

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2016.07.014

车用 CD 托架 CAE 注塑工艺参数优化分析^{*}

张建卿

(怀化职业技术学院,湖南怀化 418000)

摘要:以汽车 CD 托架注塑成型为例,结合生产实际问题,构建了产品 CAE 分析模型,运用 Moldflow2015 软件对产品材料推荐的注塑成型工艺参数进行了初步仿真,对注塑过程中的翘曲、熔接痕、气穴等缺陷成因进行了分析,并给出了质量改善优化目标,提出了一种结合 Taguchi 试验法、BP 神经网络预测的注塑成型工艺寻优方法,并对寻优结果进行了 CAE 模流分析验证。结果表明,神经网络预测结果与 CAE 模流分析结果相近,产品翘曲量降低至 1.192 mm,产品较佳的注塑成型工艺参数为:料温为 225℃,模温为 60℃,注塑压力为 70 MPa,注塑时间为 1.3 s,第一保压压力为 80 MPa,第一保压时间为 12 s,第二保压压力为 30 MPa,第二保压时间为 3 s,冷却时间为 15 s,型腔随形水路 C₁, C₂ 冷却水的温度均为 30℃。提出的优化设计方法能有效降低模具试模成本,缩短模具生产周期。

关键词:CD 托架; CAE 分析; BP 神经网络; 正交试验; 注塑成型

中图分类号: TQ320.66+2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2016)07-0073-06

CAE Optimization Analysis of Injection Process Parameters for Automobile CD Bracket

Zhang Jianqing

(Huaihua Vocational and Technical College, Huaihua 418000, China)

Abstract : Taked the CD bracket of automobile as an example, the product CAE analysis model was built with the practical problems in production, and the Moldflow 2015 software was used to recommend the product. Plastic molding process parameters had carried on the preliminary simulation, injection molding warpage, weld marks, cavitation and other causes of defects were analyzed, and the quality improvement and optimization of the target were given, an injection molding process optimization method based on Taguchi test method and BP neural network is proposed, and the optimization results were verified by CAE mode flow analysis. The results show that neural network prediction results is similar to that of CAE mode flow analysis, the warpage amount is reduced to 1.192 mm, the injection molding process parameters with better products are as follows : raw material temperature is 225℃, mold temperature is 60℃, injection pressure is 70 MPa, injection time is 1.3 s, first holding pressure is 80 MPa, first pressure holding time is 12 s, second holding pressure is 30 MPa, second pressure holding time is 3 s, cooling time is 15 s, the water temperature of C₁, C₂ waterways for cooling cavity is 30℃. The proposed optimization design method can effectively reduce the molding test cost, short the mold production cycle.

Keywords : CD bracket ; CAE analysis ; BP neural network ; orthogonal test ; injection molding

汽车内饰件注塑生产中,随着塑料件产品的结构变得越来越复杂,相应产品的注塑成型工艺及模具结构设计的难度都在不断地提高,面临更多新的挑战,需要模具设计与生产者在 CAE 分析^[1-6]、模具结构^[7-10]、工艺优化^[11-13]等方面不断进行技术创新。田中试验法、基于 Matlab 的 BP 神经网络优化技术、UG/CAD 设计技术与模流 CAE 分析相结合的模具制造技术在生产实践中在提高成型质量、节约生产成本和提升生产效率等方面已凸显成效^[14-16],是应对产品创新结构注塑成型的非常重要的方法。某汽车 CD 机支架产品由于其产品结构复杂特征多,产品成型后在品质方面出现诸如易开裂、变

形大、良品率低、装配卡滞等问题,特别是注塑后的多因素影响变形,单纯依靠传统模具结构经验及反复试模方法难以保证产品符合规定的技术要求,因而,须结合 CAD/CAE 技术及工艺优化方法找出注塑缺陷问题原因,并寻优其最佳工艺路径。笔者拟以该 CD 托架为研究对象,构建基于 CAE 模流分析技术的正交优化方法与 BP 神经网络相结合的工艺参数路径寻优方法,以解决该产品实际注塑生产中出现的上述品质问题。

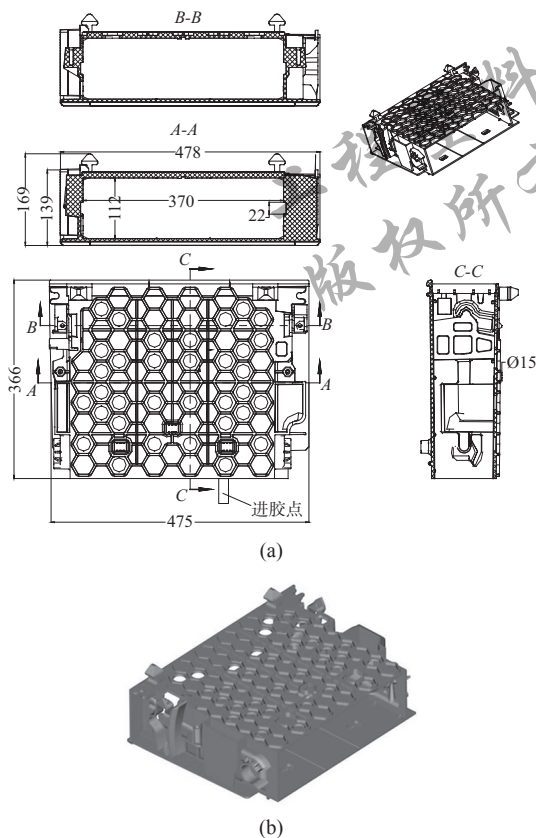
^{*} 湖南省教育厅资助项目 (13C1170)

联系人: 张建卿, 硕士, 副教授, 研究方向为材料成型与控制

收稿日期: 2016-04-13

1 模型

CD托架产品CAD软件UG模型如图1a所示。该产品模具结构设计面临的主要问题是产品的脱模问题,主要体现为中央空心部位、四个侧面及型腔面一侧圆头卡勾位等复杂结构特征位的脱模;注塑后的产品重点品质问题是图1a中央尺寸 $112\text{ mm}\times 370\text{ mm}$ 变形大,与之配套安装的CD机钣金外壳配合率不高。塑料件CAE软件分析Moldflow基本模型如图1b所示,产品进浇位置选择在图中偏心位置,有限元模型基本数据为:采用fusion双层网格,三角形最大纵横比为9.96,平均1.89,最小1.16,节点数50811,单元数量101850,网格匹配百分比92.14%,塑料件体积 298 cm^3 ,开模方向上的投影面积为 796.3 cm^2 。材料为20%玻纤改性PP(Kingfa, API-CG218),推荐模温 $30\sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$,料温 $220\sim 245\text{ }^{\circ}\text{C}$,顶出温度 $90\text{ }^{\circ}\text{C}$,剪切速率 24000 s^{-1} ,剪切力 0.26 MPa 。



a—CAD模型; b—CAE模型

图1 产品的CAD/CAE模型

2 CAE基本工艺参数仿真分析

2.1 浇注系统设计

浇注系统采用热流井与冷流道侧浇口相结合的方式,热流道下方接入入口直径为 8 mm 的主浇道,

侧浇口采用搭边式 $27\text{ mm}\times 2\text{ mm}$ 深侧浇口,如图2所示。

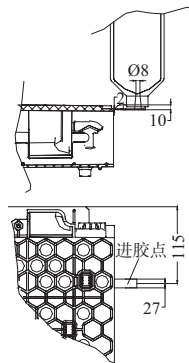


图2 浇注系统设计

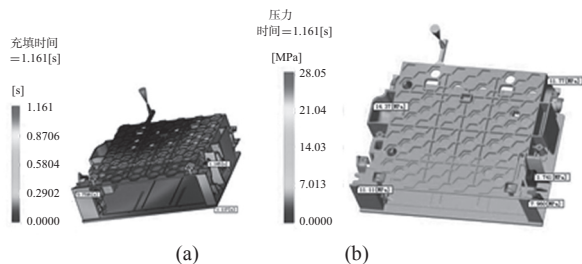
2.2 成型预分析

(1) 成型窗口预优化。

结合材料特性及产品结构特性,在推荐工艺参数域内寻找最佳成型质量百分数,优化分析所设定的浇注系统,在该浇注模式下运行【成型窗口】,分析发现,成型质量百分数最高可达到93%,对应的推荐工艺参数为:模具温度 $43.3\text{ }^{\circ}\text{C}$,熔体温度 $235.9\text{ }^{\circ}\text{C}$,注塑时间 1.06 s ,所需压力降为 22.65 MPa 。

(2) 充填分析。

依据【成型窗口】分析所得工艺参数数据输入【充填】中,对应的工艺参数控制设置为:模具温度 $43.3\text{ }^{\circ}\text{C}$,料温 $235.9\text{ }^{\circ}\text{C}$;填充控制参数:注塑时间 1.06 s ,速度/压力切换方式为自动,保压控制方式为充填压力与时间,分析结果如图3所示。分析结果为:充填时间 1.161 s ,充填压力 28.05 MPa ; V/P 切换时的体积充填量为98.85%;前沿温差小于 $14\text{ }^{\circ}\text{C}$,注塑终了时浇口压力 22.24 MPa ;最大剪切应力 0.203 MPa ;侧浇口冻结时间 12.24 s ,浇口位置以下产品的其它部位到达顶出时间 33.9 s ;熔合纹角度基本上小于 75° 的有32条,为不可见熔接线, $75^{\circ}\sim 135^{\circ}$ 的有12条,大于 135° 的有27条;气穴较多,气穴集中出现在特征孔周边,分布在产品表面六边孔周边,共47处。



a—充填时间; b—充填压力

图3 充填结果

充填结果表明,产品的注塑对注塑机要求不高,所需压力较低,熔体前沿温度差小于 20°C ,有利于后续保压;剪切速率在材料许可范围内,注塑时熔体不会发生降解,黑点、白斑等缺陷产生几率低;熔接线数量较多,熔合纹角度为 $75^{\circ}\sim 135^{\circ}$ 时可能会留下比较明显的痕迹,大于 135° 时则可能引起开裂;气穴数量多,可能出现局部小裂纹和掉渣,外观坑凹较多。结合图 3 整体来看,浇注系统的开设有利于产品的注塑,虽有熔接线、气穴等较多的缺陷,但可以通过提高料温的办法来处理。综上所述,选用的浇注系统方案可行。

(3) 冷却分析。

冷却共采用 $C_1\sim C_7$ 共 7 条随型水路,其中 C_1 , C_2 为型腔冷却水路, C_3 , C_4 为中央侧抽芯滑块头冷却水路, C_5 , C_6 , C_7 为型芯冷却水路。初始水温为常温 25°C ,运行冷却分析后结果为:7 条水路的进出口温差在 2°C 内,冷却水路冷却效果好;在冷却水路的有效冷却下,产品的顶出时间可控制在 65 s 内,经计算,冷却管道设计能满足本产品的冷却及生产量纲要求。

(4) 流动保压分析。

为了解注塑后塑料件的尺寸变化具体情况,须对产品做进一步的翘曲变形分析,分析方式采用<冷却+填充+保压+翘曲>分析方式,基本注塑工艺参数设置继承【充填】分析、【冷却分析】分析结果,料温提高 10°C ,模温提高 5°C ,保压控制(保压压力与时间)的初始参数设置分别为 80 MPa 和 10 s, 50 MPa 和 5 s,保压时间 15 s 大于浇口冻结时间 12.24 s;冷却分析方式为自动;并对翘曲因素进行分离;翘曲变形分析结果如图 4 所示。

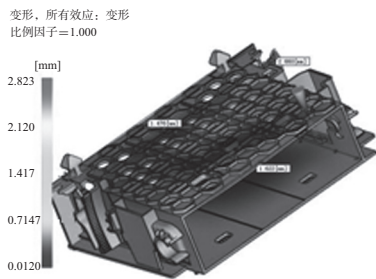


图 4 翘曲变形分析结果

从翘曲变形分析结果可知,整体变形最大为 2.832 mm,没有出现在中央方孔尺寸 $112\text{ mm}\times 370\text{ mm}$ 位置,中央方孔处的变形最大为 2.12 mm,而依据 CD 盒钣金件公差要求, $112\text{ mm}\times 370\text{ mm}$ 尺寸公差控制要求精度等级为

m 级时,其对应公差分别为 $\pm 0.3\text{ mm}$ (112 mm), $\pm 0.5\text{ mm}$ (370 mm),相对而言,产品在 112 mm 方向上变形相对较大;从影响翘曲的分离因素看,冷却不均产生变形最大为 0.19 mm,收缩不均产生变形最大为 1.211 mm,取向不均产生变形最大为 0.662 mm,可以推知,收缩不均为主要影响因素。进一步查询标准 GB/T 14486-2008,本产品对应的无机填料填充聚丙烯 (PP) 的一般精度等级为 MT3,翘曲变形质量控制范围为 1.01 ~ 1.14 mm,翘曲变形有待进一步改善。

流动分析其余分析结果如下:(1)料温提升 10°C 后,孔周边空穴减少,熔接线变少变短,外观得到改善;(2)缩痕指数为 5.25%,超差 0.25%。

3 基于田中试验法的注塑工艺参数优化

3.1 翘曲原因及对策分析

为降低模具制造流程成本,应优先考虑利用 CAE 技术,从注塑工艺优化方面着手解决本产品的翘曲变形过大问题,而后再依次按照其它影响因素调整难度来依次改善翘曲变形。结合前述翘曲变形引起的原因,采取的分类措施如下:(1)针对冷却不均,调整上下模水路进水温度,使上模水路比下模水路高,主要调节水路为型腔水路 C_1 , C_2 ,对滑块头水路 C_3 , C_4 及型芯水路 C_5 , C_6 , C_7 略做调整, C_3 , C_4 水路由 25°C 提高到 27°C , C_5 , C_6 , C_7 水路的温度则保持为 25°C ,主要调节壁厚不均、冷却不均差异,壁厚的地方得到有效冷却。(2)针对收缩不均,从料温、模温、注塑压力、注射时间、保压及保压时间、冷却时间来考虑,具体因素为:①料温 (T_0);②模温 (T_s);③注塑压力 (P_i);④注塑时间 (t_i);⑤保压压力 (P_h);⑥保压时间 (t_h);⑦冷却时间 (t_c)。 (3)对于取向不均,为了减少流动取向和缓和取向应力,其中最为有效的方法是降低熔料温度和模具温度,这本身已经包含在收缩不均措施中。

基于上述分析,拟采用正交试验找出改善翘曲变形的主要调整参数,而后运用 BP 神经网络寻找其最佳工艺参数路径。

3.2 正交试验

(1)对于本产品注塑工艺问题而言,最优参数组合并非唯一数值,而是一个变化区段,比较符合问题实际情况。为降低本产品的翘曲及其它品质缺陷,须寻优找到最佳注塑成型工艺参数。因而,可以在正交试验优化选用水平参数的基础上,结合 BP 神经网络优选最佳工艺路线。针对产品翘曲及熔接线、

气穴改善的注塑工艺参数的正交试验为选用 3 水平 10 因素,田中试验方案设计参数及参数水平如表 1 所示。

表 1 工艺优化参数水平表

水平	$T_0 / ^\circ\text{C}$	$T_s / ^\circ\text{C}$	P_1 / MPa	t_1 / s	P_{h1} / MPa	t_{h1} / s	P_{h2} / MPa	t_{h2} / s	t_c / s	$\alpha / ^\circ\text{C}$
1	225	30	25	0.9	60	8	30	3	15	27.5
2	235	45	45	1.2	80	10	40	5	40	30
3	245	60	65	1.5	100	12	50	7	65	32.5

注: P_{h1} , t_{h1} 分别代表第一段保压压力和时间, P_{h2} , t_{h2} 分别代表第二段保压压力和时间, α 代表 C_1 , C_2 的入水温度。

(2) 正交试验结果。

采用 Minitab 设计正交试验方案,以改善翘曲变形作为首要目标,其次兼顾熔接线、气穴数量。因素中, C_1 , C_2 的入水温度作为变量影响因素, $C_3 \sim C_7$ 则为固定常数参数 (C_3 , C_4 为 27°C , C_5 , C_6 , C_7 为 25°C), 试验方案运用 Minitab 软件选用 $L_{27}(3^{10})$, 因素 10 个,结果因素输出为 6 个,分别为: 整体翘曲变形量 (Z_a)、冷却不均变形量 (Z_b)、收缩不均变形量 (Z_c)、取向不均变形量 (Z_d)、溶解痕数量 (L_R)、气穴数量 (Q_A)。Moldflow 2015 分析方案为 <冷却+填充+保压+翘曲>,正交试验结果如表 2 所示。

表 2 CAE 分析试验结果

序号	Z_a / mm	Z_b / mm	Z_c / mm	Z_d / mm	$L_R / \text{条}$	$Q_A / \text{个}$
1	2.934	0.186	2.498	0.457	45	34
2	3.098	0.124	2.286	0.654	43	37
3	3.112	0.223	2.543	0.321	32	43
4	3.221	0.346	2.554	0.332	12	35
5	2.445	0.453	2.334	0.552	16	46
6	1.334	0.321	1.287	0.665	18	22
7	2.654	0.678	1.913	0.881	22	32
8	2.876	0.532	2.554	0.662	25	31
9	1.665	0.432	1.463	0.987	27	29
10	2.113	672	1.943	0.663	43	43
11	2.445	0.431	1.867	0.765	18	42
12	2.114	0.221	2.115	0.668	38	51
13	2.837	0.193	1.833	0.624	70	46
14	1.321	0.324	1.153	0.887	56	44
15	1.334	0.265	1.243	0.684	43	57
16	1.234	0.342	1.221	0.235	67	54
17	1.023	0.112	0.987	0.664	36	65
18	1.223	0.087	1.187	0.576	62	73
19	1.115	0.253	1.065	0.564	58	56
20	2.657	0.114	1.737	0.664	30	44
21	2.342	0.336	2.043	0.347	36	66
22	2.223	0.557	2.121	0.554	48	43
23	1.832	0.663	1.664	0.337	25	51
24	1.335	0.543	1.243	0.886	17	36
25	1.376	0.228	1.038	0.932	8	26
26	1.982	0.196	1.886	0.768	12	28
27	2.003	0.554	1.167	0.664	9	27

(3) 试验结果分析。

试验的目标是追寻最小翘曲变形,影响翘曲最

终结果的分析如表 3 所示。从影响占比看,影响本产品注塑时翘曲变形的的主要因素是料温 T_0 ,其次是注塑压力 P_1 ;均值直观分析较优的水平组合方案为: $T_0(1)T_s(3)P_1(2)t_1(3)P_{h1}(2)t_{h1}(3)P_{h2}(1)t_{h2}(1)t_c(1)\alpha(2)$, 即: T_0 为 225°C , T_s 为 60°C , P_1 为 45 MPa , t_1 为 1.5 s , P_{h1} 为 80 MPa , t_{h1} 为 12 s , P_{h2} 为 30 MPa , t_{h2} 为 3 s , t_c 为 15 s , α 为 30°C 。

表 3 影响因素权重分析

水平	$T_0 / ^\circ\text{C}$	$T_s / ^\circ\text{C}$	P_1 / MPa	t_1 / s	P_{h1} / MPa	t_{h1} / s	P_{h2} / MPa	t_{h2} / s	t_c / s
1	15.72	21.68	23.33	19.10	21.32	20.09	18.76	19.19	19.49
2	26.17	20.12	14.86	23.33	19.11	20.77	21.87	20.13	20.02
3	18.33	18.42	22.03	17.79	19.80	19.37	19.59	20.13	20.02
影响权重	10.45	3.26	8.47	5.53	2.21	1.40	3.11	1.71	1.23
影响排序	1	4	2	3	6	8	5	7	9
影响占比/%	27.5	8.6	22.3	14.5	5.8	3.7	8.1	4.5	3.2

4 基于 BP 神经网络预测模型构建

运用 BP 神经网络的分析预测功能能够获得塑料件注塑成型优化工艺参数是注塑模仿真分析获取较优设计的一个重要方法^[14-16],为获取前述 10 个工艺参数与产品主要缺陷之间的定量非线性关系,运用 Matlab 软件构建上述试验数据的 BP 神经网络模型。

BP 神经网络模型构建如下:

(1) 模型选用 3 层网络。

(2) 神经元的数目输入层包含 10 个工艺参数,分别为① T_0 、② T_s 、③ P_1 、④ t_1 、⑤ P_{h1} 、⑥ t_{h1} 、⑦ P_{h2} 、⑧ t_{h2} 、⑨ t_c 、⑩ C_1 , C_2 水路温度 α ,故输入层神经元个数为 10 个,行列中行排序依次按①~⑩排列,中间层神经元个数为 30 个,输出层参数为 Z_a , Z_b , Z_c , Z_d , L_R , Q_A ,对应神经元个数为 6 个。

(3) 函数及主程式构建。

运用 Matlab 软件中的神经网络工具箱,取表 2 中的 21 个试验为训练样本,6 个作为检验样本。以 Newff 创建网络,训练函数选用 Trainlm,仿真函数选用 Sim(),输入层中间层函数选用 tansig,中间层输出层函数选用 Purelin,上述试验样本及检验样本由 Excell 表格导入并矩阵处理,归一化处理函数采用 mapminmax()。

(4) 网络模型效果评价。

比较训练好的神经网络模型的预测值和试验值表明,预测值和试验值相当吻合,误差已小于 1.57×10^{-9} ,表明训练之后的神经网络有很高的准确

性,具备用于工艺参数调整预测的能力。

5 工艺参数优化

工程应用上,产品的注塑工艺参数的选用应在一定的因素水平范围内,而非某一最佳优化点。参数工艺优化的调整以正交优化选用的方案(T_0 为 225°C , T_s 为 60°C , P_1 为 45 MPa , t_i 为 1.5 s , P_{h1} 为 80 MPa , t_{h1} 为 12 s , P_{h2} 为 30 MPa , t_{h2} 为 3 s , t_c 为

15 s , α 为 30°C) 为基础,调整影响权重比较大的料温 T_0 、注塑压力 P_1 、注塑时间 t_i 为主要目标手段,结合上述训练好的神经网络模型对调整参数进行预测。工艺参数调整优选水平仍按 3 水平进行调整,料温 T_0 调整梯度为 5°C ,注塑压力 P_1 调整梯度为 5 MPa ,注塑时间 t_i 调整梯度为 0.2 s ,选用正交 $L_9(3^3)$,见表 4。

表 4 优化工艺参数

序号	$T_0/^{\circ}\text{C}$	$T_s/^{\circ}\text{C}$	P_1/MPa	t_i/s	P_{h1}/MPa	t_{h1}/s	P_{h2}/MPa	t_{h2}/s	t_c/s	$\alpha/^{\circ}\text{C}$	$\beta/^{\circ}\text{C}$	$\gamma/^{\circ}\text{C}$
T1	220	60	60	1.3	80	12	30	3	15	30	27	25
T2	220	60	65	1.5	80	12	30	3	15	30	27	25
T3	220	60	70	1.7	80	12	30	3	15	30	27	25
T4	225	60	60	1.5	80	12	30	3	15	30	27	25
T5	225	60	65	1.7	80	12	30	3	15	30	27	25
T6	225	60	70	1.3	80	12	30	3	15	30	27	25
T7	230	60	60	1.7	80	12	30	3	15	30	27	25
T8	230	60	65	1.3	80	12	30	3	15	30	27	25
T9	230	60	70	1.5	80	12	30	3	15	30	27	25

注: β 表示 C_3 , C_4 水路温度, γ 表示 $C_5 \sim C_7$ 水路温度。

将表 4 中试验编号 T1~T9 共 9 个方案设置好的工艺参数导入训练好的前述神经网络进行预测,其预测结果见表 5。

表 5 工艺参数优化预测与检验结果/mm

编号	神经网络模拟整体翘曲量 Z_0	CAE 仿真整体翘曲量
T1	2.132	2.088
T2	2.053	1.997
T3	1.465	1.665
T4	1.664	1.523
T5	1.431	1.313
T6	1.221	1.192
T7	1.776	1.665
T8	1.879	2.077
T9	2.176	1.975

从表 5 神经网络预测值可以看出, T6 方案神经网络模拟翘曲量为 1.221 mm , 为 9 个方案中的最小值,已接近翘曲变形控制范围 ($1.01 \sim 1.14\text{ mm}$),说明所训练的神经网络能较为准确地预测本产品的翘曲变形趋势和翘曲量变形大小,能较为快捷地找到优化目标范围。进一步将 T6 方案参数输入 CAE 仿真模型中进行验证,运算后,翘曲量最小为 1.192 mm ,与神经网络预测值接近,与目标值 1.14 mm 还有 0.052 mm 的差距,但相对塑料件的精度要求,进一步的调整已无实际工程应用价值,因而,就翘曲变形而言,表明 T6 方案已处于最优工艺参数阈值范围内,基本能满足本产品注塑成型要求;进一步考察其它质量指标,对 T6 以外的其它方案进行实验性 CAE 模拟验证,相比而言,在 T6 方案下熔接线数量为 16 条,气穴数量为 18 个,注塑质

量明显得到改善。故本产品较佳的注塑成型工艺参数为: T_0 为 225°C , T_s 为 60°C , P_1 为 70 , t_i 为 1.3 s , P_{h1} 为 80 MPa , t_{h1} 为 12 s , P_{h2} 为 30 , t_{h2} 为 3 s , t_c 为 15 s , α 为 30°C 。

6 结论

以注塑成型汽车 CD 托架为例,通过运用 Taguchi 正交试验法、BP 神经网络、Matlab 数值分析,实现了 CD 托架塑料件注塑成型工艺参数设置协同优化。基于 Taguchi 法的基础上运用 Minitab 软件构建了 $L_{27}(3^{10})$ 设计试验方案,应用 Moldflow2015 分别对各分组参数方案进行了 CAE 仿真分析,将仿真所得的翘曲分析结果作为 BP 神经网络的训练样本,构建了产品注塑工艺参数基于 Matlab 神经网络工具箱的三层 BP 神经网络预测模型。在基于 Taguchi 法获得的优选参数的基础上,再次在优化域附近进行立体正交优化,并运用训练所得神经网络进行预测,预测结果和 CAE 仿真结果进行了对比,验证了神经网络预测结果的可靠性。结果表明,运用 Taguchi 正交试验分析、BP 神经网络、模流 CAE 仿真分析能有效降低模具试模成本,缩短模具生产周期。

参考文献

- [1] 温广宇. CAD/CAE 技术在汽车模具中的应用进展 [J]. 塑料科技, 2015, 43(9): 57-59.
Wen Guangyu. Application development of CAD/CAE technology in automobile mould [J]. Plastics Science and Technology, 2015, 43(9): 57-59.

- [2] 刘建华. 汽车注塑模具设计中Moldflow软件应用的价值分析[J]. 科技资讯, 2014(21):18.
Liu Jianhua. Value analysis of the application of Moldflow software in the design of injection mould for automobile[J]. Science & Technology Information, 2014(21):18.
- [3] 吴松琪, 刘斌, 朱训民, 等. 汽车前保险杠注塑模具热流道热平衡分析及其优化设计[J]. 塑料工业, 2015, 43(12):54-59.
Wu Songqi, Liu Bin, Zhu Xunming, et al. Thermal equilibrium analysis and optimal design for hot runners of car front bumper injection mold[J]. China Plastics Industry, 2015, 43(12):54-59.
- [4] 许旭飞. 汽车零件注塑模具流道系统设计及参数优化[J]. 科技风, 2015(7):69, 77.
Xu Xufei. Design and parameters optimization of injection mold runner system for automobile parts[J]. Technology Wind, 2015(7):69, 77.
- [5] 王善凯, 李晶, 胡激涛, 等. 基于Moldflow汽车配件注塑工艺参数优化[J]. 西安工程大学学报, 2015, 29(6):692-697.
Wang Shankai, Li Jing, Hu Jitao, et al. Parameter optimization for auto part's injection process based on Moldflow[J]. Journal of Xi'an Polytechnic University, 2015, 29(6):692-697.
- [6] 宋燕星, 陈玉全, 陈永秋, 等. 汽车中央空调塑料饰件模具注塑流变分析CAE[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2004, 9(5):9-11.
Song Yanxing, Chen Yuquan, Chen Yongqiu, et al. Flow analysis CAE about moulding plastic part of car's center air-condition[J]. Journal of Harbin University of Science and Technology, 2004, 9(5):9-11.
- [7] 朱昱. Moldflow 软件在汽车零件注塑模具设计中的应用[J]. 机械, 2009, 36(9):40-42.
Zhu Yu. The application of Moldflow software in injection mold design of lap-belt cover[J]. Machinery, 2009, 36(9):40-42.
- [8] 杨安, 肖国华, 韩立艳, 等. 汽车油封盖内螺纹脱模机构及注塑模设计[J]. 工程塑料应用, 2015, 43(4):68-72.
Yang An, Xiao Guohua, Han Liyan, et al. Demoulding mechanism of oil seal cover and screw automobile injection mold design[J]. Engineering Plastics Application, 2015, 43(4):68-72.
- [9] 张文兵, 高慧, 沈建新, 等. 汽车配件“四爪卡子”注塑模具的设计[J]. 工程塑料应用, 2014, 42(12):71-74.
Zhang Wenbing, Gao Hui, Shen Jianxin, et al. Injection mould design of auto plastic part "four claw clip" [J]. Engineering Plastics Application, 2014, 42(12):71-74.
- [10] 张维合. 汽车风箱左盖注塑模设计[J]. 中国塑料, 2014, 28(4):114-118.
Zhang Weihe. Design of injection molds for cars' airtank-left[J]. China Plastics, 2014, 28(4):114-118.
- [11] 张梦梦, 陈泽中, 刘会. 基于UG与Moldflow的汽车门槛饰条工艺优化及模具设计[J]. 塑料, 2013, 42(6):106-108.
Zhang Mengmeng, Chen Zezhong, Liu Hui. Process Optimization and design for injection mold of auto sill molding based on UG & Moldflow[J]. Moldflow plastic, 2013, 42(6):106-108.
- [12] 苏瞧忠, 李志峰, 杨斌. 基于CAE的汽车档位手球结构优化及模具设计[J]. 工程塑料应用, 2012, 40(3):66-68.
Su Qiaozhong, Li Zhifeng, Yang Bin. Structure improvement and mold design of automobile gear handball based on CAE technology[J]. Engineering Plastics Application, 2012, 40(3):66-68.
- [13] 宋小辉, 苏庆勇, 唐萍. 汽车空调暖风机壳体注塑模具设计[J]. 工程塑料应用, 2012, 40(1):59-61.
Song Xiaohui, Su Qingyong, Tang ping. Injection mold design of shell on automobile air-condition heater unit[J]. Engineering Plastics Application, 2012, 40(1):59-61.
- [14] 肖石霞. 神经网络和遗传算法在齿轮注塑成型工艺参数优化中的应用[J]. 贵州工业职业技术学院学报, 2014, 9(2):14-17.
Xiao Shixia. Application of neural network and genetic algorithm in the process parameters optimization of gear injection molding[J]. Guizhou Science and Technology Professional College, 2014, 9(2):14-17.
- [15] 刘斌, 孙加伟, 吴盛金. 基于神经网络的注塑制品表面缺陷自动识别方法的研究[J]. 塑料工业, 2012, 40(2):38-41.
Sun Jiawei, Liu Bin, Wu Shengjin. Automatic recognition of surface defect on injection product based on neural network[J]. China Plastics Industry, 2012, 40(2):38-41.
- [16] 程文博, 张云, 周华民, 等. 基于卷积神经网络的注塑制品短射缺陷识别[J]. 塑料工业, 2015, 43(7):31-34.
Cheng Wenbo, Zhang Yun, Zhou Huamin, et al. The Short shot defect recognition of injection molded plastics based on convolution neural network[J]. China Plastics Industry, 2015, 43(7):31-34.
- [9] 李兴鳌, 任明伟, 任睿毅, 等. 铜镍合金为衬底化学气相沉积法制备石墨烯研究[J]. 功能材料, 2012, 43(23):3 257-3 260.
Li Xingao, Ren Mingwei, Ren Ruiyi, et al. Study on the grapheme preparation on Cu-Ni alloy substrate by chemical vapor deposition [J]. Journal of Functional Materials, 2012, 23(43):3 257-3 260.
- [10] 顾超. Cu/Ni 和 Cu/Ag 金属多层膜制备及其性能分析[D]. 洛阳: 河南科技大学, 2012.
Gu Chao. The preparation and performance analysis of Cu/Ni and Cu/Ag metal multilayer[D]. Luoyang: Henan University of Science and Technology, 2012.
- (上接第 61 页)
40(2):294-300.
Zhang Xiaohua, Liu Daoxin, Liu Guohua, et al. Effects of Cu / Ni multilayer film on fretting wear and fretting fatigue resistance of Ti811 Alloys[J]. Rare Metal Materials And Engineering, 2011, 40(2):294-300.
- [8] 周旭. 电子设备防干扰原理与技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2004.
Zhou Xu. Principle and technology of anti-interference for electronic equipment [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2004.