

チューブラー二軸延伸の予熱工程の理論解析

Theoretical Analysis for Preheating Process of Double Bubble Tubular Film

(金沢大院) ○ (学) 鎌谷雄作, (正) 山田敏郎,
(出光興産) (正) 金井俊孝, (大倉工業) (正) 阪内邦夫, (正) 上原英幹

A theoretical model taking into account crystallization in a preheating process of double bubble tubular film was developed. In this study, linear low density polyethylene (LLDPE) are used. The authors predicted values of temperature and crystallinity and compared the experimental values with predicted ones. The predicted results showed the same tendency as experimental results. However, good results could not be obtained depending on conditions.

Key words: Double bubble tubular film/ Crystallization/LLDPE

1. 緒言

高分子フィルムは様々な分野に普及しており、品質や生産性の向上、高付加価値化などの要求が年々高まっている。

フィルムの特性を最大限に発現させるためには、その工程を理論的に理解しておく必要がある。しかしながら、代表的なフィルム製膜法であるチューブラー法の研究は、複雑な要因が関係しているため、実際の製膜工程に適用できる研究は、現状ではほとんど行われていない。そのため、理論的な解析はほとんどなく、工程操作条件は経験や試行錯誤によるものが多い。

そこで本研究では、チューブラー法予熱工程での結晶化を考慮した解析モデルを導出し、予熱工程内のフィルム温度と結晶化度の変化を理論的に予測する。以前の福田の研究報告¹⁾では、2種類の直鎖状低密度ポリエチレン(以下LLDPE)と超低密度ポリエチレン(VLDPE)の3元系ブレンドを用いて検討を行い、ある程度の予測が可能なが解かった。そこで、今回の研究報告では、LLDPE単体を用い、樹脂を変えても予測が可能であるか検証した。

2. 理論

2. 1 解析モデル

予熱工程内のフィルム温度、結晶化度の予測を行
Yusaku Kamatani and Toshiro Yamada*: Graduate School of Natural Science & Technology, Kanazawa University, Toshitaka Kanai: Idemitsu Kosan Co.,Ltd., Kunio Sakauchi and Hideki Uehara : Okura Industrial Co.,Ltd.

* Kakuma-machi, Kanazawa, Ishikawa, 920-1192, Japan, Tel. 076-234-4802, Fax. 076-234-4829,

E-mail: tyamada@t.kanazawa-u.ac.jp

うために、Fig.1 に示す予熱工程モデルを考える。円筒状のフィルムが速度 $V[\text{cm/s}]$ で移動し、赤外線 (IR) ヒータにより加熱され、次の延伸工程で延伸が開始される。予熱工程では、フィルムの延伸や変形がほとんどないという実験結果から、延伸や変形の影響は無視できるものと仮定する。予熱入口から距離 $z[\text{cm}]$ 離れた点でのフィルム温度 $T[\text{K}]$ 、結晶化度 $x[-]$ の変化を予測するため、フィルム微小区間 $dz[\text{cm}]$ での熱収支式、結晶化式を導出した。

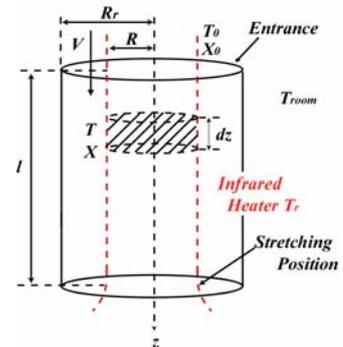


Fig.1 Preheating Process

2. 2 状態方程式の導出

2.2.1 熱収支式

熱収支式を導出するにあたり、金井ら²⁾が提案したインフレーション法解析モデル、山田ら^{3,4)}が提案したフラット法縦延伸解析モデルを引用した。

$$\rho C_p Q dT = 2\pi R_r \sigma \varepsilon_r T_r^4 F \gamma_p \alpha_{pc} dz + \rho Q \Delta H_c dx - 2\pi R dz \sigma \varepsilon T^4 - 2\pi R dz h_a (T - T_{room})$$

ρ : 密度 C_p : 比熱 Q : 吐出量 R_r : IRヒータ半径
 σ : ステファン・ボルツマン定数 ε_r : IRヒータ放射率
 T_r : IR温度 F : 形態係数 γ_p : 熱到達率 α_{pc} : 熱吸収率
 R : フィルム半径 ε : フィルム放射率
 ΔH : 結晶化潜熱 h_a : 熱伝達率 T_{room} : 雰囲気温度

2.2.2 結晶化式

結晶化度式は、中村らが導出した非等温結晶化度式⁵⁾を用いた。

$$x(t) = x(\infty)[1 - \exp\{-\left(\int_0^t K(T)dt\right)^n\}]$$

$K(T)$ は非等温の結晶化速度定数、 n はアブラミ指数、 t は時間、 $x(\infty)$ はフィルムの最終結晶化度を示す。

$K(T)$ は Patel らが導出した次式を用いた。

$$K(T) = K_0 \exp\left[\frac{-U^*}{R(T-T_0)}\right] \exp\left[\frac{-C_3}{T(T_m^0 - T)f}\right]$$

U^* は固相-液相界面の輸送の活性化エネルギー、 R はガス定数、 $T_0=T_g-30$ 、 T_g はガラス転移点、 T_m^0 は平衡融点、 K_0 と C_3 はポリマー定数、 $f=2T/(T_m^0+T)$ である。

2. 3 解析方法

熱収支式、結晶化式を微分方程式に変形し、それをルンゲクッタ法を用いて解き、予熱工程入口から延伸開始点間のフィルム温度と結晶化の挙動を予測する。その際、予熱工程に進入するフィルム速度を、 $v=8.00, 9.67, 12.0$ [cm/s]と変化させ解析を行った。

3. 実験結果

解析との比較のために、予熱工程に進入するフィルム速度を 8.00, 9.67, 12.0[cm/s]と変化させ、延伸開始点でのフィルムの温度、結晶化度の値を測定した。温度は放射温度計で測定したが、接触型温度計で測定した方が正確に測れることが解かった。そこで、放射温度計と接触型温度計による温度測定の相関関係式を求め、測定値を接触型温度計の測定値に推算した。結果を Table1.に示す。

Table 1 Experimental Results

Experimental Results	Run1	Run2	Run3
Velocity v [cm/s]	8.00	11.8	15.8
Entrance Temp. T_0 [K]	331	330	325
Exit Temp. T [K]	382	375	368
Entrance Crystallinity x_0 [-]	0.436	0.434	0.440
Exit Crystallinity x [-]	0.492	0.479	0.465

4. 解析結果及び考察

フィルム温度と結晶化度の解析結果を Fig.2, Fig3 に示す。Fig.2, Fig.3 の塗りつぶし記号は、各速度での延伸開始点での実験結果を示している。フィルムの速度が速くなるにつれ、温度と結晶化度の変化が小さくなるという実際の挙動を示すことができた。しかし、温度の解析値は実験結果とのズレがある。本研究では、予熱工程では

LLDPE の融点まで昇温されないため、LLDPE は融解しないと仮定している。そこで TREF により溶融成分を考慮することで、融解による吸熱量の分温度の上昇が抑えられるという理由から、実験値に近づくことが期待できる。

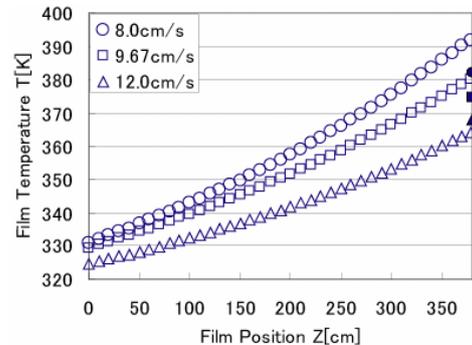


Fig.2 Predicted Film Temperature vs. Film Position

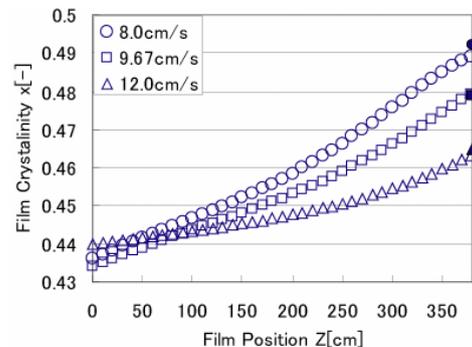


Fig.3 Predicted Film Crystallinity vs. Film Position

5. 結言

樹脂を変えてモデルの妥当性を比較検討した。解析結果は実験結果と同じ傾向を示すが、温度の解析結果に関しては実験結果と差がみられた。今後、LLDPE の融解を考慮した解析モデルを確立することで解析精度の向上が期待できる。

参考文献

- 1) 福田達夫, 山田敏郎, 金井俊孝, 上原英幹, 阪内邦夫: 成形加工シンポジウム要旨集, 311(2003)
- 2) 金井ら: “インフレーション成形における動力学的研究 [I] 結晶性ポリマーの解析”, SEN-I GAKKAISHI Vol.40, No12, P27-41 (1984)
- 3) T.Yamada and T.Matsuo: “Simulation model for roll drawing of film with infrared heaters”, Proceedings of ‘CHISA’98, E.6.5, Praha (1998.8)
- 4) T.Yamada, T.Yoshida, M.Fujii and T.Yoshii: “Simulation of Film Elongation in the Machine Direction”, PPS-16, P203-204, P651-652 (2000.6)
- 5) K.Nakamura, T.Watanabe, K.Katayama, T.Amano: J.Polym.Sci., Vol.16, P1077-1091 (1972)