビティ内圧力センサのピーク圧力を示す。ピーク圧力は，射出率の増加に伴って徐々に小さくなっていった。

また，シリンダー温度を変えた場合のピーク圧力は，シリンダー温度を高く設定すると，ピーク圧力が小さくなる傾向を示した。これは，超高速充填では，キャビティへの充填時間の大幅な短縮とせん断発熱による樹脂温度の上昇により，充填過程において樹脂が低粘度化され，流動抵抗の低下とともに，充填圧力の低下につながったものと考えられる。

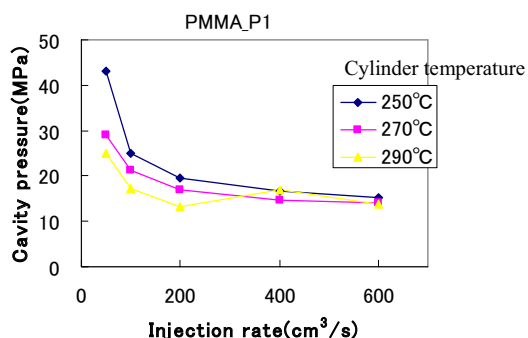


Fig.3 Relationships between injection rate and peak of cavity pressure under different cylinder temperatures.

2-3-3 透過方向の複屈折（開放端）

Fig.4にPMMAの各設定射出率に対する複屈折測定結果を示す。複屈折（位相差）は射出率の増加に伴って小さくなっていた。また、複屈折分布も射出率の増加に伴って小さくなっていた。同図のこの結果は、キャビティ内における樹脂の流動速度が遅いと、見かけ粘度が上昇し、結果としてせん断応力の増加、複屈折の増加につながったと考えられる。また、複屈折には配向歪みの影響と熱歪みの影響が重畳していると考えられるが、PMMAは光弾性定数が小さく、熱歪みの影響は小さいものと考えられる。つまり、本結果は、超高速射出成形による配向歪みの低減と考えられる。

Fig.5にPCの各設定射出率による偏光観察結果を示す。PCに関しては、複屈折測定範囲を超える複屈折を有するため、偏光観察結果から定性的に検討することにした。観察結果から、PCに関しても、高速充填することで複屈折が低減できることを確認した。

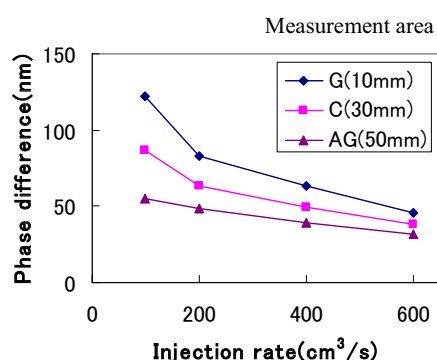


Fig.4 Relationships between injection rate and phase difference measured at different locations. (PMMA, Open-end cavity)



Injection rate (cm³/s) 50 100 200 400 600

Fig.5 Birefringence pattern of PC molded samples under different injection rates (Open-end cavity).

2-3-4 透過方向の複屈折（閉鎖端）

Fig.6に樹脂溜り用入れ子を変更し、保圧を付与した通常成形において0, 20, 40, 60, 80MPaと設定を変えたPMMAの各設定射出率に対する複屈折測定結果を示す。結果から、複屈折は射出率の増加に伴って小さくなっており、従来条件を100cm³/s程度と考えると、おおよそ1/2程度に低減していることがわかる。また、保圧の影響は小さかった。

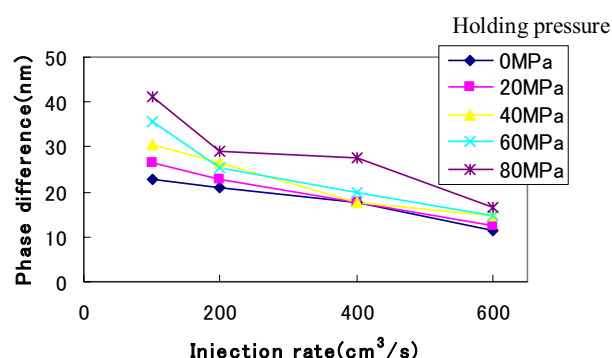


Fig.6 Influence of holding pressure on relationships between injection rate and phase difference. (PMMA, Measurement area G, Close-end cavity)

2-3-5 断面方向の複屈折（開放端）

次に、超高速射出成形が複屈折に及ぼす影響を詳細に探るために、開放端キャビティによるPC成形品を断面方向（樹脂流動に直交する方向）に偏光観察した結果をFig.7に、低速射出率条件50cm³/sと高速射出率条件600cm³/sの順で示す。流動層（各サンプル肉厚中央部の暗視領域に対応）はゲート近傍ではいずれも線状に狭く分布しているが、流動がキャビティ末端に近づくにつれて大きく広がっていく様子が観察された。特徴的な挙動として、線状の流動層は、流動長さに比例して広がるのではなく、ある領域で急速に広がる傾向があること、またその遷移領域は高速射出成形条件ほどゲートに近づき、その幅も全体的に広がっている。つまり、超高速射出成形を用いることで、0.5mmの薄肉キャビティであっても流動層を広く確保することができ、さらに、充填時間の短縮に伴うせん断応力時間積分の減少により複屈折が低減したと考えられる。

また、高速射出に伴うせん断発熱により、樹脂内部温度が上昇し、分子配向層の緩和時間が長くなったことにより複

屈折が低減したと考えられる。つまり、断面観察によって見られる流動層と呼称している領域は配向層が緩和層に変化した部分とも言える。

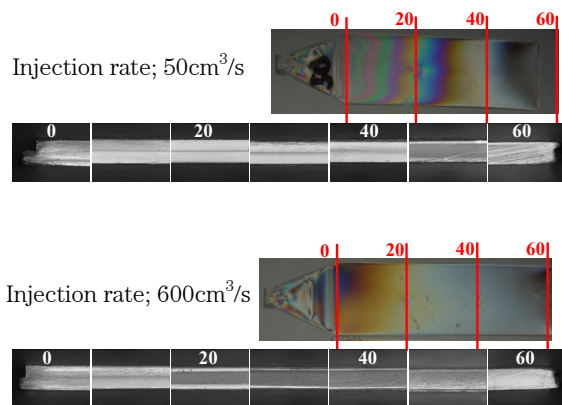


Fig.7 Cross-sectional polarized observation and birefringence pattern of the PC molded sample under differential injection rates. (Open-end cavity)

2-3-6 まとめ

以下に本実験で得られた結果を要約する。

- (1) PMMA, COP, PCの3種の材料では、超高速射出成形により流動過程において、複屈折が低減できる。
- (2) PMMAにおける保圧付与の通常成形実験結果から、流動・緩和・冷却過程後の成形品においても超高速射出成形により複屈折が低減できる。
- (3) 透過複屈折と断面複屈折の結果から、断面観察における流動層（緩和層）の広がりや透過方向の複屈折に相関がある。

3. 結言

0.5mm厚の薄肉キャビティを用いて、超高速射出成形実験を行い、断面方向のせん断履歴を反映するかたちで超高速射出成形による複屈折の低減効果を確認した。

4. 今後の展開

超高速射出成形の分子配向層への効果をより明確にするために、断面方向複屈折の定量化方法を検討する。

謝辞

本実験は、(財)生産技術研究奨励会の平成16, 17年度「“超”を極める射出成形」特別研究会により遂行されたものであることを記し、謝意を表します。

参考文献

- 1) 原田知広他：プラスチック成形加工学会年次大会予稿集, 379-380 (2005)
- 2) 増田範通他：プラスチック成形加工学会年次大会予稿集, 523-526 (2004)
- 3) 原田知広他：プラスチック成形加工学会年次大会予稿集, 249-250 (2006)
- 4) 横井秀俊編：射出成形事典, 産業調査会, 73 (2002)
- 5) 横井秀俊他：プラスチック成形加工学会年次大会予稿集, 243-244 (2004)

注) ZEONEXは日本ゼオン社の商標です。