

气体辅助注射成型工艺参数优化研究

金俊丽

赵 川

杨 洁

(淮海工学院理学院,连云港 222005)

(重庆大学机械工程学院,重庆 400030)

(重庆通信学院,重庆 400035)

摘要 为了解决气体辅助注射成型(GAIM)中制品所出现的缺陷,采用数值模拟方法对影响制品质量的工艺参数进行了优化研究。首先,建立 GAIM 过程的数学模型,得出影响 GAIM 制品质量的主要工艺因素;随后,利用数值模拟法分析熔体预注射量、熔体/气体延迟时间、充气压力与熔体注射温度等关键工艺因素与 GAIM 制品缺陷的关系;最后,基于数值模拟分析结果,对 GAIM 制品的工艺参数进行了优化选择与设定。

关键词 气体辅助注射成型 参数优化 数值模拟

气体辅助注射成型(GAIM)技术是在传统注射成型基础上发展起来的一种新技术^[1]。它克服了传统注射成型和发泡成型的局限性,能够一次成型结构复杂、尺寸精确的制品,且成本低、效率高,具有传统注射成型工艺无法比拟的优点^[2-3]。但是在 GAIM 技术中常常遇到各种缺陷,如表面缩痕、熔体注不满模具型腔或“气指”现象。“气指”现象是指气泡穿过制品气道之外的薄壁区域,形成“指状”分支。严重的缺陷会降低塑料制品的强度,造成成型的失败,或者不能发挥 GAIM 技术的优势^[4-5]。因此通过数值模拟技术,优化成型过程的工艺参数,对提高 GAIM 技术应用的可行性和可靠性是非常重要的。

笔者运用数值模拟技术,研究了 GAIM 工艺参数对 GAIM 过程中塑料制品缺陷的影响。并利用 Moldflow 软件对制品进行 GAIM 模拟,确定了最优工艺参数,这对于改进工艺参数,减少 GAIM 过程中的缺陷具有明显的实际意义。

1 GAIM 过程的数学模型

GAIM 充填过程包括塑料熔体注射和气体注射两个阶段。塑料熔体注射阶段与传统注射成型完全相同。气体注射阶段则较为复杂,气体在熔体中穿透形成中空部分,如图 1 所示(该图为截面图)。

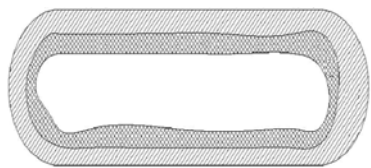


图 1 GAIM 过程中气体充满模具时的截面图

在模拟 GAIM 熔体流动时引入如下方程,在气体和熔体的界面上须满足如下条件:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} + \bar{V} \times \Delta \Phi = 0 \quad (1)$$

$$\bar{V}_m = \bar{V}_g \quad (2)$$

$$\tau_{ml} = \tau_{gl} \quad (3)$$

$$\tau_{mw} = \tau_{gw} \quad (4)$$

$$P_g - P_m = \sigma k \quad (5)$$

式中: $\Phi(x, y, z, t) = 0$ ——气体穿透界面的方程;

$\bar{V}_m, \bar{V}_g$ ——界面两侧熔体和气体的速度矢量;

$\tau_{ml}, \tau_{gl}, \tau_{mw}, \tau_{gw}$ ——界面上熔体一侧和气体一侧的切向应力;

P_g, P_m ——界面两侧气体和熔体的压力;

σ ——表面张力系数;

k ——界面曲率。

由上述条件得到塑料熔体流动和控制方程为:

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

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

$$\frac{\partial}{\partial x} (b\bar{u}) + \frac{\partial}{\partial y} (b\bar{v}) = 0 \quad (8)$$

$$\rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) = k' \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \eta v^2 \quad (9)$$

式中: η ——熔体粘度;

u, v ——熔体在 x, y 方向上的流速;

p ——充气压力;

b ——制品壁厚;

$\bar{u}, \bar{v}$ ——熔体在厚度方向(z 方向)的平均流速;

ρ ——塑料熔体密度;

C_p ——熔体比热容;

T ——熔体温度;

k' ——熔体热导率。

由上面的数学模型分析得知,GAIM 过程中影

响制品质量的是制品壁厚、充气压力、延迟时间、熔体温度等关键参数。运用数值模拟方法对设计方案进行有效的模拟, 优化 GAIM 过程中的工艺参数, 从而获得理想的成型工艺条件。

2 GAIM 的数值模拟

在数值模拟过程中, 选用的制品外形尺寸为 608 mm ×413 mm ×81 mm, 平均厚度为 2.8 mm, 肋厚 1.5 mm; 制品材料为 ABS。其几何模型如图 2 所示。将制品四周的 4 条棱边作为气道, 在远离浇注系统的一端注入气体。并利用 Moldflow 软件对制品进行 GAIM 过程的数值模拟。



图 2 实验制品的几何模型

3 GAIM 的工艺参数模拟优化

3.1 GAIM 模拟的工艺条件

GAIM 技术中新引入了许多成型工艺参数, 它们对于成型结果有不同的影响程度。基于前文中的分析, 选取最主要的 4 个工艺参数: 预注射量、延迟时间、充气压力和熔体温度, 并假设 4 个工艺参数之间没有关联, 用模流分析的方法来定量地分析这些参数对于制品缺陷的影响程度, 并由此确定最佳的模拟工艺参数。

选取预注射量、延迟时间、充气压力及熔体温度 4 个因素, 其余因素均保持不变, 对于上述 4 个因素考察 4 个水平, 如表 1 所示。

表 1 考察因素及水平

水平	因 素			
	预注射量 / %	延迟时间 / s	充气压力 / MPa	熔体温度 / °C
1	94	0.1	15	210
2	96	0.5	20	220
3	98	1	25	230
4	99	2	30	240

考察的指标为成型后的气体百分比, 气体百分比是指在 GAIM 过程中气体体积在制品中所占的体积。通过气体百分比, 可以了解在 GAIM 过程中气体体积在制品中所占的体积随时间的变化, 从而可判断出气体对制品的穿透程度。气体在模具型腔中所占的体积较小时, 气体的穿透半径和穿透深度都会较小, 有可能造成制品的表面缩痕及熔体注不满模具型腔等问题, 严重时就会造成 GAIM 的失败, 因

此在薄壁区域不被吹穿的情况下, 气体百分比越大越不易形成质量缺陷。

3.2 模拟结果及分析

(1) 预注射量

当延迟时间为 1 s、充气压力为 25 MPa、熔体温度为 230 °C 时, 不同预注射量下的模拟结果如表 2 所示。

表 2 不同预注射量下的模拟结果

预注射量 / %	填充时间 / s	最大浇口压力 / MPa	最大锁模力 / MPa	气体百分比 / %
94	6.14	84.36	1280	2.62
96	5.95	87.74	1402	1.85
98	5.67	89.55	1557	0.95
99	5.45	92.23	1620	0.79

从表 2 可以看出, 预注射量对气体百分比的影响程度较大。对于同一种制品来说, 随着预注射量的增加, 气体的注入量必然会减少。所以气体的穿入长度及气体的穿透率亦下降, 还有可能导致末端气道无法被填充而在该表面形成凹陷、缩痕或变形等现象。因此, 预注射量的确定应该视制品实际情况而定。模拟结果表明, 熔体预注射量为 94% 时效果较好。低于此值时, 熔体充填较晚的部分, 气体对薄壁渗透严重, 易产生“气指”现象, 如图 3 所示; 高于此值时, 则气体注入量太少, 而且由于过多的熔体占据气道使气体不能进入预先选定的气道, 则容易在气体不能进入的部分造成缩痕。预注射量对气体百分比的影响程度极为巨大, 可能会掩盖其它 3 个因素对气体百分比的影响程度。因此在研究了熔体预注射量与气体百分比的关系之后, 不失一般性地选取熔体预注射量为 99% 时的条件进行研究。在此条件较差的环境下仿真其它 3 个因素与气体百分比之间变化和影响的关系, 更能反映其它 3 个因素对气体百分比变化趋势的影响。

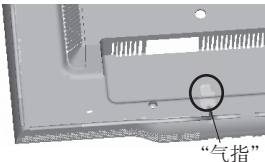


图 3 “气指”现象

(2) 延迟时间

延迟时间是指预注射完毕与气体开始注入间隔的时间, 延时的主要目的是使浇口、薄壁等处先行冷凝固化, 防止气体反灌或乱窜。这段时间虽短, 但是对气体穿透程度和成型结果的影响很大。当预注射量为 99%、充气压力为 25 MPa、熔体温度为 230 °C

时,不同延迟时间下的模拟结果如表 3 所示。

表 3 不同延迟时间下的模拟结果

延迟时间 / s	填充时间 / s	最大浇口 压力 /MPa	最大锁模力 / MPa	气体百分比 / %
0.1	4.93	92.23	1620	0.93
0.5	5.06	92.23	1620	0.85
1	5.45	92.23	1620	0.79
2	6.81	92.23	1620	0.77

从表 3 可以看出,短的延迟时间使气体百分比比较大,有利于气体在气道中的穿透,但是也容易造成高温低粘度的情况下熔体被吹穿,气体穿入薄壁区,则产生“气指”现象,降低制品强度。理论上增加延迟时间,靠近型腔内壁表面的塑料熔体就能凝固固化,增加固体层,从而使气道横向阻力变大,气体遵循阻力最小原则沿气道中央纵深穿透,将获得更长的气道。但实际中,气道随延迟时间延长而增加的量是很微小的。当延迟时间为 1 s 时,效果较好。

(3) 充气压力

充气压力对气体的穿透程度有着一定的影响,当预注射量为 99%、延迟时间为 1 s、熔体温度为 230 ℃ 时,不同充气压力下的模拟结果如表 4 所示。

表 4 不同充气压力下的模拟结果

充气压力 / MPa	填充时间 / s	最大浇口 压力 /MPa	最大锁模力 / MPa	气体百分比 / %
15	8.24	92.23	1620	0.45
20	6.56	92.23	1620	0.69
25	5.45	92.23	1620	0.79
30	5.02	92.23	1620	0.82

由表 4 可以看出,当充气压力为 15 MPa 时,气体百分比比较低,制品就会出现明显的不能被穿透问题,而采用高的充气压力(25 MPa) 时,则会使熔体摩擦生热,降低熔体粘度、减薄凝固层,从而保证气体顺利穿入,增加了穿入长度和气道的中空体积,因此可以克服传统注射成型中的保压不均而影响到制品的表观质量,同时也有利于气体的二次穿透,以补偿熔体收缩引起的表观凹陷的现象。但是当充气压力过大时,有可能出现气体反灌或者“气指”现象。不同充气压力下的气体穿透模拟结果如图 4 所示(图中黑线为气体穿透的程度)。



(a)
a—充气压力为 15 MPa 时不能被穿透;
b—充气压力为 25 MPa 时穿透最好

图 4 不同充气压力下的气体穿透模拟结果

由图 4 可以看出,当充气压力为 25 MPa 时,气体在气道中的穿透效果较好。

(4) 熔体温度

当预注射量为 99%、延迟时间为 1 s、充气压力为 25 MPa 时,不同熔体温度下的模拟结果如表 5 所示。

表 5 不同熔体温度情况下的模拟结果

熔体温度 / ℃	填充时间 / s	最大浇口 压力 /MPa	最大锁模力 / MPa	气体百分比 / %
210	6.79	78.40	1282	0.34
220	6.03	85.76	1476	0.57
230	5.45	92.23	1620	0.79
240	5.31	87.10	1533	0.45

聚合物材料的粘度一般随温度的升高而降低。由表 5 可以看出,熔体温度越高,熔体流动越快,填充时间越短。但熔体温度太高时,由于熔体粘度太低,气体前进阻力变小,气体穿透薄壁的可能性增加,因而很容易发生“气指”。温度太低,熔体粘度增大,气体前进阻力变大,气体在气道中穿透的距离缩短,这样会造成未进气部分气道的收缩,影响制品的质量。当熔体温度为 230 ℃ 时,气体在气道中的穿透效果较好。实际生产中,在物料加工温度及制品外观质量允许范围内,宜尽量采用较高的熔体温度,加快熔体流动,缩短生产周期。

4 结论

(1) 预注射量为影响 GAIM 制品质量的主要因素,它的变化对于气体百分比的影响较大,所以应该控制在最好的水平上。

(2) 充气压力为第二主要因素。压力过大,易出现“气指”现象;压力过小,则气体不易穿透气道。

(3) 当熔体温度为 230 ℃ 时,气体在气道中的穿透效果较好且没有出现“气指”现象。

(4) 延迟时间为次要因素,其变化对气体百分比的影响相差不多。

(5) 利用数值分析技术,对 GAIM 工艺参数进行优化,能较好地减少 GAIM 制品的缺陷,提高 GAIM 制品的质量。

参考文献

[1] 梁继才,李义,李笑明,等.气体辅助注射制品滞留痕缺陷的形成及防治[J].吉林大学学报:工学版,2002(1):83-86.

[2] Turng L S. Development and application of CAE technology for the gas-assisted injection molding process[J]. Advance in Polymer Technology,1995,14(1):203-225.

[3] Shen Changyu, Zhai Ming, Gu Yuanxian. An improved algorithm for the simulation of injection-molding filling process[J]. Journal

of Reinforced Plastic and Composites, 2005, 24(7): 691 - 698.

and Science, 2004, 44(4): 688 - 691.

- [4] Li C T, Isayev A I. Interface evolution and penetration behavior during two-component transfer molding[J]. Polymer Engineering

- [5] 吴博达, 梁继才, 李义, 等. 气辅成型延迟时间与气指的关系[J]. 吉林大学学报: 工学版, 2004(2): 268 - 271.

OPTIMIZATION RESEARCH OF GAS-ASSISTED INJECTION MOLDING PROCESS PARAMETERS

Jin Junli¹, Zhao Chuan², Yang Jie³

(1. College of Science, Huaihai Institute of Technology, Lianyungang 222005, China;

2. College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China;

3. Chongqing Communication College, Chongqing 400035, China)

ABSTRACT In order to solve defects occurred in gas-assisted injection molding (GAIM) parts, the process parameters which could influence parts quality were optimized and researched by the means of numerical simulation. Firstly, the mathematics model of GAIM was established, and main process factors which influenced the quality of GAIM parts were deduced from this model. Secondly, the relationships between the key process parameters such as melt pre-injection volume, melt/gas delay time, gas filling pressure and melt injection temperature and the defects of GAIM parts were analyzed by the means of numerical simulation. Finally, based on the results of numerical simulation analysis, the process parameters of GAIM parts were optimum selected and set.

KEYWORDS gas-assisted injection molding, parameters optimization, numerical simulation

北京星贝达化工材料有限公司

(重庆、上海、广州也设仓库, 供现货)

玻纤增强 PA66 膨胀型(无卤)阻燃剂 ST-EPFR-200A

新近推出环保膨胀型磷-氮阻燃剂。ST-EPFR-200A 专为各种阻燃玻纤增强尼龙(PA)66 制品所设计; 在 25% 玻纤增强 PA66 中, 加入约 23% ST-EPFR-200A 就可以达到 1.5 mm UL94 - V0。ST-EPFR-100A 专为各种阻燃聚丙烯(PP)制品所设计, 具有不迁移、不析出、耐水性强(成品通过 UL 的 70℃ × 168 h 浸水试验)、机械性能好和阻燃性能优异(以 ST-EPFR-100A 阻燃的 PP 不融滴, 可以通过 0.75 mm UL94 - V0)的特点。

北京: 上地信息路 1 号国际科技创业园 1 号楼 802 室 电话: 010 - 82895069 82895072

重庆: 西部塑料原料市场 A 区 8 号 电话: 023 - 65250828 65258828 传真: 023 - 65258828

上海湖盟公司: 021 - 62164991 51272622 广州: 020 - 82309869 82308865

鞍山君利工程塑料有限公司

鞍山君利工程塑料有限公司是股份制企业, 生产以工程塑料为主的改性材料。由教授级高级工程师、中国塑料加工工业协会专家委员会专家赵文聘负责生产技术。可为用户提供增强、增韧、复合、阻燃、环保阻燃、抗静电、耐磨、塑料合金类系列改性工程塑料。公司竭诚为用户“量身订做个性化需求的产品, 为客户创造价值”。公司通过 ISO9001: 2000 国际质量管理体系认证。公司宗旨: 信誉第一; 质量第一。

欢迎新老客户前来指导、合作!

- 改性品种: PA66、PA6、PP、PE、ABS、AS、HIPS、POM、PC、PC/ABS、PBT、PET、PVC 等系列改性塑料。
- 适用行业: 家电、汽车、机械、铁路、纺织、石油化工、煤矿、农业等。

经理: 徐长旭 13604228259, xuchangxu315@163.com

总工: 赵文聘 13804910274, zhaowenpin315@163.com

地址: 辽宁省鞍山市腾鳌镇黄县 邮编: 114225

电话: 0412 - 8935903 传真: 0412 - 8935803