

大型薄壁塑料件收缩成因分析^{*}

何照荣 罗宇玲

(广东石油化工学院机电工程学院,广州 525000)

摘要 在注射成型质量控制中,产品收缩率受很多因素的影响,在实际设计及生产中只能控制在一个波动范围内,而对于大型薄壁制品来说,该波动范围更加难以预测。用正交实验确定工艺参数,分析熔体温度、模具温度和保压时间在产品成型过程中对注射成型制品的影响程度,并分析其作用机理,为优化产品工艺参数提供依据。

关键词 收缩 工艺参数 Moldflow

注射成型过程是一个复杂的动态加工过程,产品成型质量受多种因素的制约,其中成型件收缩是其中一个关键的制约因素。在实际生产中,还经常会遇到长径比大的薄壁塑件,由于其壁厚的特点,熔体成型性受多因素的影响,导致产品成型后整体收缩严重,同时还伴随着翘曲变形和熔接痕的缺陷,不能完全满足生产要求。在传统的模具设计过程中,薄壁塑件的收缩只能控制在工艺参数的经验值范围内,要靠在试模时不断修正,才能制成合格的模具,对于大型薄壁塑件来说,这个范围难以预测。

为了准确地分析大型薄壁塑料件成型过程中收缩的影响因素,笔者采用 Moldflow 软件对塑料产品的成型过程进行模拟分析,为控制制品收缩提供数据依据。

1 塑料件成型收缩基础

1.1 收缩机理

长期以来,塑料制品成型工艺是依靠个人经验来进行调整控制的。在长期的实际工作和科研过程中,人们总结了塑件制品成型后收缩产生的原因,具体可分以下几个方面^[1]。

(1) 热收缩

熔体进入模腔后,经过冷却回路及保压阶段,使得熔体冷却下来并达到塑件成型的目的。因此,塑料材料最基本的收缩方式就是热胀冷缩(又称“热收缩”),表现为线性收缩。

(2) 相变收缩

熔体进入模腔后冷却,熔体内部分子发生变化,并根据材料的特性结晶。材料结晶后,材料内部分子取向由无规律的排列转变为规则有序的排列,而部分改性成分的添加更使结晶后的材料结构更紧密,使塑料制品的体积发生收缩。

(3) 取向收缩

在注射成型过程中,熔体在浇注系统中形成的取向结构会发生解取向,导致某些已经伸直的分子链结构恢复到原来卷曲状的无规则状态,使塑件的体积发生收缩。

(4) 负收缩

这种收缩发生在塑件制品脱模后。因为脱模后制品温度较高,所受压力突然消失,致使体积发生膨胀现象。

(5) 反收缩

反收缩与负收缩的概念不一样,它是因制品内部的内应力作用而产生的时效变形导致的制品尺寸的收缩。为保证产品质量,这种收缩可以通过对塑件的后处理工艺消除。

1.2 收缩过程

从收缩模式的分类可以发现,薄壁塑件的收缩过程与常规塑件一样,通常发生在生产流程中的三个阶段:保压阶段、冷却阶段和脱模阶段^[2]。

(1) 保压阶段的收缩

在保压阶段,熔体与模具之间的温差较大,使得熔体温度急剧下降,逐渐冷却的熔体密度和粘度不断提高,内部分子取向由无序化逐步趋向有序化。该阶段的收缩以热收缩和相变收缩为主。

(2) 冷却阶段的收缩

此阶段熔体已经进入模具型腔内,已没有新的熔体补充且熔体已部分凝固,其质量及密度不再发生变化。塑件的收缩与模具温度、冷却时间及冷却速率有关,不同的模具与熔体的温度差、冷却时间及冷却速率等因素都会影响熔体内部分子取向的有序化程度,该阶段的收缩主要是相变收缩。

^{*} 广东石油化工学院青年创新人才培育基金项目(2010yc02);
广东省高等教育学会实验室管理专业委员会基金项目(2010年)

收稿日期:2011-05-08

(3) 脱模阶段的收缩

塑件从型腔内脱出,成型过程中产生的内应力使得塑件在脱模期间由于外界温度相对较低产生膨胀;随后的室温静置冷却阶段使得塑件的内应力产生时效变形。该阶段的收缩由负收缩和反收缩组成,收缩总量与塑件材料、塑件温度及工作温度等因素有关。

薄壁塑件收缩过程主要发生在以上三个阶段,塑件的收缩是三个阶段收缩的综合结果。笔者在本文中只讨论前两个阶段的收缩。

2 实例模型与分析方案

2.1 实例模型的建立

本实例模型是某公司设计的购物篮。

基本尺寸:495 mm×410 mm×265 mm;

平均壁厚:2 mm;

材料:PP(SE920MO);

产品质量为:1.145 kg;

总体积:1386 cm³。

根据产品使用要求,成型后塑件尺寸收缩波动范围要控制在1.5%以内。为了保证成型过程模拟的准确性,需对产品实例三维模型进行前期网格划分处理。笔者使用模拟分析软件Moldflow/MPI6.0。按网格划分原则^[3]:网格边长一般是产品最小壁厚的1.5~2倍。该产品的壁厚为2 mm,三维模型采用的网格边长确定为3 mm。箱体三维模型网格化结果如图1所示。

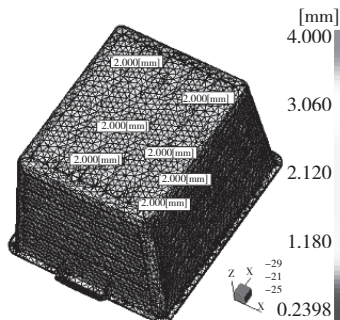


图1 箱体三维模型网格化结果

2.2 分析方案的制定

据产品工艺要求,采用热流道点浇口的方式注射成型,考虑冷却条件,制定如下实验方案,见表1。

表1 工艺因素与水平参数表

工艺因素	水平参数		
	1	2	3
熔体温度/℃	230	235	240
模具温度/℃	20	25	30
保压时间/s	3	4	5

3 结果与分析

3.1 实验结果

根据实验方案,通过正交实验^[4-5],获得模拟结果见表2。根据表2中 L_i 数据绘制的各影响因素的趋势图见图2。从图2可以看出,在制品成型过程中,熔体温度对产品平均收缩率的影响最大,其次是模具温度,影响最小的是保压时间。

表2 正交实验模拟结果列表

序号	参数选择			X轴向收缩率/%	Y轴向收缩率/%	Z轴向收缩率/%	平均收缩率/%
	熔体温度/℃	模具温度/℃	保压时间/s				
1	230	20	3	1.603	1.652	1.326	1.527
2	230	25	4	1.523	1.657	1.272	1.484
3	230	30	5	1.506	1.627	1.264	1.466
4	235	20	4	1.451	1.622	1.259	1.444
5	235	30	4	1.394	1.557	1.214	1.388
6	235	25	3	1.385	1.572	1.216	1.391
7	240	20	5	1.401	1.568	1.221	1.397
8	240	25	5	1.392	1.524	1.205	1.374
9	240	30	3	1.415	1.544	1.198	1.386
L_1	1.492%	1.456%	1.435%				
L_2	1.408%	1.416%	1.439%				
L_3	1.386%	1.413%	1.412%				

注: L_i 是在某个工艺因素下第*i*个水平参数平均收缩率, $i=1,2,3$ 代表3个水平参数。

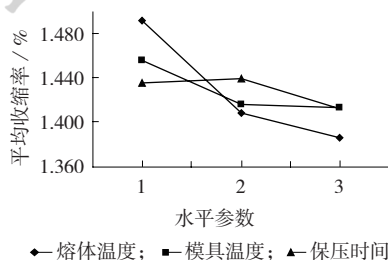


图2 熔体温度、模具温度和保压时间对平均收缩率的影响

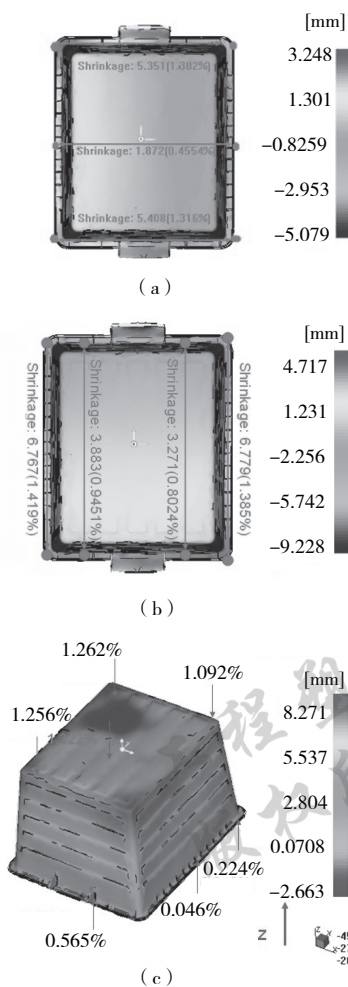
3.2 收缩原因分析

针对工艺参数中三因素对产品平均收缩率的影响程度,分析各因素的作用机理。

(1) 熔体温度

塑料的收缩是有方向性的,垂直于熔体流动方向和平行于熔体流动方向的收缩率往往不相同^[6]。对于各向异性大的塑料,熔体在速度差较大的部位,熔体沿流动方向取向,熔体在流动方向上收缩小;在熔体速度差较小或几乎没有速度差的部位,熔体沿与流动方向垂直的方向取向,熔体沿垂直料流方向收缩大。对于薄壁塑件来说,由于壁厚较薄且有大面积的平板结构,当熔体进入型腔时,其粘度随温度的降低而增加,并且产品边缘部分与平板区域中心部位的温差形成的冷却不同步,使得产品在边缘部分的收缩较大,而在面积较大的平板区域的收缩

较小。为了保证产品整体质量,需要提高注射时的熔体温度,最终根据其参数所得收缩率控制在 1.5% 范围内,且整体收缩量较均匀,产品三轴向收缩率见图 3。由图 3 可以看出,可以满足产品的基本要求。



a—X 轴收缩率; b—Y 轴收缩率; c—Z 轴收缩率

图 3 产品三轴向收缩率

(2) 模具温度

薄壁塑件注射成型时,由于熔体温度与模具之间有相当大的温差,且塑料的热容量大、导热性差,使靠近模壁的塑料熔体很快冷却并收缩。而薄壁塑件的壁厚特点导致塑件表层比内层冷却快,从而形成一层凝固壳层,阻碍因内部熔体与模具之间的温度差而产生的自发收缩,并在熔体内层产生拉应力,在凝固壳层产生压应力。这种在凝固壳层所产生的压应力将会被冻结在薄壁塑件中而成为残余应力,从而导致塑件的应力分布不均。图 4 为模具型腔内壁温度分布情况。由于模具冷却系统存在盲区(图 4 中圆圈所示部分),需要将模具该区域设计为 BeCu 材料的嵌块来保证整体模具温度均匀分布,并

适当提高模具温度。

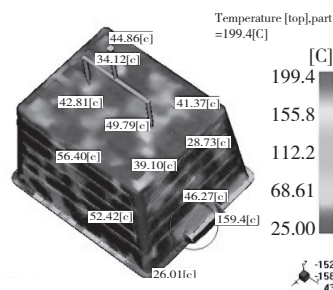


图 4 型腔内壁温度分布

(3) 保压时间

注射成型过程中保压时间对塑件的体积收缩率呈先缓慢增大后降低的趋势,这是由于较短的保压时间无法有效地发挥保压的压实补缩作用,消除由于熔体在凝固过程中所产生的内应力不均的状况;随着保压时间的增加,塑件的收缩率有所降低,但方向性及分布性明显,具体表现在靠近浇口位置收缩率很小,而远端收缩率很大,产品整体的收缩率分布不均。图 5 示出产品整体收缩率分布情况。针对这一情况,需考虑先恒压后衰减的分段保压方式,并延长保压时间至 10 s,图 6 示出产品保压曲线图。

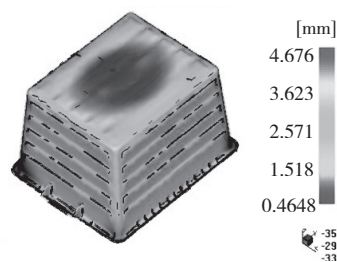


图 5 产品整体收缩率分布

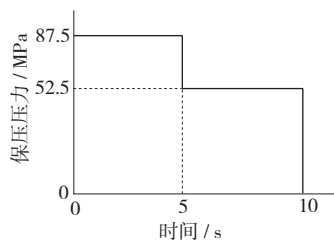


图 6 产品保压曲线图

4 结论

(1) 使用正交实验设计能有效地减少实验次数,且计算结果能很好地指导实际生产。对于薄壁产品来说,熔体温度对产品平均收缩率的影响最大,其次是模具温度,最小的是保压时间。

(2) 熔体温度和模具温度的升高使熔体粘度降低,有利于熔体在模腔内的流动;同时,足够的保压时间可起到消除制品内应力的作用,有效地将制品收缩率控制在要求范围内。

(3) 薄壁塑件成型过程中的收缩还受到其他因素的影响,其作用方式及机理还需后期进一步的研究与分析。

(4) 该产品最佳成型工艺参数为:熔体温度 240℃;模具温度 25℃;保压时间 5 s。

参考文献

[1] 宋满仓,颜克辉.薄壁注射成型数值模拟技术的发展现状[J].塑料科技,2006,34(1):51-54.

[2] 杨风霞,片春暖.结晶型塑料注射制品收缩率影响因素分析[J].模具工业,2005(11):31-34.

[3] 王刚,单岩.MOLDFLOW 模具分析应用实例[M].北京:清华大学出版社,2005.

[4] 王万中.实验的设计与分析[M].北京:高等教育出版社,2004.

[5] Taguchi G.Introduction to quality engineering[M].New York: McGraw-Hill,1990.

[6] 田学军.注塑制品成型收缩的分析及对策[J].塑料工业,2008,36(5):70-71.

ANALYSIS ON FACTORS OF THE SHRINKAGE ABOUT LARGE THIN-WALL PLASTIC PRODUCTS

He Zhaorong, Luo Yuling

(Guangdong University of Petrochemical Technology, Electrical and Mechanical Engineering College, Guangzhou 525000, China)

ABSTRACT During the quality control of the injection molding, the shrinkage of the products was influenced by many factors. So there was a range of the shrinkage what could be controlled during the design and the production. But for the big size of products, it was hard to be forecasted. Now, with the help of orthogonal experiment, the effects of the technological parameters such as melt temperature, mold temperature and packing time which were working during the products forming process were established, and the action of the parameters were analysed for the thin-wall plastic products. And the results of the analysis could be as the references for optimizing the technological parameters of the products.

KEYWORDS shrinkage, technological parameters, Moldflow

国产阻聚剂夺魁首套百万吨大乙烯

来自中沙(天津)石化有限公司的消息,北京斯伯乐科学技术研究院研制的乙烯装置用碳三阻聚剂在与美国 GE 公司、纳尔科公司和德国德固赛公司等 5 家全球著名企业同台竞技中胜出,即将为中沙(天津)年产 100 万 t 乙烯装置提供为期 3 年以上的碳三阻聚剂产品和技术服务。此举标志着国产碳三阻聚剂技术水平已跻身世界前列,产品质量达到国际先进水平。中沙(天津)石化有限公司年产 100 万 t 乙烯装置项目是国家“十一五”重点建设工程,由中国石化股份有限公司和沙特基础工业公司共同出资 340 亿元兴建,是国内单线产能规模最大的 100 万 t 级乙烯装置。自装置开工以来,碳三阻聚剂一直使用国外进口产品。在此次碳三阻

聚剂的采购招标过程中,中沙(天津)石化有限公司针对这一影响装置长周期稳定运行的关键助剂,对供应商进行了严格的审核,在招标前期就对投入入围企业的技术开发水平、产品质量、生产管理、售后服务和产品的应用业绩等进行了现场考评,之后进行了综合评定。最终北京斯伯乐科学技术研究院开发的碳三阻聚剂凭借其优良的性价比优势成功胜出。

据了解,北京斯伯乐科学技术研究院是目前国内乙烯装置用三剂产品研发规模最大的科研单位,其研制的碳三阻聚剂曾获得中国石油和化学工业协会科技进步奖和北京市科技进步奖。现在该产品不仅在国内大型石化企业取得了良好的应用业绩,而且还远销海外石油公司。目前该产品正在逐步占领由世界知名企业把持的市场份额。(中化新网)

欢迎查询有关广告

对于在我刊刊登的所有广告,如读者需要查询更详细的资料或了解情况,请填写好《读者查询广告资料服务卡》后寄回或来函。本杂志社将为您提供或转请有关单位提供资料,以满足您的要求。如需购买任何广告单位的材料、设备、仪器及配件等产品,我社将帮助您联系,以保证产品质量,争取优惠价格。欢迎各单位在我刊刊登广告。刊登办法函索即寄。

《工程塑料应用》读者查询广告资料服务卡

No. _____

读者姓名 _____ 单位 _____ 邮政编码 _____

通讯地址 _____ 电话 _____ E-mail: _____

欲获得《工程塑料应用》_____ 年第 _____ 期第 _____ 页 _____

广告中有关 _____ 的详细资料。

如空位不够,请另附纸。填好后请寄回。

山东省济南市 108 信箱杂志社

邮政编码: 250031