

注塑工艺参数对塑料长尺残余应力的影响

李明哲,方明磊,刘 红

(浙江工业大学 机械工程学院,杭州 310014)

摘 要: 利用 Taguchi(田口)实验方法将注塑参数设计为 $L9$ 实验矩阵,在不同注塑参数下进行数值模拟,找出在模具温度、熔体温度、注射速率及保压压力等工艺参数对注塑残余应力的影响程度。结果表明:所选的工艺参数对于注塑件残余应力的影响程度不一,通过优化参数可以将注塑残余应力值降低,从而达到注塑产品质量的提高。

关键词: 注塑成形;残余应力;数值模拟;Taguchi(田口)实验方法

中图分类号: TQ320.66

文献标识码: A

文章编号: 1671-8798(2009)03-0213-04

Effect of injection parameters on residual stress of plastic long ruler

LI Ming-zhe, FANG Ming-lei, LIU Hong

(School of Mechanical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: $L9$ experimental matrix based on injection parameters was used. Numerical simulation was carried out by different injection parameters. And the influence degree on the value of residual stress was found out by the selected injection parameters, such as the mould temperature, melt temperature, injection rate and packing pressure. The result showed that the selected injection parameters have different extent of effects on the residual stress in plastic product; the residual stress can be decreased by using the optimal parameters so that the quality of the plastic products can be improved.

Key words: injection molding; residual stress; numerical simulation; Taguchi technique

注塑成形是高聚物成型的主要成型方法之一,它具有成型制品精度高,可加工聚合物种类多的特点,并且成型机械化水平高,可以实现快速大批量生产,注塑产品已广泛用于各行各业,注塑产品的质量已经成为一个国家制造业水平高低的标志。但在注塑产品中往往都存在残余应力,注塑制品的残余应力不仅影响制品的力学、光学性能,而且在很大程度上决定制品的最终几何形状,从而严重地影响着注塑产品的质量。

国内外很多人员对注塑产品的残余应力和产品质量做了大量的实验和研究,并取得了一定的成果。但是每个研究者的结论也不尽相同,至今还没有比较系统、权威的结论。Yao D G, Kim B 等^[1]研究发现随着壁厚减少,熔体流动的难度加大。模具温度提高后,熔体可以很容易地填充薄壁行腔而不带有冷凝层,同时降低流动抵抗。韩健、李刚、申长雨等^[2]研究了不同成型工艺条件对聚苯乙烯平板注塑件残余应力的影响,分别给出了沿厚度方向的残

余应力和固化压力分布。研究发现:残余应力在厚度方向上呈拉—压—拉(表层—次表层—中间层)分布,并随熔体温度和保压压力升高而增大。奚国栋、周华民、李德群等^[3]研究注塑成形工艺参数对制品的最终残余应力和收缩有着直接的影响,以无定型材料 PS 和 ABS 为例,系统地研究了不同成形工艺条件下平板制件的最终残余应力和收缩。结果表明:在流动方向上无定型材料的收缩基本保持不变,残余应力沿壁厚分布的形状也基本相同,保压压力是影响制品收缩的关键因素,提高保压压力和注射温度可以降低制品的最终收缩,而模具温度对收缩的影响较小。

本研究参照上述文献,列出 4 个参数——模具温度、熔体温度、注射速度、保压压力/注塑压力(以下简称保压压力注塑压力比),分析此 4 种参数对于注塑残余应力的影响,并通过对比残余应力大小以及分布情况,得出较优化的工艺参数。

1 注塑残余应力的产生

注塑成形产生的残余应力主要分为 2 种:流动残余应力和热残余应力。

在注塑过程中,塑料熔体在模腔中做非等温流动形成的剪切应力和法向应力,由于冷却过程中温度的迅速下降而不能完全松弛,当温度降到玻璃化温度以下时,来不及松弛的应力就被“冻结”在固体中,这部分应力称为流动残余应力。

由于制品在快速冷却过程中内部温度分布不均匀,冷却层由模腔表面向内部逐渐推进,制品中各点在不同时间从较高温度降到玻璃化转变温度以下,所经历的收缩变形不一样从而产生应力,这部分应力称为热应力。制品在模腔内以及脱模之后热应力发生部分松弛,未松弛的热应力称为热残余应力。

2 实验设计

以塑料产品——长尺为例,如图 1 所示,对薄壁长形塑料件的注塑工艺特性加以研究。



图 1 长尺

Fig. 1 Long ruler

Taguchi 参数设计主要包括两部分内容:首先是产

品实验设计,利用正交试验技术确定各因子取值水平与质量性能之间的数量关系;其次是对试验结果的优选分析,利用信噪比 S/N 衡量和确定各因子在不同水平情况下的产品质量水平,从而确定优选方案^[4-5]。

为了能得到最小残余应力值,将采用 A 型信噪比函数来计算信噪比,它主要用于质量性能目标值越小越好的情况,其信噪比的表达式为:

$$\frac{S}{N} = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i^2 \right)$$

该实验采用的材料是 PS,牌号为 HIPS 525,其性能参数如下:导热系数 $0.18 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$,比热容 $2\,100 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$,熔体密度 $0.927\,68 \text{ g}/\text{cm}^3$,最大切应力 0.24 MPa ,注射温度 $218 \text{ }^\circ\text{C}$,最大剪切速率 $4\,0000 \text{ s}^{-1}$,模具温度 $35 \text{ }^\circ\text{C}$,注塑机吨位 $1\,200 \text{ kN}$ 。

通过 UG 建立长尺模型并转化为 STL 文件导入 Moldflow。在分析中,采用表面网格对模型进行划分,有限元分析模型数据:面单元数为 $10\,314$,节点数为 $5\,317$,匹配率为 89.0% ,当网格匹配率达到 85% 以上时可得到比较可靠准确的分析结果,其长尺分析模型如图 2 所示,长尺模型壁厚为 $1.6 \sim 3 \text{ mm}$ 。

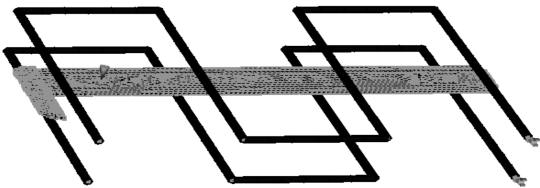


图 2 长尺分析模型

Fig. 2 FEA model of the long ruler

按照 Taguchi 方法,试验按照 $L9$ 正交试验矩阵设计,相应的试验水平和因素见表 1。

表 1 实验设计

Table 1 Experiment design

水平	模具	熔体	注射	保压压力
	温度(A)	温度(B)	速率(C)	注塑压力
	$/^\circ\text{C}$	$/^\circ\text{C}$	$/(\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	比(D)/%
1	25	198	40	70
2	35	218	60	80
3	45	238	80	90

3 实验结果及分析

经过 Moldflow 软件对以上工艺参数进行分析,将其工艺参数分类填入表 2 中,表 2 给出了不同工艺组合和水平的试验结果及信噪比计算结果。试验是对塑件 3030 单元和 1156 单元表面残余应力值进行数据采集的。

3.1 3030 单元试验结果

3030 单元位置见图 3,实验结果如表 2 所示。

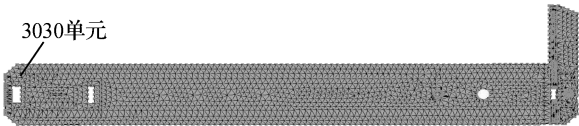


图 3 3030 单元位置
Fig. 3 Location of 3030 element

表 2 3030 单元实验表和实验结果

Table 2 Experiment table and result of 3030 element						
实验号	A	B	C	D	3030 单元残余	信噪比(S/N)
					应力值 σ /MPa	/dB
1	25	198	40	70	20.234	-26.12
2	25	218	60	80	15.094	-23.58
3	25	238	80	90	12.283	-21.79
4	35	198	60	90	13.669	-22.71
5	35	218	80	70	17.070	-24.64
6	35	238	40	80	15.273	-23.68
7	45	198	80	80	15.616	-23.87
8	45	218	40	90	15.404	-23.75
9	45	238	60	70	16.583	-24.39

不同工艺参数对 3030 单元残余应力的影响见图 4,图 4 可以直观地反映出:在 A_2 、 B_3 、 C_3 、 D_3 情

况下的信噪比最大,数据最为优化,此时的模具温度为 35 ℃,熔体温度为 238 ℃,注射速率为 80 cm³/s,保压压力注塑压力比为 90%。对比表 2,在 9 组实验中没有对应组合。

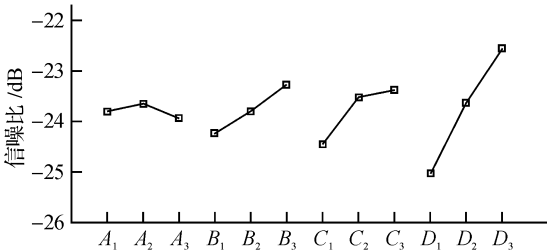


图 4 不同工艺参数对 3030 单元残余应力的影响
Fig. 4 Effect of different injection parameters on residual stress of 3030 element

再对 $A_2B_3C_3D_3$ 组合进行分析,得出了在 3030 点的残余应力值为 12.282 MPa,比表 2 中各组合的残余应力结果都要小,结果符合预期。这也印证了 $A_2B_3C_3D_3$ 组合对于 3030 单元残余应力大小的最优组合。

进一步对表 2 中残余应力结果信噪比进行方差分析,可以得出各因素对残余应力影响程度,其结果见表 3。

表 3 3030 单元残余应力影响分析

因素	因素平均			离差平方和	均方	影响因素/%
	水平 1	水平 2	水平 3			
A	-23.83	-23.67	-24.20	0.054 5	0.027 3	1.40
B	-24.23	-23.99	-23.29	0.477 1	0.238 6	12.23
C	-24.52	-23.59	-23.41	0.692 9	0.346 5	17.77
D	-25.05	-23.71	-22.75	3.899 5	1.949 8	68.60

由表 3 可以看出,对于 3030 单元残余应力大小影响最小的是模具温度,影响最大的是保压压力注塑压力比,其次为注射速率、熔体温度。

3.2 1156 单元试验结果

1156 单元位置见图 5,实验结果如表 4 所示。

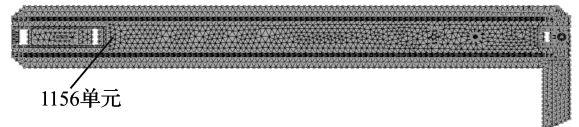


图 5 1156 单元位置
Fig. 5 Location of 1156 element

不同工艺参数对 1156 单元残余应力的影响见图 6,图 6 可以直观地反映出:在 A_1 、 B_3 、 C_3 、 D_3 情况下的信噪比最大,数据最为优化,此时的模具温度

表 4 1156 单元实验表和实验结果
Table 4 Experiment table and result of 1156 element

实验号	A	B	C	D	1156 单元残余	信噪比(S/N)
					应力值 σ /MPa	/dB
1	25	198	40	70	17.418	-24.82
2	25	218	60	80	15.462	-23.79
3	25	238	80	90	11.480	-21.20
4	35	198	60	90	15.292	-23.69
5	35	218	80	70	16.172	-24.18
6	35	238	40	80	14.439	-23.19
7	45	198	80	80	16.246	-24.21
8	45	218	40	90	14.460	-23.20
9	45	238	60	70	15.727	-23.93

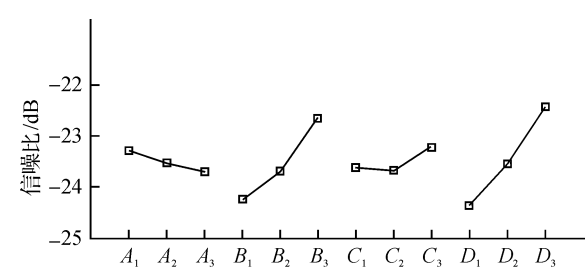


图6 不同工艺参数对1156单元残余应力的影响

Fig. 6 Effect of different injection parameters on residual stress of 1156 element

表5 1156单元残余应力影响分析

Table 5 Effect on residual stress of 1156 element

因素	因素平均			离差平方和	均方	影响因素/%
	水平 1	水平 2	水平 3			
A	-23.27	-23.67	-23.78	0.144 1	0.072 1	5.13
B	-24.24	-23.72	-22.77	1.111 3	0.555 7	39.53
C	-23.74	-23.80	-23.19	0.226 1	0.113 1	8.04
D	-24.31	-23.73	-22.70	1.329 8	0.664 9	47.30

4 结 语

通过对长尺2个不同位置单元进行分析,并对比实验数据进行综合后得出,模具温度对本研究对象的残余应力大小影响程度最小,而保压压力注塑压力比影响程度最大,其次为熔体温度和注射速率。在2个单元上分别得出了最优化组合,分别为A₂B₃C₃D₃和A₁B₃C₃D₃,只有在模具温度上有差别,这也同时验证上述结论的正确性,模具温度对于残余应力大小影响程度相对其他因素较小。在实际生产中上述结论为注射成形工艺参数优化提供了一定依据,可以节省部分时间和成本。

为25℃,熔体温度为238℃,注射速率为80 cm³/s,保压压力注塑压力比为90%。对比表4,在9组实验中有对应组合为3号实验,其残余应力值也是在9组实验中最小的。所以对于1156单元A₁B₃C₃D₃组合为最优化组合。

进一步对表4中残余应力结果信噪比进行方差分析,可以得出各因素对残余应力的影响程度,其结果见表5。可以看出,对于1156单元残余应力的大小影响最小的也是模具温度,影响最大的是保压压力注塑压力比和熔体温度,其次为注射速率。

参考文献:

[1] YAO D G, KIM B. Increasing flow length in thin wall injection molding using a rapidlyheated mold [J]. Polymer-Plastics Technology and Engineering, 2002, 41 (5):819-832.

[2] 韩健,李刚,陈静波,等. 注塑件残余应力影响因素的模拟实验研究[J]. 塑料工业,2007,35(2):23-28.

[3] 奚国栋,周华民,李德群. 注塑工艺参数对制品残余应力和收缩的影响[J]. 化工学报,2007,58(1):248-254.

[4] 骆志高,王海涵. 注射工艺参数对薄壳塑件翘曲变形的影响[J]. 模具工业,2006,32(9):53-56.

[5] 谢鹏程,多田和美,杨卫民. 高分子材料注射成型 CAE 理论及应用[M]. 北京:化学工业出版社,2008.