

塑料注射成型中常见缺陷的 CAE 分析及解决方案

田中 谢英

(郑州大学橡塑模具国家工程研究中心, 郑州 450002)

摘要 利用 CAE 技术, 通过计算机模拟对塑料注射成型过程中一些常见缺陷进行预测、分析, 根据 CAE 分析结果提供的信息并结合以往的工程实践经验, 对这些常见缺陷提出了一套行之有效的解决方案, 在此基础上, 给出了预防这些缺陷产生的模具设计准则和典型案例, 大量的实践证明所提供的方法是切实可行的。

关键词 塑料 注射成型 缺陷 CAE 分析 解决方案

计算机辅助工程 (CAE) 技术在当今的塑料工业领域得到了广泛的应用。CAE 分析对塑料注射成型过程各阶段的定性描述可使模具设计者获取诸如充填模式、熔接线与气穴的位置、注塑压力、锁模力、纤维取向、成型时间、最终成型情况等信息, 并可通过对不同设计方案的成型模拟和综合评测, 发现问题并提出解决方案, 从而避免实际成型中各种注塑制品缺陷的形成^[1]。目前有关注射成型模具设计的文献很多, 但关于如何分析 CAE 提供的信息, 快速准确地发现问题并解决设计中的缺陷却很少有文献报道。为此, 笔者现对塑料注射成型中的一些常见缺陷如喷射、气穴、翘曲等形成的物理过程进行描述, 并根据 CAE 分析结果提供的信息确定解决方案, 提供一些应用实例及其相关的设计准则, 供注塑模具工程人员借鉴、参考。

1 塑料注射成型中的常见缺陷与解决方案

1.1 喷射

1.1.1 喷射缺陷产生的机理及其解决方案

当塑料熔体在高注塑压力的驱动下从狭窄区域 (如喷嘴、流道、浇口) 进入到较宽区域时, 因塑料熔体不与模壁接触而发生喷射、蜷曲。像蛇一样的喷射流会在折叠处形成微观的“接线”, 如图 1 所示。这会导致注塑制品强度降低, 表面产生斑点, 并有多处内部缺陷。反之, 正常充填时塑料熔体以层流状态从浇口到达型腔终点, 如图 2 所示。

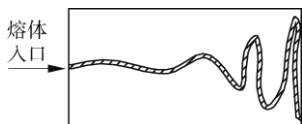


图1 喷射示意图

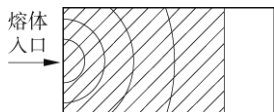
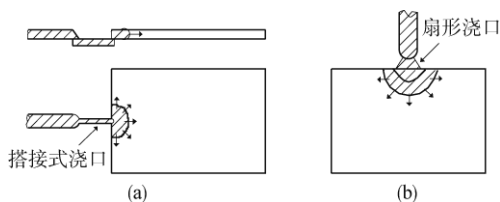


图2 正常充填模式示意图

常用的消除喷射的方法有: 通过调节螺杆推进速度来降低熔体速度; 增大浇口尺寸; 通过设置浇口位置使熔体流动方向正对着模壁, 促进熔体与模壁的接触等^[2]。

1.1.2 防止喷射缺陷的模具设计准则

为防止出现喷射, 在模具设计时应遵循的准则为: (1) 适当加大浇口尺寸和流道尺寸, 减小浇口段长度; (2) 注重浇口位置、浇口类型的优化设计。例如采用搭接式浇口 (如图 3 所示) 或潜伏式浇口易将熔体直接导向型腔表面; 采用侧浇口或扇形浇口能扩大流动区域以降低熔体体积流速。另外, 扇形浇口和侧浇口可使浇口到型腔的过渡趋于平缓, 从而降低熔体的剪切应力和剪切速率, 以避免喷射。



a—搭接式浇口; b—扇形浇口

图3 采用搭接式浇口或扇形浇口避免喷射示意图

一般来说, 当塑料熔体开始流经浇口时应避免过高的熔体流速。但值得注意的是, 熔体流动速度的降低也会起到相反的作用, 当熔体流经浇口时, 它经历了很高的流动速度, 承受着很高的剪应力和拉应力, 一旦熔体前端进入型腔, 应力便迅速降低, 这样的突然松弛会产生一种“出模胀大”现象。当给定适当的浇口尺寸时, 这种胀大效应能促进熔体与模壁的接触而形成可控的层流。但是, 最好还是直接将进入型腔的熔体导向模壁以防止喷射, 而不依赖于“出模胀大”来促成熔体与模壁的接触。要确定合适的浇口尺寸、位置、类型, 可利用 CAE 仿真对

各种浇口设计进行评估,根据仿真信息找到最佳浇口设计方案。图4~图6分别为同一个长方形塑料制品采用不同浇口设计方案时模拟出的充填模式。

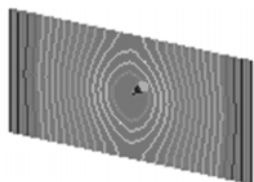


图4 单个中心浇口充填模式

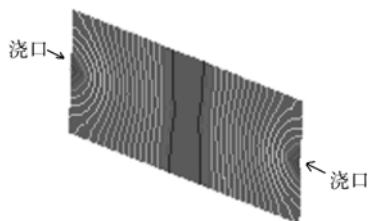


图5 双边缘浇口充填模式

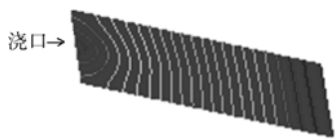


图6 单边缘浇口充填模式

从图4可以看到,单个中心浇口设计产生了轮辐状的充填模式,这种由剪切流和伸展流组成的充填模式使聚合物分子指向法向与切向,如果这两个方向上的体积收缩比不同,就会产生如图7所示的变形。由图5可见,双边缘浇口设计会在制品中间产生熔接线,如图8所示。通过比较发现,单边缘浇口设计(见图6)是这3种设计中最好的,因为它的充填模式是单方向的,其聚合物分子和纤维指向是单一的。

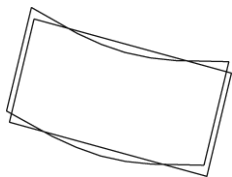


图7 充填后的制品翘曲示意图

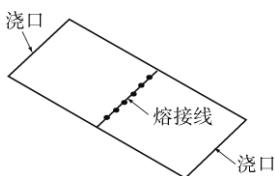


图8 充填后的制品熔接线位置

1.2 气穴

1.2.1 气穴缺陷的生成机理及其解决方案

气穴是由被卷入型腔内的空气或原料含有的水

分在注射温度下蒸发而成的水蒸气,或塑料局部过热分解产生的低分子挥发性气体等被收敛的塑料熔体前沿包围而形成的。因为没能从排气孔或模具插件间隙处逸出而滞留在型腔内。这种情况将导致注塑制品内的空洞、气泡、注射量不足或表面缺陷,如斑点和灼痕等。气穴常位于最后充填的区域,其主要形成原因是缺少排气孔或排气孔尺寸太小,另外,跑道效应也是形成气穴的主要原因^[2]。

气穴的产生与注射速率、模具结构密切相关,因而气穴产生的位置具有不确定性,较为有效的方法是根据具体的工艺条件进行 CAE 模拟,再通过调整工艺参数消除气穴;如果还不能解决问题,则需要在预测的气穴位置处增加排气孔以消除气穴缺陷。

1.2.2 防止气穴缺陷的模具设计准则

(1) 在模具最后充填处设置排气孔,并使排气孔尺寸足够大,以便在注射时型腔内的空气能得到释放。

(2) 避免制品设计上有较大的厚度变化,以减少熔体的跑道效应。

对于排气孔位置的确定,可利用 CAE 仿真分析出气穴的位置,根据分析结果来确定排气孔的位置。图9是利用 CAE 仿真预测的熔体在充填过程中形成的气穴位置。据此可设置出合理的排气孔,使型腔内的气体释放出来。

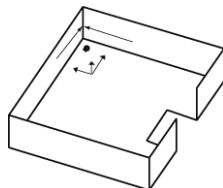


图9 CAE 仿真预测出的气穴位置示意图

1.3 翘曲

1.3.1 翘曲缺陷的生成机理及其解决方案

注塑制品翘曲是由注塑过程中的材料在各个方向的收缩不同造成的。如果制品的收缩是一致的,则制品不会翘曲或扭曲变形,而仅仅变得小一些。要使注塑制品的收缩较小且一致,则是一项复杂的工作,因为有许多因素如聚合物分子和纤维取向、模具冷却、制品和模具设计,以及工艺条件等的交互作用。

注塑制品收缩变化一般由以下因素引起:

(1) 熔体在平行和垂直于流动方向上不同的分子取向及纤维取向。如果注塑制品具有较高的分子取向,其分子链则会在取向方向上产生大的收缩而

导致各向异性,当制品的收缩发生变化或各向异性时,内应力会导致制品翘曲。

(2) 整个制品特别是沿制品厚度的非均匀的模具冷却。制品的非均匀冷却和沿制品厚度的非对称冷却也会产生不同的收缩,从模壁到制品中心处,若材料的冷却与收缩不一致,则会导致制品在脱模后产生翘曲。

(3) 注塑制品厚度变化引起的不同冷却速率。制品厚度变化造成的收缩是未增强热塑性注塑制品收缩的主要原因^[4]。制品厚度变化越大,其冷却速率和结晶水平相差越大,这导致了不同的收缩,从而引起制品翘曲,如图 10 所示。

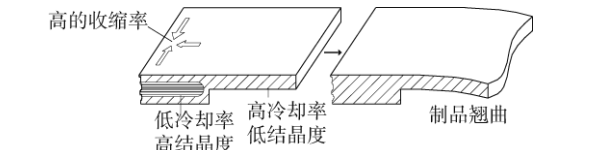
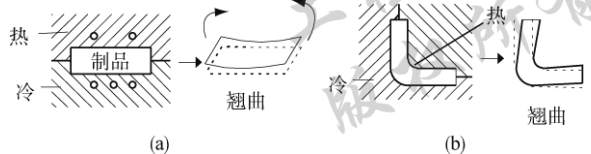


图 10 低冷却率、高结晶度造成体积收缩导致的制品翘曲

(4) 注塑制品、模具的几何不对称性。注塑制品和模具设计上的几何不对称性也会导致不一致冷却,并产生不同收缩、翘曲(见图 11)。由图 11 可知,两种制品均向热的方向翘曲。



a—模具冷却装置不对称; b—制品几何形状不对称

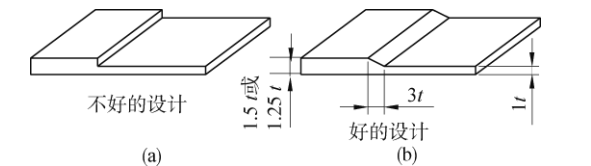
图 11 注塑制品、模具的几何不对称造成的不同收缩、翘曲

(5) 保压压力的不同。如浇口附近的过压或远离浇口处的欠压均会造成注塑制品翘曲。

综上所述,制品翘曲主要是由残余结构应力和热应力造成的,因此应在模具设计时确保模具及冷却装置结构的对称性,并采用多浇口系统以保证模具型腔内保压压力的均匀性。

1.3.2 防止翘曲缺陷的模具设计准则

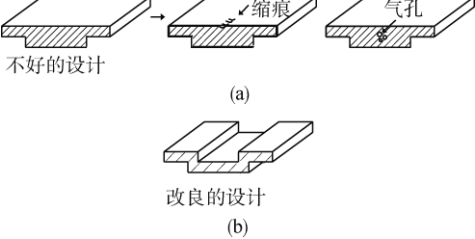
(1) 设计模具时避免不一致的壁厚。如制品要求有不可避免的厚度变化时,则可设计一个过渡斜坡,其宽度是较薄区域厚度的 3 倍^[5],如图 12 所示。



a—不好的设计; b—好的设计

图 12 非等厚制品过渡斜坡的设计

(2) 改进易明显收缩并导致凹陷或气穴的厚度设计,如图 13 所示。



a—设计不当; b—改良的设计

图 13 消除缩痕、气孔的设计

(3) 设计可达到平衡充填的浇注系统。

(4) 选择合适的保压压力。尽管高的保压压力能帮助减小制品收缩,但同时也会增大残余应力,并需要较大的锁模力。对较好的工艺设计,采用适当的保压压力、充分的压实时间,并在浇口处凝固后撤消压力。保压压力应保证额外的材料来补偿制品的体积收缩。

(5) 优化冷却系统,以获得整个注塑制品特别是沿厚度方向的冷却一致与平衡。

(6) 通过提高熔体温度和模具温度、增加充填时间及型腔厚度或通过减小压力和流动路径来减小制品残余应力及其分子取向、纤维取向。

2 典型案例分析

图 14 是一个有 5 个加强筋的正方形板,选取熔体入口(N175)、浇口(N9)及远离浇口的边角点(N160)作为 3 个观察节点,用 CAE 技术分别对 3 个设计方案进行分析,研究了节点处的保压压力和保压时间对制品体积收缩率的影响。CAE 分析中使用的有关工艺参数列于表 1。

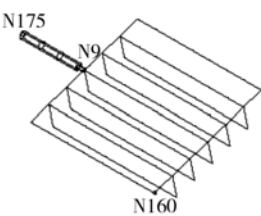


图 14 有加强筋的正方形板

表 1 CAE 分析中使用的有关工艺参数

设计方案	压实/保压压力/MPa	保压时间/s	所需锁模力/kN
1 [#]	43.1	8	385
2 [#]	17.2	12	138
3 [#]	25.9	15	213

图 15 为 1[#]设计方案中 3 个节点处的压力和体积收缩率的变化曲线。由图 15 可知,保压 1 s 之后在熔体入口处(N175)的压力是用户给定的压实/保

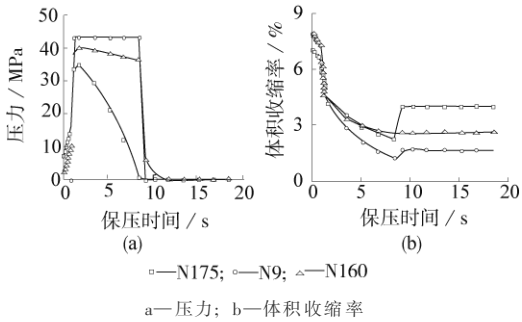


图 15 1[#]方案中 3 个节点处的保压压力和体积收缩率的变化曲线
压压力。

图 16 为 2[#]设计方案中 3 个节点处的压力和体积收缩率的变化曲线。由图 16 可知,保压 1 s 之后在熔体入口处 (N175) 的压力是用户给定的压实/保压压力。图 17 为 3[#]设计方案中 3 个节点处的压力和体积收缩率的变化曲线。

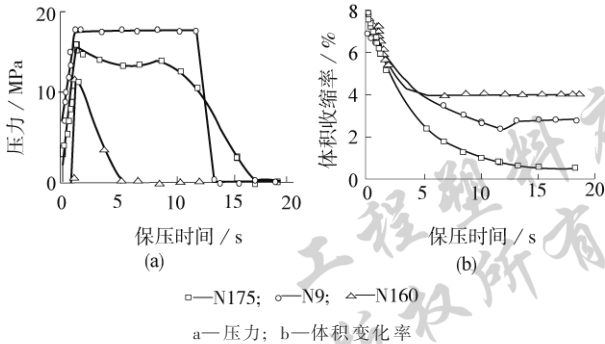


图 16 2[#]方案中 3 个节点处的压力和体积收缩率变化曲线

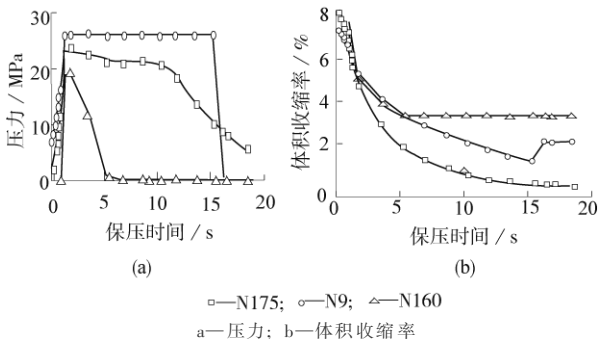


图 17 3[#]方案中 3 个节点处的压力和体积收缩率的变化曲线

从图 15 ~图 17 可以观察到浇口的凝固时间在

9 ~13 s; 在 1[#]设计方案中,当保压压力在 9 s 时撤消后,浇口区 (节点 N9) 的体积收缩率得到了恢复 (见图 15 b)。与之相反,在 2[#]设计方案和 3[#]设计方案中,即使在保压压力撤掉以后,体积收缩率仍持续下降。这说明保压可在 13 s 后安全地撤掉,以后的保压对注塑制品没有影响,因为浇口已经凝固。由图 15 ~图 17 还可看出,体积收缩率随着压实/保压压力的升高而降低,但高的压实/保压压力需要高的锁模力,并且会产生高的残余应力。通常可以通过 CAE 分析来评估不同的设计方案以找出最适当的压实/保压压力。例如,在节点 N160 处 4% 的体积收缩率可以被接受,则 2[#]设计方案就是最佳选择,因为它对锁模力的要求最低,只有 1[#]设计方案的 64%。

3 结语

目前市场上有很多成熟的商品化注塑模 CAE 分析软件如美国的 C-MOLD 软件和澳大利亚的 Moldflow 软件,以及国内郑州工业大学橡塑模具国家工程研究中心的 Z-MOLD 软件等。注塑模计算机辅助工程技术对注塑模的设计、工艺设置具有相当的实用价值,特别是在注塑制品形状复杂的模具开发过程中可有效地避免潜在问题的发生,还能在很大程度上及时模拟试模情况,缩短整个模具的开发周期。注塑模 CAE 技术与注塑模设计准则的综合应用将有助于提高整个模具的技术含量,增强企业的竞争力。

参考文献

- [1] 申长雨,陈静波,刘春太. CAE 技术在注射模设计中的应用 [J]. 模具工业,1998, (3): 7-11.
- [2] 申长雨,陈静波,王国中. 塑料模具计算机辅助工程 [M]. 郑州: 河南科学技术出版社,1998: 15-60.
- [3] 现代模具技术编委会. 注塑成型原理与注塑模具设计 [M]. 北京: 国防工业出版社,1996: 25-48.
- [4] 郑州工业大学橡塑模具国家工程研究中心. Z-MOLD99 软件应用指南 [M]. 郑州: 郑州工业大学,1999: 5-21.
- [5] Advanced CAE Technology Inc. C-mold Design Guide [M]. [S. I]: [S. n], 1996: 7-36.

CAE ANALYSIS AND SOLUTIONS TO COMMON DEFECTS IN INJECTION MOLDING

Tian Zhong, Xie Ying

(NERC of Mold and Die, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

ABSTRACT The common defects occurred in the process of injection molding are predicted and analyzed through computer simulation using CAE technology. According to the CAE analyzing information and regarding the experience in engineering, a series of effective solutions to these defects are presented. In addition to these solutions, some mould designing guidelines and typical cases are offered to prevent the defects occurrence. Many practice cases show that they are feasible.

KEYWORDS injection molding, defect, CAE analysis, solution