

塑料容器等温吹塑成型计算机模拟

秦升学, 丁凯, 任莉新, 杨迁

(山东科技大学, 青岛 266510)

摘要: 针对等温吹塑成型工艺, 建立了几何模型。基于粘度对剪切速率依赖性模型的材料, 通过在 Polyflow 模拟软件中建立任务, 利用网格重置技术, 进行了计算机模拟分析, 获得了型坯在吹塑过程中的厚度变化、型坯与模具的接触时间分布以及吹塑压力对吹胀时间和壁厚的影响, 对容器生产过程中壁厚的控制有一定的指导作用。

关键词: Polyflow; 吹塑; 计算机模拟; 模具

中图分类号: TB482; TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2011)19-0078-04

Computer Simulation of Isothermal Blow Molding for Plastic Containers

QIN Sheng-xue, DING Kai, REN Li-xin, YANG Qian

(Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510, China)

Abstract: The geometric model of isothermal blow molding process was established. Based on the material of shear-rate dependence of viscosity model, the task was established by the simulation software Polyflow. The computer simulation was implemented with the reset grid technology. The thickness change of parison, contacting time of parison and mold in the blow, and the effect of blowing pressure on inflation time and wall thickness were obtained. The purpose was to provide reference for wall thickness control of blow molding process.

Key words: polyflow; blow molding; computer simulation; mold

随着科学技术的发展, CAE 技术越来越广泛地应用于产品生产过程的模拟分析。Polyflow 是基于有限元法的计算流体力学分析软件, 广泛地应用于高分子流动过程的数值模拟^[1], 应用领域包括热成型、挤出成型、共挤出成型、中空吹塑成型、流涎薄膜、纤维拉伸、共混、反应加工等, 几乎覆盖了所有的塑料加工方法^[2-3]。吹塑成型适用于生产瓶、桶、壶、罐等中空制品, 具有造价低、适应性强、生产效率高等优点^[4-6]。吹塑成型是一个瞬态的加工过程, 壁厚是表征产品成型质量的关键参数。笔者采用 Polyflow 软件(版本为 Polyflow3. 10. 4)模拟了塑料型坯在吹塑过程中厚度的变化和型坯与模具接触时间的分布, 分析了压力对吹塑成型工艺的影响, 研究结果对生产过程中壁厚控制具有一定的指导作用。

1 模型建立

在前处理模块 Gambit 中建立几何模型, 见图 1。几何模型包括 2 个部分: 左侧部分为型坯; 右侧部分

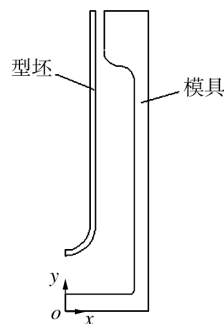


图 1 几何模型

Fig. 1 Geometric model

收稿日期: 2011-07-26

作者简介: 秦升学(1978—), 男, 山东梁山人, 博士(后), 山东科技大学副教授, 主要从事模具 CAD/CAE 研究。

为模具。由于型坯与模具为轴对称结构,所以该问题为轴对称问题。针对轴截面建模,从而将三维问题简化为二维问题,可提高分析的效率。基于吹塑成型工艺特点,在数值模拟中采用如下假设:聚合物熔体为不可压缩熔体,即在型坯吹胀过程中,聚合物熔体的体积保持不变;型坯是连续的,即型坯在吹胀过程中,遵守质量守恒方程;由于吹胀时间极短,假设型坯各部位温度相等并保持不变。

2 建立分析任务

在吹塑过程进行前,先将型坯加热到 T_g (玻璃化温度)以上,迅速移到吹塑模具中,然后吹入压缩空气,在气压的作用下型坯胀大并逐渐贴到模具内壁上成型。吹塑成型模拟为瞬态问题分析,熔体选用广义牛顿流体模型,参数计算模型为粘度对剪切速率依赖性模型中的 Cross law 粘度模型^[7],其中零剪切粘度为 $10^4 \text{ Pa} \cdot \text{s}$,松弛时间为 0.2 s ,Cross law 指数为 0.2 ,密度为 $1\,200 \text{ kg/m}^3$ 。吹胀压力设为 0.5 MPa ,重力加速度 g 为 9.81 m/s^2 。

2.1 边界条件设置

边界条件设置见图 2。区域 SD1 为型坯部分,区

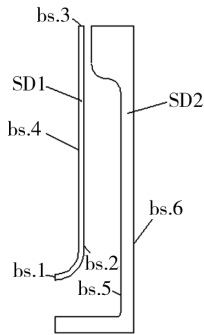


图 2 边界条件定义

Fig. 2 Definition of boundary conditions

域 SD2 为模具部分;bs. 1 为对称轴;bs. 2 为型坯的外表面;bs. 3 为型坯的上边界;bs. 4 为型坯的内表面;bs. 5 为与型坯接触的模具内表面。bs. 1 与 bs. 2 的交点仅沿 y 方向移动;bs. 3 与 bs. 2 的交点仅沿 x 方向移动;bs. 3 受零法向速度和零切向力作用;bs. 4 直接受吹塑压力作用。

2.2 网格重置

区域 SD1 为型坯,在模拟中设为网格重置区域,

网格重置选择拉格朗日薄壳法,该方法仅适用于薄型坯的二维吹塑成型。

3 后处理子任务及数值参数定义

建立材料点轨迹和制品厚度 2 个子任务。厚度计算边界 bs. 2 定义为开始边界;边界 bs. 4 定义为结束边界。瞬态迭代参数设置见表 1。

表 1 瞬态迭代参数

Tab. 1 The transient iterative parameters

开始时间	结束时间	开始时间步	结束时间步	最大时间步	最大时间步数
0	0.5 s	0.001 s	10^{-7} s	0.002 s	500

4 结果分析

4.1 厚度分析

型坯在吹胀过程中,可以分为 2 个连续阶段:型坯与模具未接触时的自由吹胀阶段;型坯与模具接触到吹塑件形成的受约束吹胀阶段^[8]。不同时刻型坯厚度分布见图 3,可知在 $t=0.001\,442\,1 \text{ s}$ 时,型坯的

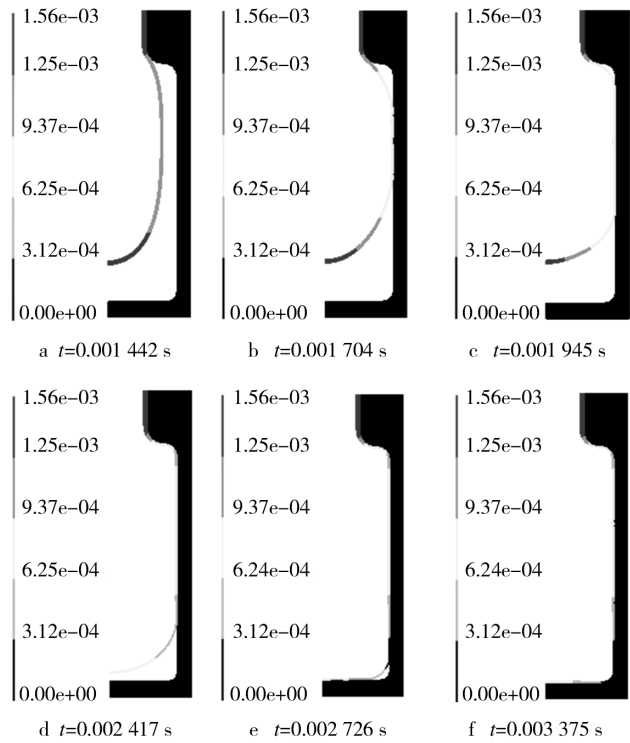


图 3 不同时刻型坯厚度分布(m)

Fig. 3 Parison thickness distribution at different time

厚度变化并不大;随着时间的推移,型坯的膨胀迅速增

加,到 $t=0.003\ 375\ 0\ \text{s}$ 时膨胀基本结束。型坯颈部在 x 轴方向的移动量较小,该区域厚度基本没有变化。 y 轴方向的厚度分布见图 4,可以看出,型坯厚度的最小

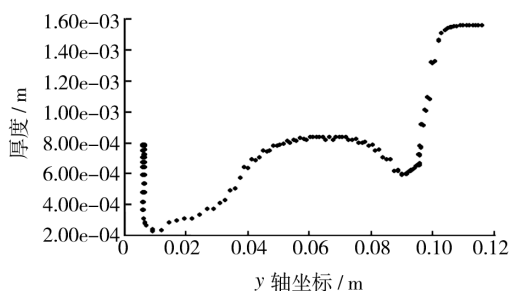


图 4 型坯 y 方向的厚度分布

Fig. 4 The thickness distribution of y direction

值出现在型坯的底部过渡区,这是因为型坯底部过渡区发生的变形最大。壁厚从瓶底过渡处到瓶身处逐渐增加;从瓶身到瓶颈下部的过渡区逐渐减小;从瓶颈过渡区到瓶颈处迅速增加,直到瓶颈口部达到最大值。

4.2 接触分析

通过接触分析可以得到在吹塑过程中型坯各部分与模具型腔壁的接触时间,型坯在吹塑过程中与模具接触时间分布见图 5。由图 5 可知,型坯的瓶颈处首先与模具接触,随着吹塑的进行,型坯表面与模具继续接触,最后接触的部位为模具底部的过渡区。

4.3 压力对吹塑时间的影响

在不同吹塑压力下,型坯充满型腔所需的时间见图 6。由图 6 可知,随着吹塑压力的增大,型坯充满型腔所需的时间缩短,可见增大吹塑压力可以提高吹塑效率,但是吹塑压力过大,会使型坯形变速度增大,使型坯的非过渡区部位快速贴于模腔,由于模具的冷却作用,很难继续变形,而过渡区部位会继续变形,最终导致制品壁厚差过大,所以吹塑压力一般低于 $1\ \text{MPa}$ ^[9]。

4.4 压力对壁厚影响

不同吹塑压力下制品壁厚分布见图 7。由图 7 可知,在不同的吹塑压力下,最后所得到的制品各部位壁厚分布趋于一致,数值相差很小,因此,压力对制品的壁厚的影响不明显。

5 结论

采用 Polyflow 软件模拟了吹塑过程中型坯的胀大过程,获得了型坯壁厚和型坯与模具接触随时间的

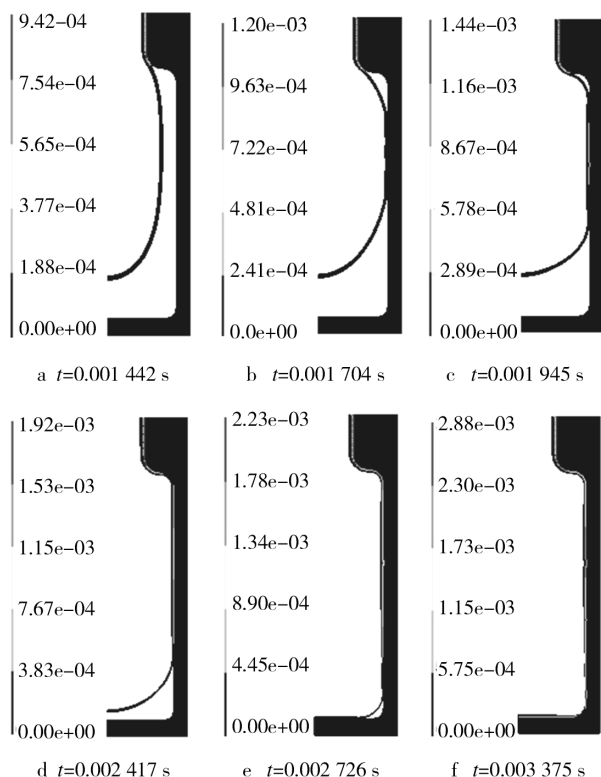


图 5 型坯在吹塑过程中与模具接触时间的分布

Fig. 5 Contact time distribution of parison and mold in the blow molding process

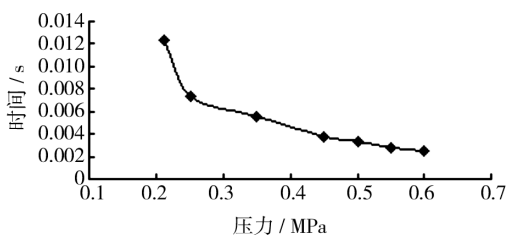


图 6 不同吹塑压力下型坯充满型腔所需的时间

Fig. 6 Required time of parison being filled with mold cavity under different blowing pressure

变化规律,对吹塑工艺和模具设计具有一定的参考价值。结论如下:型坯在吹胀过程中,自由吹胀阶段的时间短,在该阶段由于型坯与模具未接触,所以型坯变形均匀。当型坯与模具接触部分变形很小或不再变形时,而未接触部分仍在变形,直到与模具接触;型坯颈部最先与模具接触,变形量最小;底部过渡区最后与模具接触,变形量最大。壁厚在底部过渡区最小,在瓶颈处最大。在允许的范围内,提高吹塑压力可以缩短型坯的吹胀时间;在其他工艺参数不变的情况下,吹塑压力对制品壁厚的影响不明显。

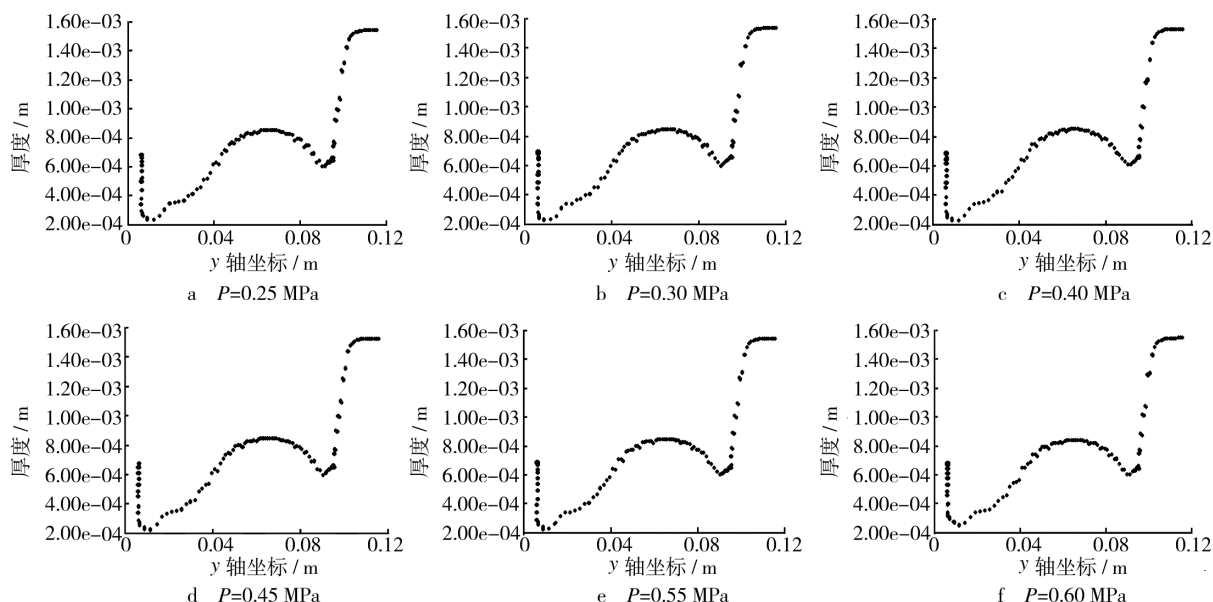


图7 不同吹塑压力下制品的厚度分布

Fig. 7 Part thickness distribution under different blowing pressure

参考文献:

- [1] 钱新,许王定,金杨福. Polyflow 基础及其在塑料加工中的应用[M]. 北京:化学工业出版社, 2009.
- [2] 文劲松,麻向军,刘斌,等. 塑料成型加工模拟技术及软件应用[J]. 计算机辅助工程, 2003(4):56-62.
- [3] 邱方军,黄虹,李能文,等. POLYFLOW 软件在聚合物加工中的应用进展[J]. 塑料制造, 2009(9):60-63.
- [4] 惠烨,李翔,王长浩,等. 基于 SolidWorks 的包装容器结构参数化设计[J]. 包装工程, 2007, 28(12):119-120.
- [5] 王洪江,刘海军,耿忠德. 热成型容器及在包装中的应用[J]. 包装工程, 2008, 29(9):221-224.
- [6] ATTAR A, BHUIYAN N, THOMSON Vince. Manu-

- facturing in Blow Molding: Time Reduction and Part Quality Improvement[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2008, 204(1-3):284-289.
- [7] 杨晓东,刘保臣,刘春太,等. 高分子聚合物熔体 Cross 黏度模型的改进[J]. 高分子材料科学与工程, 2010, 26(11):172-174.
- [8] 邱方军,王海民,李能文. 温度对挤出吹塑制品壁厚分布及性能的影响[J]. 精密成型工程, 2009, 1(2):48-51.
- [9] 黄汉雄,黄有发,杨晓松,等. 塑料挤出吹塑的机理问题[J]. 橡塑技术与装备, 2001, 27(11):1-5.

(上接第 77 页)

切断处刀片的深度相差 3 mm,而这 3 mm 刚好就是高密度层的厚度。

6 结语

可折叠泡沫缓冲衬垫设计用于“标准”形状产品的包装,其优势明显超过传统所设计的 EPE 衬垫,因此,在做衬垫设计之时需权衡利弊,真正做到既满足包装的要求,又能降低成本、简化工艺、方便操作并符合人机工程学。相信在以后的缓冲衬垫的设计中,可折叠泡沫缓冲衬垫会被越来越广泛地使用。

参考文献:

- [1] 骆光林. 包装材料学[M]. 北京:印刷工业出版社, 2006.

- [2] 潘松年. 包装工艺学[M]. 北京:印刷工业出版社, 2007.
- [3] 郑华明,吴江渝,曹国荣. 聚乙烯发泡塑料冲击能量的吸收及振动传递率的分析[J]. 包装工程, 2008, 29(3):30-32.
- [4] 张波涛,叶梁玉,刘朝阳,等. EPE 缓冲包装优化设计[J]. 包装工程, 2006, 27(6):211-212.
- [5] 王怀奥,计宏伟. 包装测试技术[M]. 北京:化学工业出版社, 2004.
- [6] GB/T 8168-1987, 包装用缓冲材料静态压缩试验方法[S].
- [7] GB/T 8168-1987, 包装用缓冲材料静态压缩试验方法[S].
- [8] 彭国勋. 物流运输包装设计[M]. 北京:印刷工业出版社, 2006.