

基于正交试验的气体辅助注射成型工艺参数优化^{*}

赖家美 罗章 柳和生 江雄心 黄兴元 熊爱华

(南昌大学机电工程学院,南昌 330031)

摘要 以21英寸彩电前壳为例,将Moldflow 2010作为CAE模拟试验平台,以熔体温度、模具温度、熔体注射时间、气体延迟时间、气体压力为关键工艺因素,考察了气体辅助注射成型时制品的翘曲变形量和气体穿透情况。采用正交试验法及极差分析法对Moldflow模拟试验结果进行分析,确定并验证了较优工艺参数组合的正确性。

关键词 气体辅助注射成型 彩电前壳 正交试验 工艺参数

气体辅助注射成型(GAIM)技术是20世纪70年代发展起来的一种新型塑料加工技术^[1-2]。时至今日,该技术已在世界各地得到了广泛关注和普遍应用。GAIM技术的主要原理是在塑料成型过程中,将高压惰性气体注入熔体中,通过气体保压使塑件内部产生中空截面,不仅可以达到普通注射成型无法达到的高强度和高表面质量要求,而且还具有缩短成型周期、节省原材料、提高生产效率和延长模具寿命等优点,为汽车、家电、日用品等塑料加工行业提供了崭新的应用领域,被誉为注射成型一项划时代的革命^[3-5]。

与传统的注射成型工艺相比,与GAIM工艺相关的参数较多,其中影响较大的工艺参数包括塑料熔体温度、模具温度、塑料预填充量、延迟时间、气体压力、气体保压时间等。因此GAIM工艺参数的确定是一个相当重要和复杂的过程,它直接对制品的质量产生影响。采用传统试模的方法来发现成型缺陷,既费时,又不经济,甚至无法解决问题。如何筛选成型过程中重要的工艺参数并优化组合以获得较好制品质量是目前该领域一大难题,解决这一难题对企业提高市场竞争力有重要意义。笔者采用正交试验设计及极差分析法来确定GAIM工艺参数对制品质量(主要考察制品翘曲变形量和气体穿透率)的影响大小,并确定了较优的工艺参数。

1 前处理

1.1 模型的建立

笔者以21英寸彩电前壳为研究对象。利用Pro/Engineer建立彩电前壳的CAD实体模型,如图1所示。该产品尺寸为582 mm×446 mm×35 mm,壳体厚度为5 mm,内部加强筋为3 mm。

1.2 模型的网格处理

将Pro/Engineer建立好的CAD实体模型转化

STL格式,然后导入Hypermesh软件中,再抽取中面模型。抽取中面模型后进行网格的划分,网格类型为三角形网格,根据大小分为8 mm和4 mm,网格单元数为17931个,最终的网格模型如图2所示。网格模型处理好后,将模型在Hypermesh中保存为NAS格式文件导入Moldflow 2010中再进行CAE模拟。

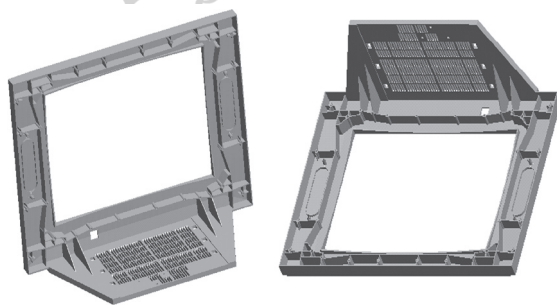


图1 21英寸彩电前壳实体模型

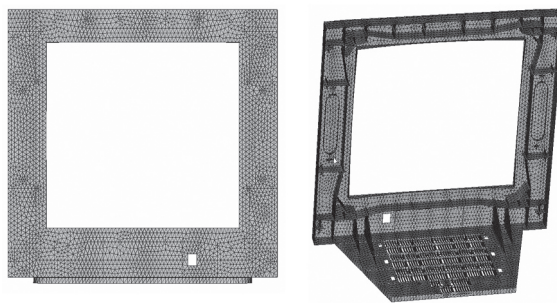


图2 21英寸彩电前壳网格模型

1.3 材料的选择

Moldflow软件拥有丰富的材料库,笔者根据实际生产的情况选取Dow Brasil Studeste Ind Ltda公司牌号为Styron 478的高抗冲聚苯乙烯,其主要成型参数见表1。

^{*} 江西省教育厅青年科学基金项目(GJJ09414)

收稿日期:2011-08-25

表 1 材料的工艺参数

熔体温度/℃	180~260
模具温度/℃	10~60
顶出温度/℃	87
最大剪切速率/MPa	0.3
最大剪切压力/s ⁻¹	40000

1.4 模型浇注系统与气道的设计

浇注系统的设计首先要保证熔体在型腔内的流动平衡,要使熔体同时充满型腔;其次材料在成型过程中的最大剪切速率和剪切应力都不能超过该材料的最大允许值;再者要保证填充过程中压力降均匀;最后,要避免出现迟滞现象,尽量避免或减少成型质量缺陷。浇口是连接分流道与型腔之间的一段短通道,浇口的形状、数量、位置和尺寸对注塑件的质量有较大的影响。GAIM 时很多缺陷是由于浇口的设计不合理而造成的。

气道的设计是 GAIM 技术中最关键的设计因素之一。气道的设计是提供一条可以使熔体流到压力最低的地方的一条通道,因此不仅影响最终制品的质量,而且也影响制品的加工成型过程。

针对 21 英寸彩电前壳设计了三叉式浇口,流道系统的结构如图 3 示。采用热流道系统,其中主流道为圆锥形,上端直径为 8 mm,下端直径为 12 mm;分流道为圆形,直径为 12 mm;采用潜伏式浇口,前段直径为 4 mm,后端直径为 12 mm。

为了加速充模速度以及平衡流动,彩电前壳模型采用三个进气口,具体的气道结构和注气位置如图 4 所示。气道截面设置成等效圆形气道,等效直径为 8 mm,气道总长为 2361 mm。

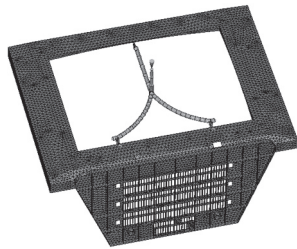


图 3 彩电前壳浇注系统

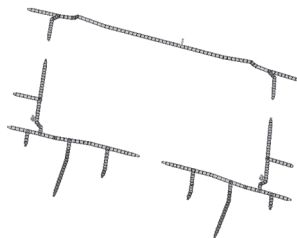


图 4 彩电前壳气道结构

2 正交试验设计

正交试验设计主要包括两部分,一是评价指标和因素的确定;二是对结果进行分析。笔者选取制品的翘曲变形和气体在熔体中的穿透情况作为评价指标,根据工艺参数对制品质量的影响,选取熔体温度、模具温度、熔体注射时间、气体延迟时间和气体压力 5 个因素,每个因素选取 4 个水平,具体的设置如表 2 所示。

表 2 因素与水平设置

因素	熔体温度 (A) /℃	模具温度 (B) /℃	熔体注射时 间(C) /s	气体延迟时 间(D) /s	气体压力 (E) /MPa
水平 1	210	25	1	1	10
水平 2	225	35	2	2	20
水平 3	240	45	3	3	30
水平 4	255	55	4	4	40

翘曲变形指标利用信噪比(S/N)来衡量,具体见式 1。气体穿透情况用气体穿透率来表示,具体见式 2。

$$\eta = -10 \lg \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (1)$$

$$P_r = (L - L_p) / L \quad (2)$$

式中 η 为信噪比, y_i 是每组工艺参数下的翘曲变形量, P_r 为气体穿透率, L 为气道总长, L_p 为气体未穿透的长度。

3 模拟结果

选用 $L_{16}(4^5)$ 的正交表。通过 16 次的模拟试验着重研究熔体温度、模具温度、熔体注射时间、气体延迟时间和气体压力这 5 个工艺参数对气体在气道中的穿透率和制品翘曲变形的影响。模拟试验在 Moldflow 2010 软件上进行,分析结果见表 3。

表 3 $L_{16}(4^5)$ 正交试验结果

编号	A	B	C	D	E	翘曲量/mm	信噪比/dB	气体穿透率
1	1	1	1	1	1	4.273	-12.615	0.718
2	1	2	2	2	2	2.661	-8.501	0.987
3	1	3	3	3	3	2.664	-8.511	0.999
4	1	4	4	4	4	2.759	-8.815	0.975
5	2	1	2	3	4	2.596	-8.286	1
6	2	2	1	4	3	2.569	-8.195	0.993
7	2	3	4	1	2	3.011	-9.574	0.993
8	2	4	3	2	1	3.163	-10.002	0.874
9	3	1	3	4	2	2.611	-8.336	0.987
10	3	2	4	3	1	3.218	-10.152	0.82
11	3	3	1	2	4	2.533	-8.073	1
12	3	4	2	1	3	3.121	-9.886	1
13	4	1	4	2	3	2.482	-7.861	0.997
14	4	2	3	1	4	2.49	-7.854	0.998
15	4	3	2	4	1	3.019	-9.597	0.973
16	4	4	1	3	2	3.588	-11.097	1

4 结果分析与验证

表4是16组试验下翘曲变形量信噪比和气体穿透率的极差分析结果。一般来说,各列的极差是不相等的,这说明各因素的水平改变对试验结果的影响也是各不相同的。极差值大,说明该列因素的数值在试验范围内的变化会导致试验评价指标上有更大的变化,所以极差值最大的那一列,就是因素的水平对试验评价指标影响最大的因素,也就是最主要因素。

表4 正交试验结果极差分析

因素	A	B	C	D	E
制品翘曲变形					
水平1	-9.444	-9.274	-9.995	-9.982	-10.591
水平2	-9.014	-8.675	-9.068	-8.609	-9.377
水平3	-9.112	-8.939	-8.676	-9.511	-8.613
水平4	-9.102	-9.784	-8.934	-8.57	-8.091
极差R	0.43	1.109	1.139	1.142	2.5
因素主次	E > D > C > B > A				
因素	A	B	C	D	E
气体穿透率					
水平1	0.92	0.926	0.928	0.928	0.846
水平2	0.965	0.95	0.99	0.965	0.992
水平3	0.952	0.991	0.965	0.953	0.998
水平4	0.993	0.962	0.947	0.982	0.994
极差R	0.073	0.065	0.062	0.054	0.152
因素主次	E > A > B > C > D				

对制品来说翘曲变形量越小,经信噪比转换后是信噪比越大愈好,也就是哪一个极差越大,则该因素对翘曲变形的影响越严重。所以从表4得到影响制品翘曲变形的工艺参数的主次关系为: $E > D > C > B > A$,说明气体压力是影响翘曲变形的最主要因素,而其他四个参数次之。

对气体在制品气道内的穿透情况是,气体越接近气道的末端越好,即气体穿透率越大越好。从表4可以知道5个因素重要性的主次关系为: $E > A > B > C > D$ 。说明对气体穿透率这个指标来说,气体压力对其影响最大。

为了更好地分析5个因素与两个制品评价指标的关系,以各因素的水平值为横坐标,同一水平下评价指标算数平均值为纵坐标,绘制5个因素对两个评价指标的趋势图,见图5、图6。

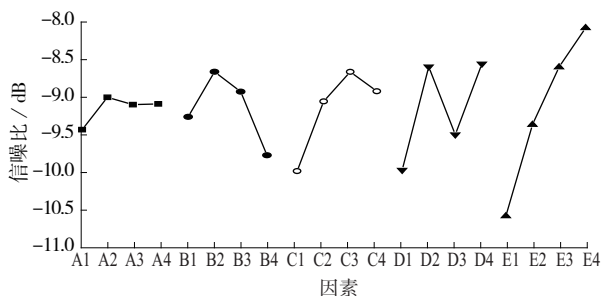


图5 各因素水平对翘曲变形的影响

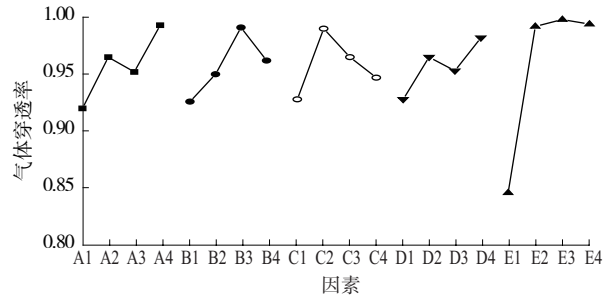


图6 各因素水平对气体穿透率的影响

对于熔体温度(A)这个因素,从图5、图6上得知,针对翘曲变形这个指标,A2时翘曲变形量最小,对于气体穿透率是A4时最大。从表4知道,5个工艺参数对翘曲变形和气体穿透率各因素的影响程度分别是 $E > D > C > B > A$ 和 $E > A > B > C > D$ 。因素A对翘曲的影响最小,而对气体穿透率的影响较严重。根据工艺参数对制品质量的影响,温度越高,越易于气体的穿透,同时也增加了气体渗入制品内的体积,从而影响制品质量。如果选择A2或A4,气体的穿透率分别为0.965和0.993,结果差别不是很大。所以通过分析,针对因素A,选择A2,即熔体温度225℃。

对于模具温度(B),翘曲变形量最小取B2,气体穿透率最大取B3。因素B对气体穿透率的影响大于对翘曲变形的影响,取B2或B3时得到的翘曲变形量相差不大(-8.865和-8.939),因此忽略因素B对翘曲变形的影响,而只考虑因素B对气体穿透率的影响。选择B3的气体穿透率大于B2的气体穿透率,所以对因素B来说选B3,即模具温度45℃。

对于熔体注射时间(C),翘曲变形量最小取C3,气体穿透率最大取C2。根据因素C对两个评价指标的影响程度,因素C对翘曲变形的影响大于对气体穿透率的影响,故选C3,即熔体注射时间3s。

对于气体延迟时间(D),满足翘曲变形和气体穿透率两个指标的的气体延迟时间都为D4,故选D4,即气体延迟时间4s。

对于气体压力(E),这个因素对翘曲变形和气体穿透率这两个评价指标的影响最大,也就是最重要因素。它们选取的最佳水平分别为E4和E3,对于气体穿透这个评价指标来说,选取E3或E4时对气体的穿透率影响不大(0.998和0.994);但对翘曲变形来说,取E4比取E3的翘曲变形量小(-8.019

和-8.613)。所以,对因素E取E4,即气体压力40 MPa。

经过上面的综合讨论分析,得到了A2B3C3D4E4这一组较优的工艺参数组合,即熔体温度225℃,模具温度45℃,熔体注射时间3 s,气体延迟时间4 s,气体压力40 MPa。按这组工艺参数对翘曲变形和气体穿透情况进行验证,结果见图7、图8。

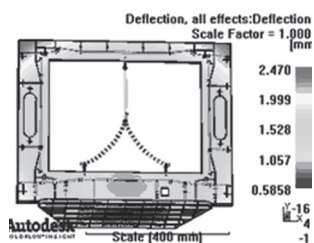


图7 较优工艺组合下的翘曲变形量

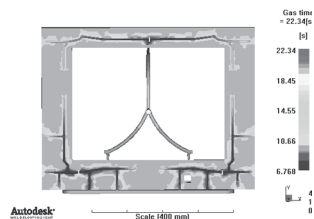


图8 较优工艺参数组合下的气体穿透云图

从图7、图8可知,通过正交试验设计优化之后得到的较优工艺参数A2B3C3D4E4组合下的翘曲变形量为2.47 mm,优于当前正交试验的16组试验的结果;气体穿透率为1,即气体完全能够穿透气

道,且气体渗入薄壁的现象有所减轻。

5 结论

(1)影响彩电前壳翘曲变形的工艺参数的重要程度为:气体压力>气体延迟时间>熔体注射时间>模具温度>熔体温度。

(2)影响气体穿透情况的工艺参数的重要程度为:气体压力>熔体温度>模具温度>熔体注射时间>气体延迟时间。

(3)当熔体温度为225℃,模具温度为45℃,熔体注射时间为3 s,气体延迟时间为4 s,气体压力为40 MPa时,制品的翘曲变形量和气体穿透率都达到了较好的指标。

参考文献

- [1] Li C T, Isayev A I. Primary and secondary gas penetration during gas-assisted injection molding. part 1. Formulation and Molding [J]. Polymer Engineering and Science, 2004, 44 (5): 983-991.
- [2] Li C T, Isayev A I, Lee H S, et al. Primary and secondary gas penetration during gas-assisted injection molding. part 2. Simulation and experiment [J]. Polymer Engineering and Science, 2004, 44 (5): 992-1002.
- [3] Jack Avery. 气体辅助注塑成型原理[M]. 杨卫民, 丁玉梅, 译. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [4] 丁宏. 气辅注塑成型工艺的研究与应用[D]. 厦门: 厦门大学, 2009.
- [5] 欧长劲, 郑子军, 胡如夫. 气体注射成型工艺参数正交试验CAE模拟设定[J]. 塑料, 2005, 34 (4): 94-96.

PROCESS PARAMETERS OPTIMIZATION OF GAS-ASSISTED INJECTION MOLDING BASED ON ORTHOGONAL EXPERIMENTAL DESIGN

Lai Jiamei, Luo Zhang, Liu Hesheng, Jiang Xiongxin, Huang Xingyuan, Xiong Aihua

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Nanchang University, Nanchang 330031, China)

ABSTRACT The 21 inches color TV front cabinet was used as an example and Moldflow 2010 software was used for CAE platform, the gas penetration degree and warp effect of parts during gas-assisted injection molding(GAIM) were investigated with melt temperature, mold temperature, melt injection time, gas delayed time, and gas injection pressure as the key process parameters. The CAE results were analyzed by orthogonal method and range analysis. The optimum parameters was determined and then verified that it was reasonable.

KEYWORDS gas-assisted injection molding, color TV front cabinet, orthogonal experimental design, process parameters

全球十大PP生产商最新排名

IHS CMAI 的最新研究报告显示,截止2011年全球拥有PP产能6417.8万t/a,其中全球十大聚丙烯生产商拥有PP产能3347.1万t/a,占到全球PP总产能的52.13%。其中利安德巴赛尔公司以647.1万t/a的产能位居第1,占10.08%的份额;排名第2的是中国石化集团公司,拥有493万t/a产能,占7.68%;排名第3的是沙伯,拥有345.5万t/a,占5.38%;排名第4的是中国石油天然气集团公司,拥

有303.8万t/a,占4.73%;排名第5的是巴西Braskem公司,拥有281.4万t/a,占4.38%;排名第6的是印度信任工业公司,拥有275万t/a,占4.28%;排名第7的是阿布扎比国际石油投资公司(IPIC),拥有274.5万t/a,占4.28%;排名第8的是道达尔石化公司,拥有271.5万t/a,占4.23%;排名第9的是埃克森美孚,拥有228万t/a,占3.55%;排名第10的是台塑集团,拥有227.3万t/a,占3.54%。

(化工信息网)