

注射填充过程的计算机模拟

勾治践 吴清文 卢 镔

(中国科学院长春光学精密机械研究所 长春 130022)

摘 要 以 Hele-Shaw 流动为基础,建立了塑料熔体充模流动的数学模型。采用 MOLDFLOW 充模模块,对轿车发电机散热罩的充模流动过程进行了动态模拟。分析并解决了影响制品质量的主要原因和问题。

关键词 注射成型 模具填充 流动分析

中图分类号 TP391.9, TQ320.662 **文献标识码** A

1 引 言

注射成型工艺有充模、保压、冷却、顶出等过程。在充模过程中,储存在注射机料筒前端的塑料熔料,受到螺杆向前推压作用,通过注射机喷嘴、模具浇注系统,充满整个模具型腔。熔料在浇注系统和型腔中的流动行为,与浇注系统、型腔的结构设计及注射成型工艺条件密切相关。模具设计人员如能预先知道熔料在流经浇注系统和型腔时的剪切速率、温度、压力及时间等,就能设计出合格的注射模具。传统上,注射模具设计主要依赖于设计者的经验和技巧,实际的缺陷也只能靠反复试模给予修正,缺乏理论依据和科学计算方法,模具设计质量难以保证。本文采用计算机模拟分析方法,对汽车发电机散热罩的充模过程进行动态模拟,为模具设计、注射工艺确定提出具有理论依据的建议。

2 数学模型

2.1 浇注系统填充过程的数学模型

在注射成型过程中,熔料在浇注系统中的流动可假定是在圆柱管道中沿 z 方向的一维流动。根据圆柱管的特点,现作如下简化:

- (1) $V_x = 0, V_y = 0$;
- (2) 流体不可压缩, $\nabla \cdot \mathbf{V} = 0$;
- (3) 在同一横截面上压力相等。

根据以上假设及流体动力学、传热学及塑料流变学的基本方程, 可以得到如下一组控制方程:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\eta \frac{\partial u}{\partial r} \right) - \frac{\partial p}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$\rho_{cp} \left(\frac{dT}{dt} + u \frac{dT}{dz} \right) = K \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \eta \dot{\gamma} \quad (2)$$

$$\dot{\gamma} = \left| \frac{\partial u}{\partial r} \right| \quad (3)$$

其中 η 为剪切粘度, u 为 z 方向的流速, p 为型腔压力, ρ 为密度, c_p 为熔料比热, T 为熔料温度, t 为时间变量, K 为热传导系数, $\dot{\gamma}$ 为剪切速率。

边界条件:

$$r = R \text{ 时, } u = 0, T = T_w; r = 0 \text{ 时, } \frac{\partial u}{\partial r} = 0, \frac{\partial T}{\partial r} = 0 \quad (4)$$

其中 R 为流道半径, T_w 为模具温度。

2.2 型腔填充过程的数学模型

注射成型的塑料件, 多为壁厚均匀的薄壁制品, 熔料在型腔填充过程中的流动, 可假定是在矩形板或扇形板中沿 x 、 y 方向的流动, z 方向为制品壁厚方向。对于形状复杂的制品, 可根据熔体在型腔内的流动路径, 将型腔分解成若干串联的矩形板和扇形板。

连续性方程:

$$\frac{\partial}{\partial x} (hu_x) + \frac{\partial}{\partial y} (hu_y) = 0 \quad (5)$$

流动方程:

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\eta \frac{\partial u_x}{\partial z} \right) - \frac{\partial p}{\partial x} = 0 \quad (6)$$

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\eta \frac{\partial u_y}{\partial z} \right) - \frac{\partial p}{\partial y} = 0 \quad (7)$$

能量守恒方程:

$$\rho_{cp} \left(\frac{dT}{dt} + u_x \frac{dT}{dx} + u_y \frac{dT}{dy} \right) = K \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \eta \dot{\gamma} \quad (8)$$

流变方程:

$$\dot{\gamma} = \left[\left(\frac{\partial u_x}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial u_y}{\partial z} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (9)$$

流量积分方程:

$$\Gamma(x) \int_{-h}^h u dz = \Gamma(x) \int_{-h}^h \sqrt{u_x^2 + u_y^2} dz = Q \quad (10)$$

其中 u_x 、 u_y 分别表示 x 、 y 方向的流速分量, h 为型腔狭缝厚度的一半, $\Gamma(x)$ 为型腔形状函数, 对于长板型腔 $\Gamma(x) = W$, W 为型腔宽度。

边界条件:

$$z = h \text{ 时, } u_x = 0, u_y = 0, T = T_w; z = 0 \text{ 时, } \frac{\partial u_x}{\partial z} = \frac{\partial u_y}{\partial z} = 0, \frac{\partial T}{\partial z} = 0 \quad (11)$$

由于沿型腔狭缝厚度 z 方向 p 不变, 对(6)和(7)式两边积分, 得

$$\eta \left[\frac{\partial u_x}{\partial z} \right] = -\Lambda_x z, \quad \eta \left[\frac{\partial u_y}{\partial z} \right] = -\Lambda_y z \quad (12)$$

其中 $\Lambda_x = -\frac{\partial p}{\partial x}$, $\Lambda_y = -\frac{\partial p}{\partial y}$, 对(12)式再积分, 并利用边界条件(11), 可得

$$u_x = \Lambda_x \int_z^h \frac{z}{\eta} dz, u_y = \Lambda_y \int_z^h \frac{z}{\eta} dz \quad (13)$$

再对(13)式积分, 可得

$$\int_0^h u_x dz = \Lambda_x \int_0^h \frac{z^2}{\eta} dz, \int_0^h u_y dz = \Lambda_y \int_0^h \frac{z^2}{\eta} dz \quad (14)$$

将(14)式代入(10)式, 便可得到

$$\Lambda = \sqrt{\Lambda_x^2 + \Lambda_y^2} = \frac{Q}{2\Gamma(x)S} \quad (15)$$

其中 S 为流动率

$$S = \int_0^h \frac{z^2}{\eta} dz \quad (16)$$

将(12)式代入(9)式, 便可得到

$$\dot{\gamma} = \frac{\Lambda z}{\eta} \quad (17)$$

其中 $\Lambda = \sqrt{\Delta P} = \sqrt{\Lambda_x^2 + \Lambda_y^2}$ 为压力梯度。将(17)式代入(13)式得

$$u = \int_z^h \dot{\gamma} dz \quad (18)$$

浇口处粘度模型, 采用四常数粘度公式

$$\eta = \frac{\eta_0(T)}{1 + C(\eta_0 \dot{\gamma})^{1-n}}, \quad \eta_0(T) = A \exp\left[\frac{T_b}{T}\right] \quad (19)$$

因此, 可利用上式求得的粘度 η 和式(16)求得流动率 S , 利用式(15)求得压力梯度, 然后求得压力场。在获得压力场数据后, 便可利用式(19)、(17)和式(18)求得流速度。如此循环下去, 直至型腔被充满。

3 模拟结果

模拟试验是在一汽集团生产的奥迪轿车发电机散热罩上进行的。奥迪轿车发电机散热罩原为进口件, 为降低轿车成本及国产化的需要, 该产品采用国内自行设计制造的模具注射成型。在注射成型过程中, 出现了产品充模不满、局部有明显的熔接痕及熔接强度不高等问题; 针对上述问题, 本文作者采用 MOLDFLOW 充模模块对发电机散热罩的充模过程进行了动态模拟。图 1 是该制品的有限元模型。图 2 是模拟实验结果。模拟条件为一汽集团生产该产品的条件: 注射材料是 BAYDATA 公司的 PC/ABS 合成材料 B009 型, 其不流动温度为 188 °C, 最佳顶出温度为 154 °C; 工艺条件, 注射温度为 275 °C, 注射压力为 90MPa, 注射时间为 2.2s。分析图 2 的模拟结果可知, 由于筋板壁厚较散热罩体壁厚具有明显厚度差(筋板壁厚为 1.4mm, 散热罩体壁厚为 2.5 mm, 当熔料从浇口流入型腔直至流前到达筋板时, 流动阻力增大, 熔料则沿着较厚截面流动, 刚进入薄壁区的熔料停滞并散失热量, 直到厚壁部分充满。当厚壁部分充满后, 填充薄壁区的压力增大, 但此时该处的熔料基本凝固, 造成薄壁区前端的散热罩体不完全填充和熔接强度不高。若增加筋板壁厚过大, 则在筋板与厚壁交汇的制品表面出现明显缩痕。为了避免上述所说滞流现象, 将筋板壁厚增至 1.5mm, 散热罩体壁厚降至 2.4 mm。另外,

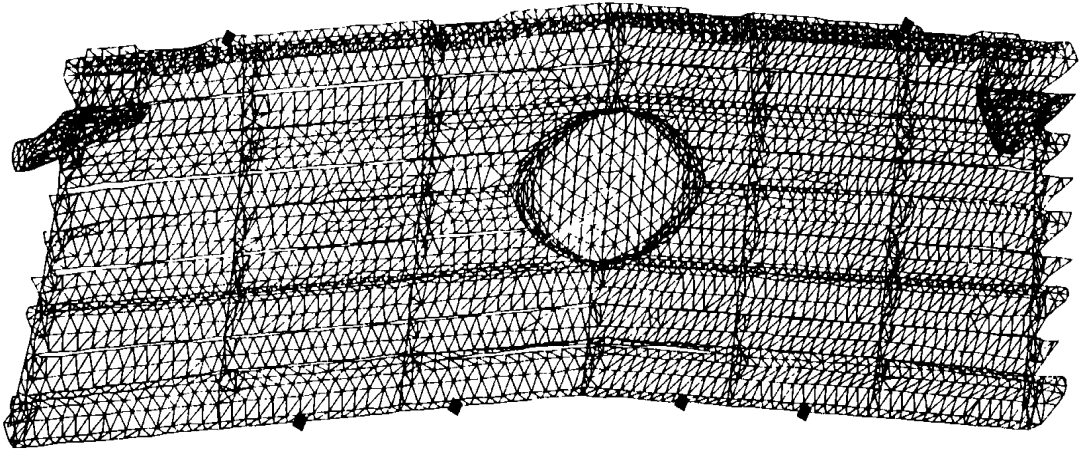


Fig. 1 Finite element model

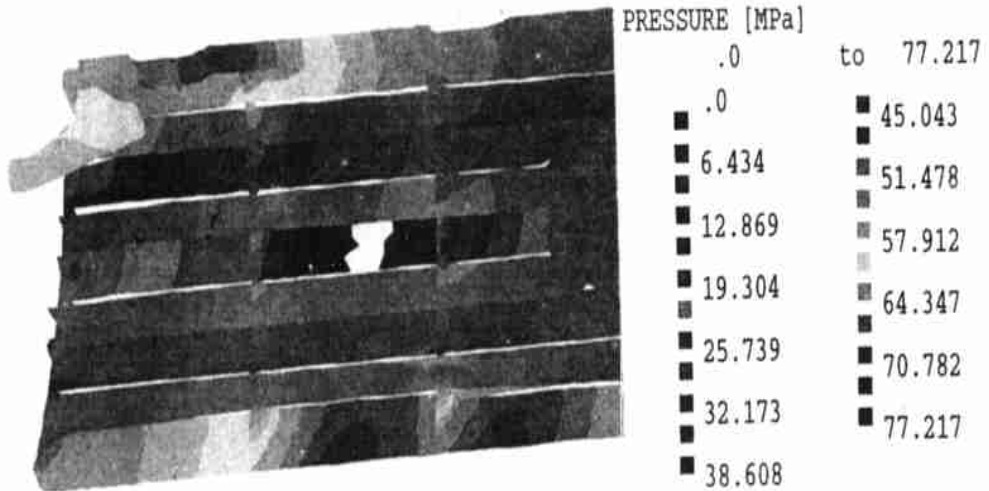


Fig. 2 Simulation results

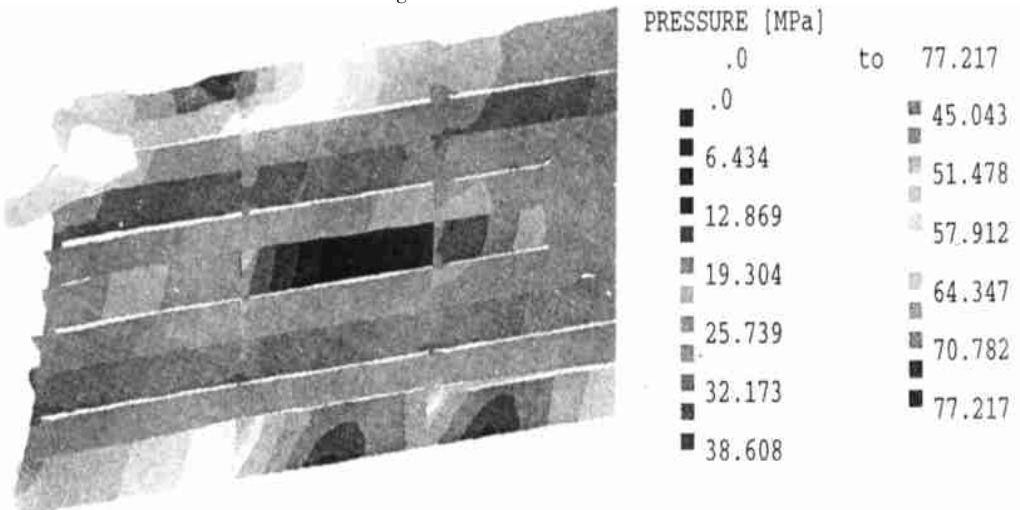


Fig. 3 Simulation results after the technology adjusted

外注射工艺也做了一些调整,增加了注射速度,注射时间为 2 s,注射温度提高到 285 ,注射压力增至到 100MPa。图 3 是改变壁厚和工艺条件后的模拟结果。改变制品结构和注射工艺条件后,产品缺陷完全消失。

4 结 论

在大型复杂的塑料产品注射成型过程中,影响产品质量的因素很多,往往很难迅速找出症结,采用 MOLDFLOW 软件进行注射成型动态模拟,可以方便地改进塑件及模具的结构,合理地选择最佳注射工艺条件,准确地预测出注射产品的质量,避免了反复修模,使模具设计的成功率大大提高。

参 考 文 献

- 1 唐志玉编著. 塑料模流变学设计. 北京: 国防工业出版社, 1991. 3 ~ 10
- 2 Austin Colin. Moldflow Design Principlless. Australia: moldflow Pty Ltd. 1993. 3 ~ 18
- 3 M F/ FLOW UG1 User Manual. Moldflow, Australia: moldflow Pty Ltd, 1993
- 4 张华, 李德群, 陈兴. 塑料注射成型熔体前沿的流动模拟. 塑料科技, 1998, 6: 50 ~ 52
- 5 李志刚主编. 模具 CAD/ CAM. 北京: 机械工业出版社, 1998, 182 ~ 196
- 6 勾治践, 吴清文, 卢铎. 高精度非球面光学塑料透镜注射成型模具的 CAD/ CAE/ CAM. 光学 精密工程, 1998, 6(6): 16 ~ 20

Dynamic Simulation of Injecting Mold Filling Process

GOU Zhi-Jian, WU Qing-Wen, LU E

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)

Abstract

The mathematical model of injection mold filling process has been set up, based on the mathematical model of Hele-shaw flow. Injection mold filling process of thermal dissipating sielter of the car has been simulated, which applying MLODFLOW injection mold filling analysis. The main problems that affect on product quality, for exemple, unfilled mold, poor meld strength have been investigated, and solved.

Key Words: Injection Molding, Mold Filling, Flow Analysis

勾治践 男, 1958 年 12 月生, 教授。1994 年 3 月毕业于吉林工业大学机械工程系并取得硕士学位; 1997 年 12 月毕业于吉林工业大学机械工程系并取得博士学位; 现在中科院长春光机所 CAD 应用研究室从事博士后研究。主要研究方向是机械加工系统动力学和模具 CAD/CAM/CAE 技术。