共押出成形における樹脂の流動解析(Ⅲ) — T-die 内の流動に与える温度の影響 —

塩原 真由美*・Nouval Haedar Tubagus*

1. 緒 言

前報¹⁾では、シートやフィルム成形用の T ダイを用いて 2 つの樹脂を流し、入口の流量を変化させた場合に出口において樹脂間のインターフェースがどのような振る舞いを見せるのかについて検討を行った。T ダイは厚さに対して幅が広く、金型壁面の温度がダイ内の樹脂に伝達しやすいために温度の効果は無視することができない。また、出口付近では流路が特に薄くなっており、高いせん断によって粘性発熱が起こり、ダイ内の流動に影響を及ぼすことが考えられる。これら、金型壁面温度の効果や、壁面付近および流体と流体との摩擦によるせん断発熱の効果についてはこれまで解明がなされていない。そこで本報告では、3 次元 2 層 1/4 モデルを作成し、有限要素法を用いて数値実験を行い、T ダイ内の樹脂流動に温度がどのように影響するのかについて検討を行った。

2. 幾何学形状と数値モデル

T ダイの幾何学形状を図 1 に示す。図 1(a) は z 方向から見た T ダイの全体図、図 1(b) は x 方向から見た断面図である。T ダイの入口は幅 50 mm、厚さ 11 mm で、入口から出口までの距離は 92 mm、出口の幅は 500 mm、厚さは 1 mm である。本報では 3 層の共押出成形について検討を行うこととする。計算に使用する幾何学形状モデルとして 3 次元 2 層 1/4 モデルを作成し、有限要素格子に分割したものを図 2 に示す。図 2(a) は z 方向から見た全体図で、図 2(b) は x 方向から見た対称面 ($x=0$) の図である。このモデルの要素数は 6664 である。幾何学形状作成と有限要素の分割には格子生成プログラム GAMBIT を用いた。

数値モデルは非圧縮性流体を仮定し、非等温非 Newton モデルを使用して定常計算を行った。材料は樹脂 A (RYNITE FR 535)、樹脂 B (RYNITE 555) を用いた。それぞれ密度を 1.75 g/cm^3 、熱伝導率を $1.5 \times 10^4 \text{ erg/cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$ 、比熱を $2 \times 10^7 \text{ erg/g} \cdot ^\circ\text{C}$ とし、粘性発熱を考慮した。この際、粘度は、せん断速度と温度の関数として

与えた。粘度とせん断速度の関係を Power law で近似し、粘度と温度の関係をアレニウスの近似則で表した。粘度とせん断速度の関係を図 3 に示す。 T_A 、 T_B はそれぞれ樹脂 A の温度、樹脂 B の温度を示している。

境界条件は図 2 に示すとおりである。モデルの対称性から、対称面が 2 つ存在する。入口は 2 つあり、入口 1 から樹脂 A、入口 2 から、樹脂 B を流す。壁面で流体は滑らないものと仮定した。温度の境界条件を図 4 に示す。壁の境界条件を変えてダイ内の流動に与える影響を検討した。一方は断熱で、もう一方は温度を 170°C とし、冷却を仮定した。また、入口の温度を 200°C と仮定した。

以上の計算条件に基づき有限要素法を使って計算を行った。

3. 結果および考察

図 5 は、対称面 ($z=0$) における圧力分布および粘度分布、温度分布をそれぞれ示している。壁面温度の境界条件を断熱としたものを向かって左側に、壁面温度の境界条件を 170°C としたものを向かって右側に示す。圧力分布を比較すると、壁面の温度を 170°C とした場合の方が圧力降下が大きいのことがわかる。その差は約 2 倍となっている。粘

図 1 T-die の幾何学形状

* Shiohara, Mayumi/Nouval Haedar Tubagus
 (株)計算力学研究センター 技術開発部
 東京都品川区戸越 1-7-1 戸越 NI ビル 8 F (〒145-0064)
 2002.8.29 受理

度分布から、壁面温度を断熱と仮定した場合では、壁面温度を 170°C とした場合に比べると粘度が高くなっていることがわかる。また、壁面温度を 170°C とした場合、向かって右端の壁面付近において粘度が高くなっている部分が見ら

(a) z 方向から見た図

(b) x 方向から見た図 (x=0面)

図2 有限要素格子と境界条件

図3 粘度のせん断速度依存性

図4 温度条件

れる。この部分では、せん断速度の影響よりも壁面冷却の効果の方が強く現れたものと考えられる。温度分布においては、壁面の境界を断熱と仮定した場合に、ダイ内部から壁面に向かって若干の温度上昇が見られる。これは、粘性発熱によるものと考えられる。壁面の境界条件を 170°C と仮定した場合、樹脂が壁面によって急激に冷やされていることがわかる。この時、壁面から少し内側に入った部分で周りよりも温度が高くなっている。これは、壁面により樹脂が冷やされるために粘性発熱の効果が壁面よりも少し内側より表われたためと考えられる。

図6に $x=180\text{ mm}$, $z=0\text{ mm}$ の位置での温度分布を示す。横軸に y 座標、縦軸に温度を示している。下図は、 $x=180\text{ mm}$ における断面形状を示している。 $y=0\text{ mm}$ が出口にあたる。断熱を仮定した場合に壁面と出口付近では粘性発熱の影響で温度が上昇していることがわかる。特に壁面近傍では約 7°C の温度上昇が見られる。一方、 170°C を仮定した場合、せん断発熱と冷却の両方の効果が現れている。壁面と出口付近で冷却の効果が現れ壁面から少し内側でせん断発熱の影響が現れている。

図7にダイ内全体の温度分布を示す。図7(a)は断熱を

図5 対称面における(a)圧力分布および、(b)粘度分布、(c)温度分布

図6 温度分布 ($x=180\text{ mm}$, $z=0\text{ mm}$)

図7 ダイ内全体の温度分布

仮定した場合の結果、図7(b)には170°Cを仮定した場合の結果を示す。図7(a)から粘性発熱がダイ内全体の樹脂の温度を上昇させていることがわかる。一方、入口の温度200°Cを保つ傾向も見られ、全体の流動領域に対して約35%を占めている。図7(b)からダイ内全体にわたって強い冷却の効果と若干の発熱の粘性影響が見られる。壁面が広いために冷却の効果は影響が大きく、温度170°Cの領域は全体の流動領域に対して約25%も占めることがわかった。

図8上図において×印で示したものは、 z 軸に平行な線Aである。線Aに沿って速度の y 成分を図8下図に示した。横軸に z 方向(Tダイの厚さ方向)の位置を示した。 $z=0$ mmが対称面、 $z=0.9$ mmが壁面である。破線が断熱、実線が $T=170^\circ\text{C}$ の温度境界を仮定した場合の結果である。両方とも壁面では速度が0である。断熱を仮定したものは、 $T=170^\circ\text{C}$ を仮定したものに比べ対称面付近で勾

図8 速度分布(A線)

配が滑らかな分布を示している。 $T=170^\circ\text{C}$ を仮定した場合は、壁面冷却の効果が対称面で大きな速度勾配として現れ、対称面付近のせん断速度を大きくさせている。その結果、図5(b)で見られるように対称面で粘度の低い部分が見られたものと示唆される。このことから壁面170°Cを仮定したときこの領域では温度の影響よりもせん断速度の影響が強く現れたものと考えられる。

4. 結 言

Tダイをモデル化し壁面の温度条件を変えて数値解析を行った。その結果、温度がダイ内の樹脂の流動に及ぼす影響を確認することができた。

参 考 文 献

- 1) 塩原真由美他：成形加工, 14(5), 298 (2002)
- 2) Uwaji, T. et al : *Numerical Analysis on Wrap around Phenomena of Stratified Two Phase Flow*, PPS-14, Yokohama, Japan, 431 (1998)
- 3) Tubagus, N. H. et al : *Numerical simulation of the polyethylene T-die co-extrusion with a differential viscoelastic model*, Asian Workshop on Polymer Processing, Singapore, 10 (2002)