

[研究·设计]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2012.04.007

塑胶产品缩痕、空洞产生原因及改善方法

李莹, 俞炜

(上海交通大学 化学化工学院, 上海 200240)

摘要:缩痕与空洞是塑胶产品常见的产品质量问题,文章分析了其产生的原因,并提出相应的改善原则:包括修改产品几何特征、浇口位置及大小以及成型工艺参数等方面。同时采用均匀设计方法,利用 Moldflow 软件建立仿真模型,进行有限的仿真实验来获得较优的改善方案。最后通过实际产品案例进行了应用验证,结果表明该方法可有效地改善缩痕与空洞缺陷。图5表2参9

关键词:塑胶产品;缩痕;空洞;均匀设计;Moldflow 分析

中图分类号:TQ320.6 **文献标志码:**A **文章编号:**1005-2895(2012)04-0025-04

Causes and Solutions of Sink Mark and Voids in Plastic Products

LI Ying, YU Wei

(School of Chemistry and Chemical Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: This paper summarized the causes of sink mark and void in plastic product, and put forward the corresponding solutions including modification of the part geometry, gate location and size as well as processing parameters etc. It is also demonstrated how to find the optimal scheme and its parameters with Uniform Design method and simulation model with Moldflow software. This method has been testified successfully in many cases. The results show that the method can be effectively used to find better improvement plan. [Ch, 5 fig. 2 tab. 9 ref.]

Key words: plastic product; sink mark; voids; uniform design; Moldflow analysis

0 引言

在用塑胶材料设计产品或取代金属部件过程中,通常由于材料收缩不均匀导致产品外观有缩痕或产品内部有空洞,影响产品外观及其质量。无论是无定形材料还是结晶性材料,有无玻纤增强,其收缩率在 TD(沿流动方向)和 MD(垂直流动方向)都会出现差异,因此都容易出现这些缺陷。对此问题国内外学者进行了大量的研究,但主要是针对塑胶材料的成分特性对收缩率的影响角度来进行研究^[1-3],而实际情况下,产品材料的成分及其配比、产品结构、模具的冷却效率、成型工艺等都影响缩痕和空洞的产生,有多种影响因素,因此需综合考虑。随着计算机仿真技术的发展,采用 Moldflow 软件进行模流仿真分析进行注塑产品缺陷的发现与改善方面也有很多研究成果^{[4]38}。首先分析了缩痕与空洞形成原因,然后提出综合考虑产品结构、浇口位置及大小以及成型工艺参数的综合改善方案,

采用实验设计方法,并通过 Moldflow 软件进行建模与仿真分析,最后得到较优的改善方案。

1 缩痕、空洞产生原因及区别

缩痕及空洞两者都是由于产品较厚区域保压不足或材料局部收缩不均匀带来的。缩痕是指产品表面的凹痕,通常不深,但一般容易看到,影响产品的外观质量。凹痕是否可见除了与深度有关,同时还与产品颜色、表面纹理等有关,比如有些凹痕在抛光面比较明显,但在咬花面难以看到。空洞是形成在产品内部的孔洞,其可能是一个较大的孔洞,也可能是一群细小的微孔^[5]。空洞是由于产品外层已经冷却变硬,可以抵挡产品中心熔融区域凝固过程收缩产生的拉力,所以没有在产品表面形成凹痕,而是在产品内部形成空洞或微孔。通常缩痕不会影响产品强度或功能,但是会影响产品外观;而空洞会对产品结构性能强度有很大影响,容易导致产品实效,因此必须消除或者改善。缩

收稿日期:2011-11-22;修回日期:2012-02-07

作者简介:李莹(1977),女,湖南沅江人,硕士研究生,主要研究方向为高分子材料与成型、模流分析。E-mail:ying.li@sjtu.edu.cn

痕与空洞典型表现如图1所示。

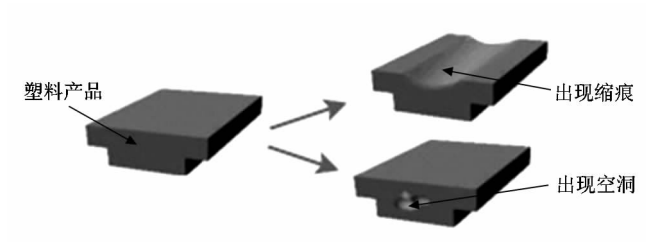


图1 缩痕与空洞

Figure 1 Sink mark and voids

造成塑胶产品出现缩痕及空洞的主要因素有:①产品局部几何特征。凹痕通常在成型较厚部件时发生,或位于较厚的加强筋、孔或内圆角背面。②浇口位置及大小。浇口位置及大小可能影响产品保压路径及保压时间,比如浇口位置放置在较薄区域,就可能导致较厚区域保压不够;浇口尺寸太小,则会凝固太快,导致产品保压不足,影响体积收缩。③保压压力及时间同样会影响体积收缩。保压曲线包括保压压力及时间直接影响产品的体积收缩。需要找到合适的保压曲线使之既能充分保压产品,外围又不至于在浇口区域产生过保压。这通常需要进行试验设计,反复进行样件成型试验或借助于CAE软件模拟分析才能获得。④材料温度及模具温度。材料及模具温度主要影响产品的冷却速度及冷却时间,造成材料收缩率不均。

2 缩痕、空洞的消除与改善原则

2.1 改善产品几何特征

修改局部过厚特征,如突出的加强筋,局部台阶等,根据不同的产品结构特征要求,采取不同的设计方式,但设计原则是使壁厚尽量均匀。

2.2 优化浇口位置及大小

模具设计时浇口通常应放置在产品较厚位置,或在难以保压位置增加浇口,采取这种浇口设计方案利于产品的保压,防止浇口区域过早凝固,但要考虑这种设计可能会导致模具结构变得复杂,增加熔结线等。同时选取合适的浇口尺寸,避免由于浇口尺寸不够而过早凝固,导致产品保压不足而形成空洞缺陷。通常浇口尺寸为产品厚度的70%~80%。

2.3 优化成型工艺参数

成型工艺参数中保压压力和保压时间对体积收缩影响较大,提高保压压力及增加保压时间有助于减小体积收缩。一般可以通过产品重量指标来确定合适的保压曲线:延长保压时间直至产品重量不再增加的时刻点可以作为最终保压时间。材料温度及模具温度对

体积收缩的影响相对保压曲线而言较小,通常温度调节也较容易。

3 基于仿真分析的改善因素参数确定方法

从上面的分析可以看出影响塑胶产品缩痕与空洞缺陷的因素有很多,设计到产品几何结构、模具以及成型工艺等方法,并且各因素之间具有相互影响,因此很难得到最优的改善方案。传统的改善流程通过分析样件缺陷,根据改善原则与经验知识修改上述因素具体参数,然后再进行样机测试,直到得到符合质量要求的产品,但这种方法具有效率低、成本高、甚至产品缩痕等缺陷无法解决的缺点。文中提出采用实验设计方法与计算机仿真实验结合的方法,对影响产品缩痕与空洞的因素进行分析,从而获得最佳的改善方案,并且节省样件实验费用。

对于复杂注塑产品,具体的某个参数方案,其计算机仿真模型(有限元模型)的仿真分析时间较长,并且方案的修改特别是结构的改变,冷却水路的修改等需要较长的处理时间,因此很难对影响缩痕及空洞的因子进行全因子实验,因此有很多研究提出采用实验设计的方法来减少实验次数^[6-7],同时获得最优的因素参数组合。文中采用均匀设计的实验设计(Uniform Design)方法,该方法在试验范围内考虑试验点均匀散布以求通过最少的试验来获得最多的信息,因而其试验次数比传统的正交设计方法明显减少,使均匀设计特别适合于多因素多水平的试验和系统模型完全未知的情况^[8]。

计算机仿真模型采用Moldflow软件进行建模与仿真分析,以获得准确的仿真试验结果。Moldflow软件是目前最好的模流分析软件之一,在业界得到广泛的应用,可以作为仿真分析关键环节,从而减少真实样件成型测试的次数^[9]。通过仿真分析,可以得到不同参数方案下缩痕以及空洞的定性及定量分析结果。从仿真结果可以检查凝固层百分比随时间的变化过程,由此可以发现塑胶产品哪些区域先凝固,是否会阻碍保压;也可以查看体积收缩值及位置等信息;同时也可以根据仿真分析结果,调整因素的数量及水平参数,如图2所示。

4 应用案例

S产品是应用于某高压器件的一个零件,原来是采用钢材料,为了节省成本和减轻重量,计划采用塑胶材料(Polyphthalamide)来取代。该产品要求不能有空洞缺陷,因为其在使用时金属嵌件会通高压电,空洞容易导致高压电击穿塑胶壁。该产品在样件成型试验时

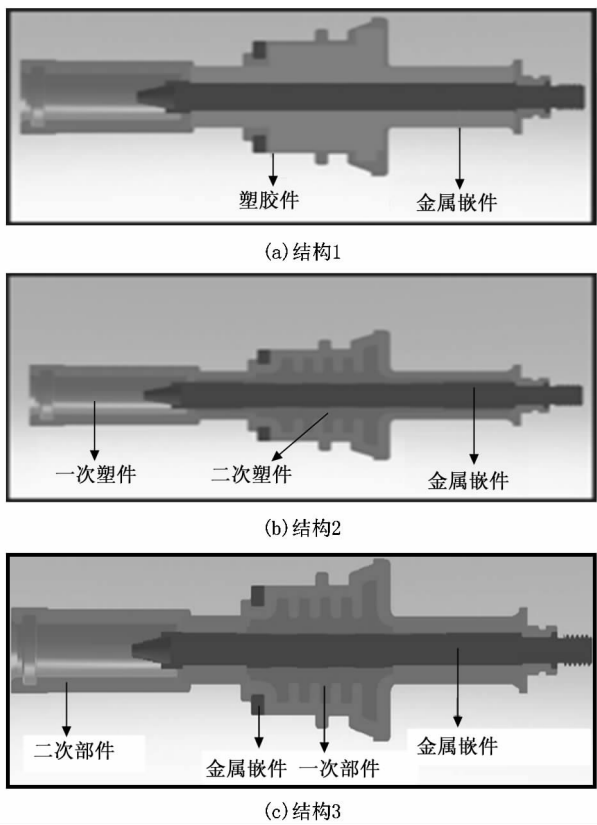


图2 产品结构
Figure 2 Product structure

表1 改善因素及其水平表

Table 1 Improvement factor and factor level

改善原则 因素名称 类别	改善产品几何特征 产品结构 A	优化浇口位置及大小 浇口方案 B	优化成型工艺参数	
			保压时间/s	保压压力/MPa
			C	D
水平值1	结构1:塑件较厚	三点端浇口	14	100
水平值2	结构2:两次注射,使塑件壁厚均匀	一点侧浇口	12	90
水平值3	结构3:两次注射,修改一次注射部件结构	一点端浇口	10	80

表2 均匀设计表

Table 2 Even design table

实验 序号	产品 结构	浇口 方案	保压 时间/s	保压压力/ MPa	最大体积 收缩/%	凝固 时间/s
1	2	1	2	3	21	32
2	3	1	1	1	14	29
3	1	2	2	1	21	34
4	3	3	2	2	16	29
5	2	3	3	1	21	32
6	1	3	1	3	19	34
7	3	2	3	3	17	29
8	1	1	3	2	19	34
9	2	2	1	2	22	32

却发现了明显的空洞与缩痕缺陷,并且经过多次参数调整都达不到质量要求。为了成功开发产品,应用本文提出的方法寻找改善方案:首先根据经验知识选取改善因素及其水平;然后根据均匀实验设计方法,确定因素水平组合;在 Moldflow 软件中建立仿真模型并进行分析;最后得到改善方案并进行样件成型实验。

4.1 改善因素及其水平确定

根据选取的产品材料、嵌件成型工艺以及相关经验知识,选取4类改善因素,每类因素各选3个水平,组成因素水平表见表1。

4.2 均匀实验设计

为了减少仿真实验的次数,采用均匀实验表 $U_9(3^4)$ 进行仿真参数方案的选取^{[4]39}。共安排9次仿真实验,取4个因素,每个因素3个水平。得到的均匀设计表见表2。

4.3 建模与仿真分析

根据表2的实验参数,在 Moldflow 软件中分别建立有限元模型,共进行9次模流分析,查看其体积收缩、凝固时间分布、以及变形等仿真结果,分析S产品出现空洞与缩痕的概率。重点以第2组改善参数方案为例进行分析。该组实验参数组合下产品结构如图2(b)所示,浇口方法见图3(a),注射时间1.5 s;保压时

间14 s;保压压力100 MPa;冷却时间40 s;模具温度135 ℃;熔体温度333 ℃。

为了便于结果分析,剖开产品结构,显示凝固时间与体积收缩分布结果。图4显示了产品凝固时间分布结果:最大凝固时间为29 s,虽然最后凝固区域仍然离浇口较远,但是凝固时间分布较为均匀(除颈部凝固稍快外)。图5中体积收缩分布结果表明体积收缩相对比较均匀,不会出现局部过大的体积收缩,通过改善保压曲线可以减少其体积收缩值,从而消除空洞与缩痕缺陷。

4.4 最优因素组合方案确定

通过建立的有限元仿真模型,分别在9种因素参

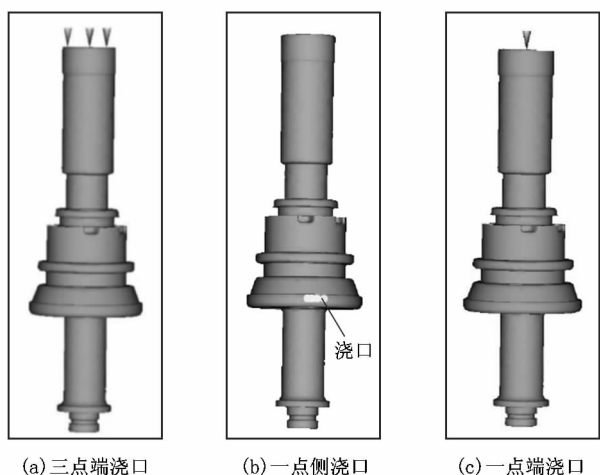


图3 浇口方案

Figure 3 Design of injection gate



图4 凝固时间

Figure 4 Frozen time

数下进行模流分析,可以得到其凝固时间以及体积收缩分布结果(表2),并进行空洞或者缩痕缺陷的分析,找到2组较优的因素参数方案(第2组与第8组)。采用样件成型实验进行验证,发现在第2组因素参数下的成型产品基本上消除了空洞与缩痕缺陷,满足产品的质量要求。

5 结语

针对注塑产品的缩痕以及空洞缺陷,研究采用结合均匀实验设计方法和计算机仿真分析方法,在

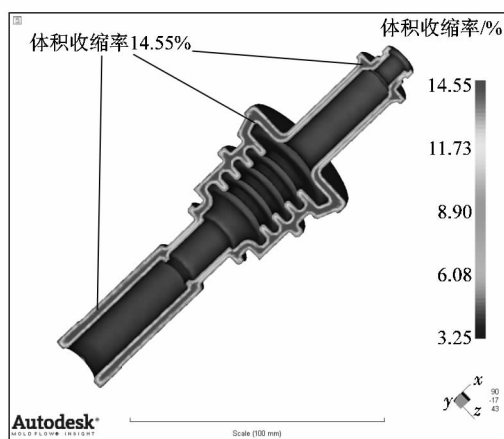


图5 体积收缩分布

Figure 5 Distribution of shrinkage

样件成型实验之前确定较优的参数,从而在产品阶段获得最优的产品结构、模具结构以及成型参数等,降低产品的开发风险。本文研究中,详细分析了缩痕及空洞的产生原因,提出了消除与改善的指导原则,可以辅助确定影响因素数量及其水平。通过S产品开发的应用验证,表明均匀实验设计方法结合计算机仿真分析的方法具有较好的实际应用价值。

参考文献 (References):

- [1] 赵永成,吴亚南,董淑婧. 注塑成型收缩率影响因素的分析[J]. 塑料工业, 2005(12): 29-31.
- [2] 祝铁丽,王敏杰. 注塑成型制品收缩率研究进展[J]. 模具技术, 2002(1): 10-12.
- [3] 王利霞,杨杨,王蓓,等. 注塑成型工艺参数对制品体收缩率变化的影响及工艺参数优化[J]. 高分子材料科学与工程, 2004(2): 173-176.
- [4] 贺华波,李红林,邓益民,等. Moldflow 在电话听筒上盖零件注塑成型中的应用[J]. 轻工机械, 2006, 24(2): 38-40.
- [5] Solvay Advanced Polymers L. L. C. AMODEL® Polyphthalamide Design Guide [G]. Alpharetta, USA: Solvay Advanced Polymers, 2006.
- [6] 王德翔,刘来英,王振宝,等. 基于人工神经网络技术的注塑成型工艺参数优化[J]. 磨具技术, 2001(6): 1-4.
- [7] 戴亚春,王匀,周建忠,等. 微齿轮注塑成型正交优化及数值模拟[J]. 材料工程, 2010(7): 46-48.
- [8] 方开泰. 均匀设计——数论方法在试验设计的应用[J]. 应用数学学报, 1980(4): 363-372.
- [9] Autodesk. Moldflow® Manual [G]. California, USA: Autodesk, 2006.