

超臨界流体を利用したポリマー成形加工におけるシミュレータ開発
- 射出成形CAEへの適用(2) -

Development of a simulator of injection molding for polymer processing
using a supercritical fluid. - Application to injection molding CAE (2) -

(東レエンジニアリング) ○ (正) 中野 亮, (賛) 菊池 泰志, (賛) 岡田 有司
(東北大) (正) 佐藤 善之, (正) 猪股 宏, (協) Richard Lee Smith, Jr.
(広島大) (協) 滝島 繁樹, (正) 木原 伸一, (協) 春木 将司
(東京理科大) (協) 大竹 勝人

Keywords: Supercritical fluid, Injection molding, Simulation

1. 緒言

現在、熱可塑性樹脂を用いた通常の射出成形工程をシミュレートするCAEソフトウェアは実用化され広く活用されている。しかしながら、近年注目されつつあるCO₂などの超臨界流体を利用した射出成形をCAEに適用した例は少ない。

そこで本報ではポリマー/CO₂混合系射出成形の成形品外観予測のため、表面発泡発生メカニズムに関して考察し、本メカニズムの数値モデル化を行い、射出成形CAEプログラムに実装した。以下にその概要を報告する。

2. 表面発泡度計算プログラムの開発

2.1 発泡状態の分類

射出成形におけるポリマー/CO₂混合系の発泡は、成形品の厚さ方向に関して表面層に生じる発泡状態と内層に生じる発泡状態の2つに大別して考えることができる。

前報¹⁾で報告したとおり、後者の内層発泡は保圧工程において十分な2次圧力を付加し、溶解度を高めることによって発泡を解消することができる。この内層部の発泡制御については、既存の射出成形CAEを用いて次のように発泡状態を予測することが可能である。すなわち前報¹⁾にある粘度推算プログラムを用いて混合系の粘度を推算し、既存の射出成形CAEにインプットする。そして射出成形CAEより出力された圧力・温度履歴をもとに、前報¹⁾の溶解度推算プログラムを用いて十分な溶解

Ryo NAKANO*, Yasushi KIKUCHI, Yuji OKADA

Toray Engineering Co., Ltd.

Yoshiyuki SATO, Hiroshi INOMATA, Richard Lee Smith, Jr., Tohoku Univ.

Shigeki TAKISHIMA, Shin-ichi KIHARA, Masashi HARUKI, Hiroshima Univ.

Katsuto OTAKE, Tokyo Univ. of Science

* 1-1-1 Sonoyama, Otsu, Shiga, JAPAN 520-0842

Tel: 077-533-7139, Fax: 077-533-7224

E-mail: ryo_nakano@toray-eng.co.jp

度まで保圧が付加されたかどうかを確認することができる。

そこで本検討では、射出成形の充填工程において発生する表面層の発泡状態のシミュレーションに的を絞って開発を行うこととした。表面層の発泡進展は外観不良を引き起こすため、ポリマー/CO₂混合系の射出成形を用いた製品開発を実用化する上で主要な課題となる。本検討により表面層の発泡をシミュレートして発泡を抑制する条件を探索できれば、低圧成形、低そり成形、軽量化など混合系射出成形の利点を活かした実用化に貢献できるものと考えられる。

2.2 表面発泡の発生メカニズム

表面層の発泡は次のようなメカニズムで発生するものと考えられる。すなわち射出成形の充填工程においてスプル、ランナ、ゲートを通過してキャビティへ流入したポリマーはFig.1に示すようにフローフロントの進行と共に前方へ進み、やがてフローフロントにおける噴水流れによって中心から表面へ転写される。熱可塑性樹脂の射出成形では金型キャビティの表面温度は熔融樹脂温度に対して十分に低温に冷却制御されているため、表面に転写されたポリマーは短時間で冷却固化するものと考えられる。

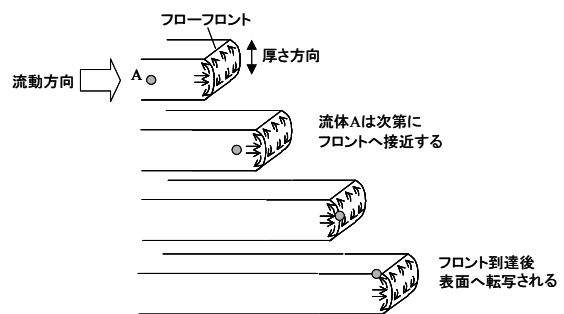


Fig.1 Conceptual diagram at filling process

従って、充填中のフローフロントがキャビティの各位置に到達した時点で、フローフロントの厚さ方向中心部に生じていた発泡状態が、成形品の表面に転写されて凍結されるものと考えてよい。

このフローフロント部における厚さ方向中心部の発泡状態は、その部分のポリマーが上流から流動してくる際にたどった履歴に応じて定まることになる。すなわち流動するポリマーにおける CO_2 濃度に対して、当該ポリマーの圧力・温度履歴により定まる溶解度がこれ (CO_2 濃度) を下回ったときから発泡の進展が始まることになる。Fig.2 に概念図を示す。

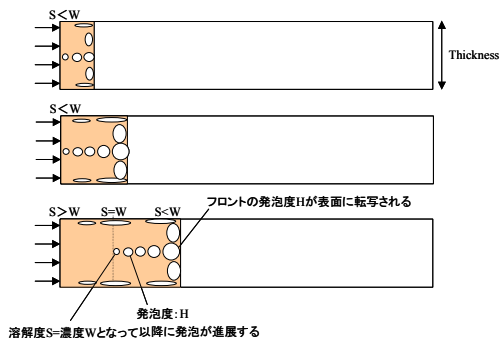


Fig.2 Mechanism of foaming in the surface

実際には、発泡の進展は濃度が溶解度を下回ってから若干の遅れをもって進行し、少なくとも目視で確認できる程度まで成長するためにはある程度の時間が必要になるものと考えられる。そこでシミュレータを用いて上記の発泡開始点（溶解度が濃度を下回る時点）からそのポリマーがフローフロントに到達して表面に転写されるまでの時間を推算することによって、表面の発泡状態を推定する指標とすることができるものと考えられる。

2.3 表面発泡シミュレータの解析アルゴリズム

上記の原理に基づき、シミュレータの解析アルゴリズムを以下に示す。解析対象となるキャビティを FEM メッシュに分割し、要素頂点である節点 i における発泡度を H_i 、溶解度を S とする。

- (1) 発泡度の初期値をゼロとする。 $H_i = 0$
- (2) 時刻 $t = t_n$ にて充填解析を実施し、各節点間の流量 Q を求める。
- (3) 時刻 $t = t_n$ にて充填解析より得られた圧力・温度より溶解度 S を求める。
- (4) 時刻 $t = t_n$ にて以下のように発泡度 H_i を更新する。

節点 i について

$$S \geq W \text{ のとき } H_i = 0$$

$$S < W \text{ のとき } H_i = \sum_j Q_j H_j / \sum Q_j + \Delta H$$

j : 上流節点
 Q_j : 上流からの流入流量

ΔH : 発泡度の増分

(5) 節点 i がフローフロントで初めて充填されたとき、表面発泡度 $H_i^* = H_i$ とする。

(6) 時刻 $t = t_n + 1$ として上記(2)~(6)を繰り返す。なお、上記(4)における発泡度の増分は以下のように算出する。

発泡度 $H =$ 発泡開始からの時間 とすれば、

$$\Delta H = t_n - t_{n-1} \quad (\text{計算ステップの時間増分})$$

上記(2)から(6)を充填完了まで繰り返し、最終的には表面発泡度 H_i^* が全てのキャビティ節点について算出される。この H_i^* を既存の CAE ポストプロセッサによりコンター表示すれば、表面発泡度の推算結果をグラフィカルに表示することができる。

3. 計算事例 (試験平板モデル)

上記アルゴリズムを射出成形 CAE 「3D TIMON」 (東レエンジニアリング(株)製) に実装し、平板試験片モデル (100×30 mm, $t = 2$ mm) で計算を行った。本計算の結果得られた充填完了時の溶解度分布を Fig.3、表面発泡度 H_i^* の分布を Fig.4 に示す。

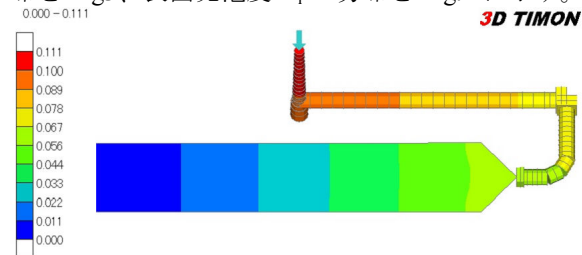


Fig.3 Distribution of the solubility

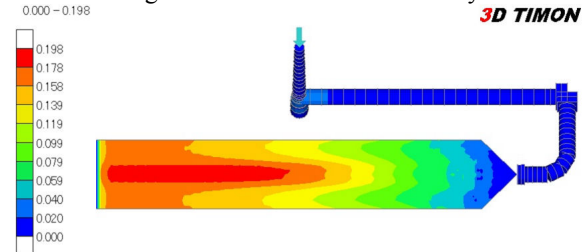


Fig.4 Distribution of the foaming degree

4. 結言

- 1) 表面発泡発生メカニズムについて考察した。
- 2) 上記 1) に基づく表面発泡シミュレーションの解析アルゴリズムを示した。
- 3) 上記 2) を射出成形 CAE に実装し、計算事例を示した。

謝辞

本研究開発は NEDO 平成 18 年度～平成 19 年度知的基盤創生・利用促進研究開発事業の委託を受けて実施したものである。関係各位に感謝する。

参考文献

- 1) 菊池、中野、岡田、佐藤、猪股、スミス、滝島、木原、春木、大竹：成形加工'09, 91-92