

文章编号:1001-4934(2010)01-0011-03

# 考虑压力对黏度影响的注塑填充过程数值模拟

麻向军

(华南理工大学 聚合物新型成型装备国家工程研究中心, 广东 广州 510640)

**摘要:** 为了研究熔体黏度模型对注塑成型数值模拟精度的影响,采用不考虑压力和考虑压力对黏度影响的 WLF-Cross 模型,利用 Moldflow Plastics Insight 软件对制品填充过程进行了数值模拟。结果表明,注射压力较高时,采用考虑压力影响的黏度模型计算得到的注射压力和熔体温度显著增加,型腔填充阻力越大,注射压力和熔体温度增加越大。

**关键词:** 黏度模型;填充过程;注射压力;熔体温度;数值模拟

**中图分类号:** O242

**文献标识码:** A

**Abstract:** In order to investigate the influence of viscosity model on the accuracy of numerical simulation for injection molding, Moldflow Plastics Insight software was used to simulate the mold filling based on WLF-Cross model with and without considering the influence of pressure. Results showed that the injection pressure and melt temperature obtained by the viscosity model considering the influence of pressure increased obviously at higher injection pressure, and the injection pressure and melt temperature increased more significantly with greater filling resistance of cavity.

**Key words:** viscosity model; mold filling; injection pressure; melt temperature; numerical simulation

## 0 引言

注塑成型过程的数值模拟对于提高模具设计质量和效率,减少修模次数,缩短新产品开发周期等具有重要作用,广泛用于优化制品设计和模具设计及注塑工艺参数<sup>[1-2]</sup>。影响注塑成型过程数值模拟精度的因素较多,如:网格质量、材料参数和黏度模型等,其中黏度模型对于填充和保压过程的模拟精度具有重要影响。目前,在填充过程数值模拟中广泛采用修正的

Cross 模型描述黏度随剪切速率的变化,WLF 模型描述黏度随温度的变化,许多材料由于缺乏黏度随压力的变化关系,计算时往往忽略压力对黏度的影响。注塑成型过程中,注射压力往往达到 100 MPa 以上,这时压力对熔体黏度的影响很大。本文利用 Moldflow Plastics Insight 软件对制品填充过程进行数值模拟,通过比较考虑压力和不考虑压力对黏度影响时填充过程数值模拟结果,以期深入认识黏度模型对模拟精度的影响。

收稿日期:2009-10-14

作者简介:麻向军(1966-),男,博士,副教授。

# 1 数学模型

## 1.1 几何模型和网格

本文主要研究黏度模型对注塑成型填充过程数值模拟结果的影响,因此,制品形状较简单,以减小因网格质量对模拟结果的影响。制品形状如图1所示,外形尺寸长160 mm、宽40 mm、高8 mm,壁厚分别为1.6、1.8和2.0 mm。模具采用一模二腔,浇口采用潜伏式浇口,3种壁厚的制品采用相同尺寸的浇注系统。



图1 模拟计算制品三维图

所计算的制品属于薄壁件,采用目前使用最多的表面模型进行网格划分。网格划分后的模型包含3 692个三角形单元,单元平均形状系数为1.58,最大形状系数为3.41,网格匹配率为95.8%。

## 1.2 黏度模型

注塑成型过程中,加工条件主要通过影响塑料熔体的剪切速率、温度和压力影响熔体黏度。目前,描述剪切速率对黏度影响的模型较多,如:幂律模型、Carreau 模型、Cross 模型等,在注塑成型数值模拟中,广泛采用修正的 Cross 模型<sup>[3]</sup>:

$$\eta = \frac{\eta_0}{1 + (\dot{\gamma} / \dot{\gamma}^*)^{1-n}} \quad (1)$$

式中:  $\eta$  ——黏度

$\eta_0$  ——零剪切黏度

$\dot{\gamma}$  ——剪切速率

$\dot{\gamma}^*$  ——材料常数

$n$  ——非牛顿指数

描述温度对黏度影响的模型主要有 Arrhenius 方程和 WLF 方程,前者适用于熔体温度  $T > T_g + 100$ ,而后者适用的温度范围为  $T_g \sim T_g + 100$  <sup>[3]</sup>。注塑成型过程中熔体温度变化范围较大,Moldflow 软件采用 WLF 方程:

$$\eta_0(T) = \eta_0(T_g) \frac{A_1(T - T_g)}{A_2 + (T - T_g)} \quad (2)$$

式中:  $\eta_0(T_g)$  ——玻璃化温度的黏度

$A_1, A_2$  ——模型参数

塑料熔体是可压缩流体,在压力为(1~10) MPa 下成型时,体积压缩量小于1%,压力对黏度的影响较小。注塑成型时,注射压力可高达100 MPa 以上,此时会有明显的体积压缩,而体积压缩必然会引起自由体积减小,分子间距离减小,分子间作用力增大,引起熔体黏度上升。随着压力的提高,黏度以指数关系下降。定义压力的影响系数:

$$= \frac{d \ln \eta}{\ln P} \quad (3)$$

黏度与压力的依赖关系为<sup>[3]</sup>:

$$\eta(P) = \eta_P e^P \quad (4)$$

式中:  $\eta_P$  ——常压下熔体的黏度

对于塑料熔体黏度而言,压力的增加相当于温度的降低。注塑成型时,熔体黏度的压力效应和温度效应会同时起作用,Moldflow 软件中,考虑压力影响的 WLF 模型表达为:

$$\eta(T, P) = D_1 e^{\left[ \frac{A_1(T - T^*)}{A_2 + (T - T^*)} \right]} \quad (5)$$

$$T^* = D_2 + D_3 \cdot P$$

$$A_2 = A_2 + D_3 \cdot P$$

式中:  $D_1, D_2, D_3, A_1, A_2$  ——模型参数

式(1)和式(5)共同构成了7个参数( $n, \dot{\gamma}^*, D_1, D_2, D_3, A_1, A_2$ ) WLF-Cross 黏度模型。

$D_3 = 0$  时,黏度模型不考虑压力的影响,而  $D_3 \neq 0$  时,黏度模型反映了压力的影响。目前由于黏度对压力依赖性的数据很少,Moldflow 软件的材料数据库中大部分材料没有考虑压力对黏度的影响。

## 1.3 成型条件和物性参数

注塑成型材料为 ABS,商品名为 Cycliclac G500,其物性参数取自 Moldflow 软件的材料库,成型工艺条件采用软件推荐的成型条件,注射温度为245,模具温度为55。

材料库中该材料黏度模型的参数为:  $n = 0.2571$ 、 $\dot{\gamma}^* = 77362 \text{ Pa}$ 、 $D_1 = 7.61 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 、 $D_2 = 373.15 \text{ K}$ 、 $D_3 = 0$ 、 $A_1 = 32.244$ 、 $A_2 = 51.6 \text{ K}$ 。该材料的黏度模型没有考虑压力的影响。对于 ABS 类材料,考虑压力对黏度的影响时,Moldflow 软件推荐  $D_3 = 1.4 \times 10^{-7} \text{ K/Pa}$ 。

2 模拟结果及分析

2.1 流变模型的影响

图 2 是模拟计算得到的壁厚 1.8 mm 的制品不考虑和考虑压力对黏度影响的填充时间分布云图,可以看出,不同的流变模型并没有改变熔体的填充模式。

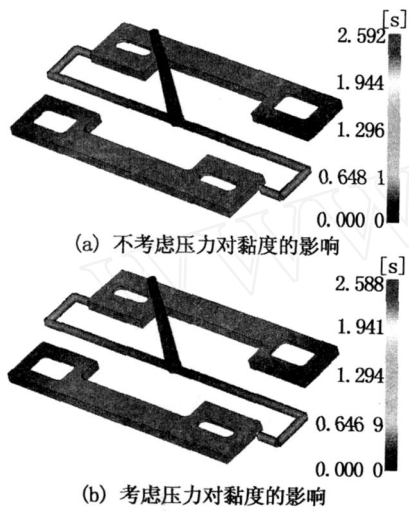


图 2 2 种黏度模型填充时间比较

图 3 是模拟计算得到的壁厚 1.8 mm 的制品不考虑和考虑压力对黏度影响时,在 V/P 切换点时熔体的压力分布云图。不考虑压力对黏度的影响时,型腔中熔体最大压力 74 MPa,注射压力为 110 MPa,浇注系统中的压力降为 36 MPa。考虑压力对黏度的影响时,型腔中熔体最大压力 86 MPa,注射压力为 150 MPa,浇注系统中的压力降为 64 MPa。由于型腔中熔体压

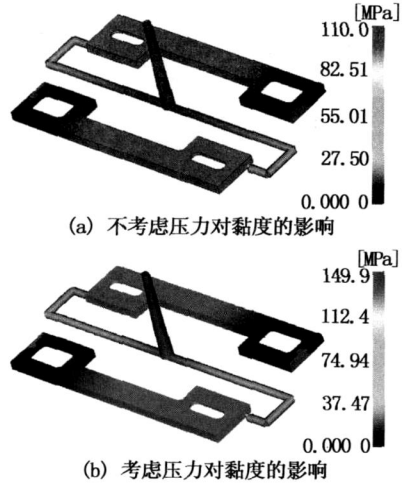


图 3 2 种黏度模型熔体压力比较

力较低,故考虑压力对黏度的影响对型腔压力的影响较小,而浇注系统中熔体的压力较高,压力对黏度的影响较大,浇注系统中熔体黏度较高,因而浇注系统中熔体的压力降远大于不考虑压力影响时的压力降。

图 4 为模拟计算得到的壁厚为 1.8 mm 的制品考虑和不考虑压力对黏度影响时,在 V/P 切换点时型腔中熔体在型腔厚度方向平均温度(以下简称熔体温度)的分布云图。可以看出,最大熔体温度出现在浇口附近,熔体注射温度为 245 ,不考虑压力对黏度影响时,熔体最高温度为 257.6 ,而考虑压力对黏度影响时,熔体最高温度为 262.5 。这是由于考虑压力对黏度的影响时,熔体的黏度增加,特别是在浇注系统中,熔体压力大,因而熔体黏度大,生成的剪切热大,熔体温度升高较大。对于热敏性材料而言,填充时熔体温度升高较大时,容易造成材料降解等问题。

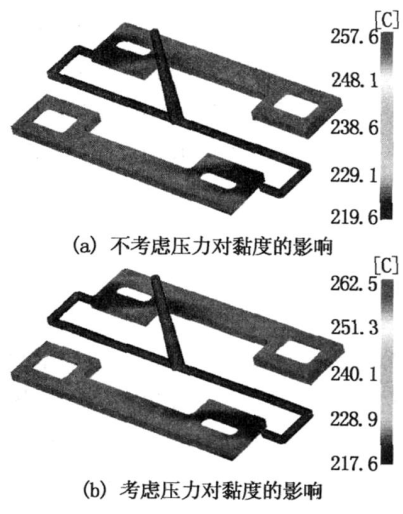


图 4 2 种黏度模型熔体温度比较

2.2 制品壁厚的影响

制品壁厚是影响型腔填充阻力的重要因素。为了研究制品壁厚的影响,对壁厚为 1.6 和 2.0 mm 的制品也进行了模拟计算。

图 5 比较了 3 种壁厚的制品考虑压力和不考虑压力对黏度影响时,由模拟计算得到的 V/P 切换点时的注射压力 ( $P_i$ ) 和型腔最大压力 ( $P_c$ )。可以看出,随制品厚度的增加,注射压力和型腔最大压力减小。不考虑压力对黏度的影

(下转第 39 页)

[3] 聂兰启,王海林,聂伯扬. 支撑套冲压工艺及模具设计[J]. 锻压装备与制造技术,2008,43(3): 31-33.

[4] 湖南省机械工程学会锻压分会. 冲压工艺[M]. 长沙:湖南科学技术出版社,1984.

[5] 聂兰启. 壁厚变薄直径缩小空心件的变薄引伸[J]. 模具工业,2009,35(1): 35-38.

[6] 杜东福,苟文熙. 冷冲压模具设计[M]. 长沙:湖南科学技术出版社,1985.

(上接第 13 页)

响时,浇注系统的压力降由其结构和熔体流速决定,因而,浇注系统的压力降基本保持不变。

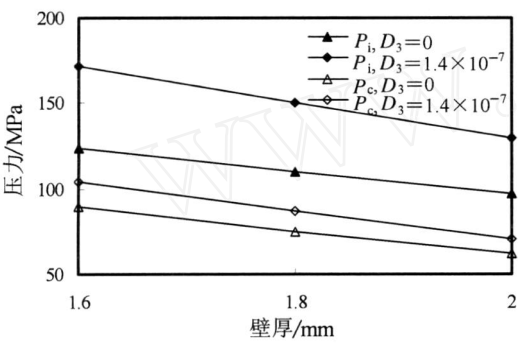


图 5 注射压力和型腔压力随制品壁厚的变化

考虑压力对黏度的影响后,型腔压力和注射压力均增加,但增加幅度与制品的厚度有关,制品越薄,增加的幅度越大。这是由于制品越薄,熔体流动阻力越大,造成熔体压力增加,因而压力对熔体黏度的影响越大。制品厚度为 1.6、1.8 和 2.0 mm 时,浇注系统中熔体压力分别大于 103、86 和 70 MPa,因而压力对熔体黏度的影响不同。制品越薄,压力对浇注系统中熔体黏度的影响越大,所以浇注系统内熔体的压力降越大。与不考虑压力对黏度影响时相比,考虑压力对黏度的影响后,制品厚度为 1.6、1.8 和 2.0 mm 时,注射压力分别增加 38.3%、36.3%和 33.1%,而浇注系统的压力降分别增加 98.0%、80.3%和 65.9%。

图 6 比较了考虑和不考虑压力对黏度影响时模拟计算得到的 V/P 切换点时型腔中熔体最高温度,熔体最高温度在浇口位置。可以看出,不考虑熔体黏度随压力变化时,熔体最高温度基本不变。而考虑熔体黏度随压力变化时,制品越薄,浇注系统中熔体压力越大,熔体黏度越

大,造成剪切热大。因此,熔体最高温度增加越大。制品壁厚为 1.6 mm 时,型腔中熔体最高温度比注射温度升高近 20 。

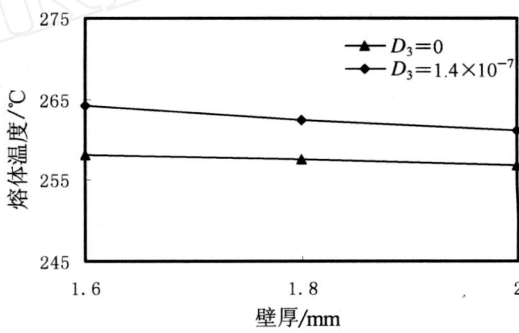


图 6 熔体温度随制品壁厚的变化

3 结论

注塑成型填充过程中,型腔和浇注系统中熔体的压力很大,为了提高填充模拟的计算精度,应考虑压力对熔体黏度的影响。考虑压力对黏度的影响后,模拟计算得到的注射压力和熔体温度显著增加。型腔填充阻力越大,注射压力和熔体温度增加越大。

参考文献:

[1] 李德群,周华民. 基于表面模型的智能化塑料注射成型模拟[J]. 应用科学学报,2005,23(1): 16-19.

[2] 夏薇,庞祖高,周林. 精密工业配件的注射成型模拟[J]. 模具工业,2005(3): 36-40.

[3] 徐佩弦. 高聚物流变学及其应用[M]. 北京:化学工业出版社,2003.