

汽车塑料件翘曲变形 CAE 模拟分析

胡志展 孙锡红

(上海理工大学,上海 200093)

摘要 以汽车塑料件为例,研究其注射成型翘曲的部位及成因。基于数理统计理论,结合正交实验设计方法,采用 CAE 软件对塑料件进行翘曲和体积收缩率的分析,得出各个因素水平的最佳组合,以使塑料件翘曲变形达到最小,从而提高塑料件质量。

关键词 汽车塑料件 翘曲变形 参数优化 CAE 模拟

随着汽车工业的飞速发展,汽车材料逐步向轻量化、节能减耗、高性能和高功能方向发展,以塑代钢是汽车轻量化的有效途径,高比强度、高模量材料越来越受到人们的青睐。美国 1980 年汽车的平均质量为 1 500 kg,1990 年则为 1 020 kg,每台汽车的铸铁用量由 225 kg 降至 112 kg,比例由 15% 减至 11%;铝合金由 4% 增至 9%,高分子材料由 6% 增至 9%。图 1 所示为福特公司新型汽车中使用的主要材料^[1]。由图 1 可知,铁金属材料的用量大幅减少,铝合金材料的用量大幅增加,同时高分子材料所占比例也明显增加。

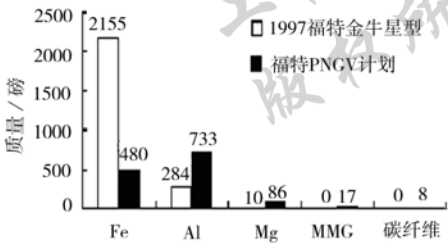


图 1 福特公司汽车使用的主要材料

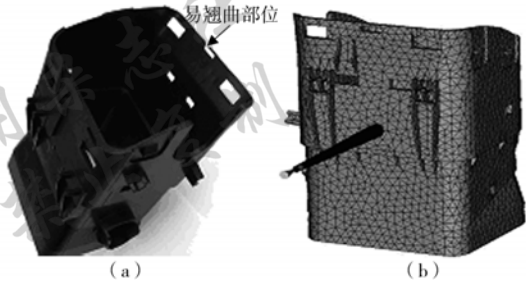
笔者以(丙烯腈/丁二烯/苯乙烯)共聚物(ABS)/聚碳酸酯(PC)合金的以塑代钢汽车塑料件为例,针对翘曲变形问题,采用正交试验方法,利用 Moldflow 软件对塑料件的成型过程进行模拟分析,旨在运用注射成型工艺参数混合优化组合方法,以减小塑料件翘曲为质量目标,获得注塑过程主要工艺参数的最优组合。

1 汽车塑料件的 3D 模型与材料特性

汽车塑料件产品图及有限元模型如图 2 所示。塑料件的外围大体尺寸为 72 mm × 90 mm × 130 mm,平均壁厚 2 mm,采用 Fusion 对汽车塑料件模型进行划分:三角形单元数为 10 836,节点数为 5 392,匹配率为 90.2%(大于 85%)。

由于塑料件属于中等尺寸,外部有局部加强筋,二面需要侧向抽芯,选用一模一件。采用直接浇口,

由主流道直接进料,熔体的压力损失小,成型容易,浇口位置根据 MPI 最优浇口分析设置如图 2b 所示。主流道设计成圆锥形,上端直径为 3 mm,下端直径为 7 mm,主流道长度取 70 mm。



a—产品图; b—3D 网格图

图 2 汽车塑料件产品图及 3D 网格模型

根据实际生产经验,该汽车塑料件采用 ABS/聚甲醛(POM)或 ABS/PC 合金作为以塑代钢的材料。笔者选用材料为 ABS/PC,是由美国 GE Plastics 开发生产的一种高分子塑料合金,其性能参数如表 1 所示。

表 1 模型材料性能参数

项 目	ABS/PC
牌 号	Cycoloy C2950HF
结 构	无定形
熔体密度 / $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	0.9813
固体密度 / $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	1.1161
拉伸弹性模量 / MPa	2780
泊松比	0.41
剪切弹性模量 / MPa	985.81

2 塑料件的结构特性及变形机理

2.1 塑料件的结构特性分析

该塑料件为连接件,以前常用铝合金材料制备,铝合金件的质量约为 0.182 kg,采用钢材时的质量约为 0.525 kg,而该塑料件的质量约为 0.075 kg,比铝合金件的质量减少 58.9%,比钢件的质量减少

85.7%。因此高分子材料在轻量、节能方面具有独特的优势。

塑料件上端开口大,下端较小。下端壁厚均匀,形状规则,不易发生翘曲变形。上端壁厚极不均匀,两侧设有凹台、豁口。背面上部有一定的斜度,加强筋多。这种壁厚分布不均匀极易造成塑料件的收缩不均匀,从而导致翘曲变形过大,成型后装配时,很难达到预期的使用要求。因此,有必要对其翘曲变形进行分析及控制。

2.2 塑料件的变形机理

塑料件的翘曲变形受力分析,可以根据初应力、初应变、边界条件、工作载荷等求解静态平衡方程,得到位移的结构分析过程。在注射成型过程中产生的应变可完整地表示为:

$$\varepsilon_i = \varepsilon_i^P + \varepsilon_i^T + \varepsilon_i^C + \varepsilon_i^R + \cdots \cdots \quad (1)$$

式中: ε_i ——与应力相对应的真实的应变分量;

ε_i^P ——静水压力产生的应变;

ε_i^T ——因温度不均匀产生的应变;

ε_i^C ——结晶收缩产生的应变;

ε_i^R ——化学反应产生的应变。

为了便于研究,所考虑的各种应变常被看成是压力或时间的函数,即

$$\varepsilon_i^j = f(P) \text{ 或 } \varepsilon_i^j = f(T) \quad (2)$$

式中: j ——式(1)中所述的各种应变。

在各向同性的条件下,各种应变的表达式为:

$$\varepsilon_i^P = - \int_0^P \beta dP \quad (3)$$

$$\varepsilon_i^T = \int_{T_0}^T \alpha dT \quad (4)$$

$$\varepsilon_i^C = \int_0^\lambda C_c dC \quad (5)$$

$$\varepsilon_i^R = \int_0^\zeta C_R dP \quad (6)$$

式中: P ——压力;

T ——温度;

λ ——结晶度;

ζ ——转换系数;

β ——可压缩性;

α ——热膨胀系数;

C_c ——与材料结晶相关的系数;

C_R ——与化学反应相关的系数;

s ——固化时间。

由于式(3)~式(6)中的 ε_i^P 、 ε_i^T 、 ε_i^C 、 ε_i^R 与注射成型中的主要工艺参数熔体温度、冷却速度、注塑

压力等密切相关,故采用 CAE 模拟方式进一步研究。

3 塑料件注射成型 CAE 实验因素分析

应用 Moldflow MPI 软件模拟汽车塑料件的注射成型过程,对模拟实验的数据结果进行分析。由于翘曲变形是影响塑料件质量的主要因素,故本次实验以翘曲为优化目标,以成型工艺参数为影响因子,进行优化组合。产生翘曲变形的原因有冷却不均匀、收缩不均匀和分子取向不一致等,其直接原因在于塑料件的不均匀收缩。

与塑料件翘曲变形有关的工艺参数主要有模具温度、熔体温度、注射时间、保压压力、保压时间、冷却时间。其中模具温度、熔体温度、保压压力、注射时间对塑料件的翘曲变形和收缩变形有较大的影响^[2-3],笔者选取以上4个参数及成型周期时间(注射时间+保压时间+冷却时间)作为实验因素。各因素水平见表2。

表2 因素水平表

实验因素	实验水平			
	1	2	3	4
A/℃	61	68	75	82
B/℃	255	265	275	285
C/MPa	60	70	80	90
D/s	1.0	1.5	2.0	2.5
E/s	30	35	40	45

注:A、B、C、D、E 分别表示模具温度、熔体温度、保压压力、注射时间、成型周期时间。

正交试验是一种能够较全面反映实验效果的实验方法,既可对实验进行合理的安排,挑选少数具有代表性的组合进行试验,又可对实施的少数几个组合结果进行科学的分析,做出正确的结论^[4]。根据表2中的数据,笔者选用 $L_{16}(4^5)$ 正交表在计算机上进行了16次模拟,其它工艺参数采用 Moldflow 的默认设置,利用数理统计理论对每次模拟的翘曲结果进行整理,正交试验结果见表3。

4 基于 CAE 技术的工艺参数优化

利用正交试验设计得到的模具温度、熔体温度、保压压力、注射时间及成型周期时间的值,应用 CAE 方法进一步优化工艺参数。

4.1 影响因素的显著性与最佳工艺参数确定

实验考察的指标是汽车塑料件翘曲变形越小越好,由表3可知,9号实验组合 A3B1C3D4E2 的塑料件翘曲量最小,为0.2484 mm,是16种实验中效果最好的,但不一定是 A、B、C、D、E 各因素水平的最佳搭配。

表 3 实验方案与结果

实验方案						实验结果		工艺参数对塑料件翘曲、体积收缩率的影响
实验号	A	B	C	D	E	翘曲量/mm	体积收缩率/%	
1	1	1	1	1	1	0.5706	6.860	工艺参数对塑料件翘曲的影响 k_1 0.4632 0.4365 0.4556 0.5494 0.4581 k_2 0.4344 0.4427 0.4536 0.5050 0.4495 k_3 0.4393 0.4571 0.4416 0.4590 0.4410 k_4 0.4576 0.4559 0.4437 0.2812 0.4543 R 0.0288 0.0206 0.0140 0.2682 0.0171
2	1	2	2	2	2	0.5120	7.593	
3	1	3	3	3	3	0.4665	9.288	
4	1	4	4	4	4	0.3038	7.381	
5	2	1	2	3	4	0.4456	8.172	
6	2	2	1	4	3	0.2594	6.155	
7	2	3	4	1	2	0.5320	7.657	
8	2	4	3	2	1	0.5004	11.750	
9	3	1	3	4	2	0.2484	5.855	
10	3	2	4	3	1	0.4482	8.783	
11	3	3	1	2	4	0.5167	7.625	工艺参数对塑料件体积收缩率的影响 k_1 7.781 6.825 7.565 7.449 8.611 k_2 8.434 7.391 7.766 8.435 7.681 k_3 7.628 7.905 8.481 8.461 7.526 k_4 7.528 9.250 7.558 6.610 7.552 R 0.906 2.425 0.923 1.851 1.085
12	3	4	2	1	3	0.5438	8.248	
13	4	1	4	2	3	0.4907	6.411	
14	4	2	3	1	4	0.5511	7.031	
15	4	3	2	4	1	0.3130	7.049	
16	4	4	1	3	2	0.4756	9.619	

注: 1) k_1 、 k_2 、 k_3 、 k_4 分别表示因素在 4 个水平下模拟结果的平均值; 2) R 表示各因素的极差。

在正交试验中, 极差 R 的大小反映了实验中各因素作用的大小, 极差大表明该因素对指标的影响大, 通常为主要因素; 极差小表明该因素对指标的影响小, 通常为次要因素。由表 3 可知, 根据极差 R 的大小排序, 本实验中对塑料件翘曲变形的影响因素从主到次为: $DABEC$, 其中注射时间的极差远大于其它因素的极差, 这说明注射时间在翘曲变形中起着很重要的作用; 对塑料件体积收缩率的影响因素从主到次为: $BDECA$, 熔体温度对体积收缩率的影响最大, 其次是注射时间和周期时间, 模具温度的影响最小。

根据 CAE 软件分析, 各工艺参数对塑料件翘曲变形、体积收缩率的影响如图 3、图 4 所示。

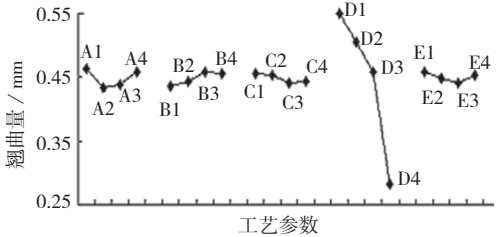


图 3 各工艺参数对翘曲变形的影响

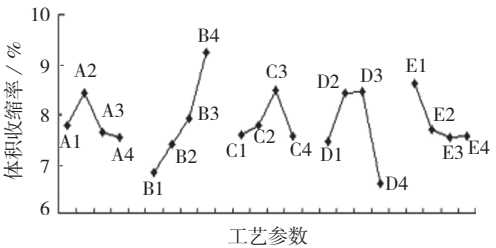
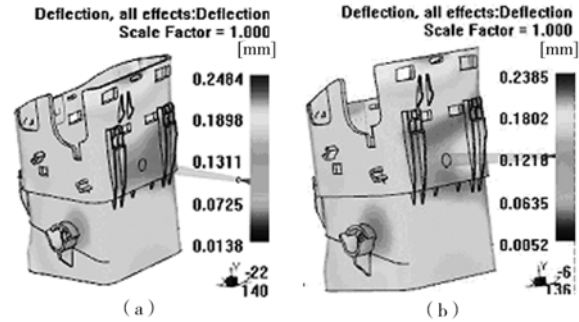


图 4 各工艺参数对体积收缩率的影响

由图 3 可知, 达到最小翘曲变形的工艺参数优化组合为 $A2B1C3D4E3$ 。由图 4 可知, 达到最小体积收缩率的工艺参数优化组合为 $A4B1C4D4E3$ 。

4.2 用优化参数组合进行 CAE 模拟

根据翘曲变形的工艺参数优化组合 $A2B1C3D4E3$ 和体积收缩率的工艺参数优化组合 $A4B1C4D4E3$ 进行 CAE 模拟。模拟结果显示, $A2B1C3D4E3$ 组合的翘曲量为 0.443 1 mm; $A4B1C4D4E3$ 组合的翘曲量为 0.238 5 mm。选取 $A4B1C4D4E3$ 为优化后的工艺参数组合, 模拟分析翘曲变形, 结果见图 5。由图 5b 可知, $A4B1C4D4E3$ 组合比表 3 中翘曲量最小的组合 $A3B1C3D4E2$ 略有减小, 确定其为最优方案; 最大翘曲量发生在塑料件的顶端部位。由此可知, 工艺参数的调整使得塑料件的翘曲变形问题得到改善, 提高了产品质量。



a—优化前翘曲变形; b—优化后翘曲变形

图 5 模拟分析翘曲变形对比

5 结论

(1) 该汽车塑料件比铝合金件的质量减少

58.9%,比钢件减少 85.7%,而汽车质量减轻 10%,可以节省能耗 7%,减少污染 10%^[1],符合汽车节能、减排的发展方向。

(2) 注射成型中各工艺条件对塑料件的翘曲影响不同。根据正交试验分析,注射时间、熔体温度对塑料件的翘曲变形和体积收缩率有较大的影响。

(3) CAE 模拟分析表明,该汽车塑料件注射成型的最佳工艺参数组合为 A4B1C4D4E3,即模具温度 82℃、熔体温度 255℃、保压压力 90 MPa、注射时间 2.5 s、成型周期时间 40 s,此时翘曲量最小。说明按注射成型工艺参数混合优化方法,能够得到工艺参数的优化组合。

(4) 利用正交试验设计可通过较少的试验次数

获得最大限度的信息,基于数理统计理论,借助于 CAE 技术可预测最终塑料件的最优性能指标,为分析塑料件翘曲问题提供一个简便的方法。

参考文献

[1] 鞠鲁粤.工程材料与成型技术基础[M].北京:高等教育出版社,2004.

[2] Kurtaran H, Ozeelik B, Erzurumlu T. Efficient warpage optimization of thin shell plastic parts using response surface methodology and genetic algorithm[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2006, 27(5): 468-472.

[3] 曾亚森,何和智.基于翘曲的注塑成型工艺参数优化组合[J].高分子材料科学与工程,2009,25(6): 163-166.

[4] 潘丽军,陈锦权.试验设计与数据处理[M].南京:东南大学出版社,2008.

CAE SIMULATION ANALYSIS ON WARPAGE OF AUTOMOTIVE PLASTIC PARTS

Hu Zhizhan, Sun Xihong

(University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

ABSTRACT Taking an automotive plastic part for example. Its every part and reason of warpage for injection molding were studied. Based on mathematical statistics theory, combined with orthogonal experiment designing method, analysed of plastic parts warpage and volumetric shrinkage by using CAE software, the optimized combination of every factor and level were obtained, for minimizing warpage of plastic components and upgrading the quality of plastics.

KEYWORDS automotive plastic parts, warpage, parameter optimum, CAE simulation



余姚市汇合塑化有限公司

www.hh53.com

余姚市汇合塑化有限公司创立于二〇〇五年,公司下辖两个生产基地,一个检测公司,是开发碳纤维复合材料等前瞻性产品的专业改性公司。公司二〇〇七年通过环评认证,通过ISO9001: 2000管理体系认证,是中国塑料加工工业协会改性委员会常务理事单位,是宁波地区唯一的科研实验开发生产基地,是中国工程塑料工业协会加工应用专业委员会委员单位。

产品简介

碳纤维复合材料系列

CFRPA6、CFRPA66、CFRPPC、CFRPP、CFRABS、CFRPPOM等

产品优点

密度小、高强度、高模量、耐腐蚀、耐高温、导电、耐磨、收缩率小、线膨胀系数低、耐磨性、尺寸稳定性好。

产品用途

可代替部分有色金属材料,广泛用于航空、航天、汽车、纺织、机械、电器、体育用品等行业。

无卤阻燃聚丙烯

注塑级、挤出级

产品优点

无卤阻燃,可达UL94V-0级,不粘膜、不析出,灼热丝温度可达960℃,热变形温度可达142℃。

产品用途

可完全代替阻燃ABS,部分代替增强ABS和PBT,可制作小家电外壳,电视机后盖,电容器外壳,插座、空调、冰箱等配件。

工厂电话: 0574-62501577

传真: 0574-62532511

联系人: 李志刚 18958321380

地址: 浙江余姚中国塑料城A1-63号 邮编: 315400

销售部电话: 0574-62530511

传真: 0574-62530511

联系人: 赵明 13857497450