

应用理论

基于正交试验的高铁橡胶外风挡注射成型工艺参数优化

陈明同¹, 姜晓妍², 赵羽劲¹, 朱维浩¹, 曾宪奎^{1*}, 陈爽晴²

(1. 青岛科技大学 机电工程学院, 山东 青岛 266061; 2. 青岛澳泰交通设备有限公司, 山东 青岛 266061)

摘要: 基于Moldflow软件, 采用正交试验和响应曲面法, 对高铁橡胶外风挡注射成型的模拟方案优化设计, 并对注射成型工艺参数进行研究。结果表明: 模具温度是影响橡胶外风挡顶出时的体积收缩率和缩痕指数的最显著工艺因素, 其次分别是熔体(胶料)温度、保压时间、保压压力、注射时间; 优化的注射工艺参数为: 模具温度 185 ℃, 熔体温度 65 ℃, 注射时间 160 s, 保压时间 14 s, 保压压力 110 MPa。在此工艺参数下的橡胶外风挡顶出时的体积收缩率最大值为4.165%, 缩痕指数最大值为5.103%。

关键词: 高铁; 橡胶外风挡; 注射成型; 工艺参数; 优化; 正交试验; 响应曲面法

中图分类号: TQ330.6⁺6; TQ336.4

文献标志码: A

文章编号: 1000-890X(2021)03-0168-07

DOI: 10.12136/j.issn.1000-890X.2021.03.0168



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

橡胶外风挡^[1-6]是高铁的重要部件, 其生产方式主要是模压成型和注射成型两种。模压成型生产的橡胶外风挡的废品率较高, 因此注射成型^[7]是生产橡胶外风挡的最佳选择。但在橡胶外风挡注射成型生产中, 注射工艺参数设置不合理会产生体积收缩等质量问题。针对橡胶外风挡注射成型中产生的质量问题, 对高铁橡胶外风挡进行注射工艺参数优化是十分必要的。

S. P. HONG等^[8]运用CAE技术研究了汽车挡泥板的注射成型过程。H. RASHID等^[9]以阿迪达斯足球鞋底为例, 运用CAE技术分析和预测了注射过程中制品可能产生的缺陷, 有助于缩短产品开发时间和降低成本。

本研究采用正交试验设计方案, 运用Moldflow软件对高铁橡胶外风挡(以下简称橡胶外风挡)注射成型过程进行模拟分析, 并采用多元回归方程拟合影响因素与响应参数之间的函数关

系, 通过对回归方程的分析, 寻求最优工艺参数, 以达到优化的目的。

1 注射成型工艺参数优化试验设计

本研究橡胶外风挡注射成型工艺参数优化的流程为: 建立试验模型→确定模拟试验目标→确定试验因子与水平→选取合适的正交试验方案→采用Moldflow软件分析→模拟试验结果数据处理→工艺参数优化。

1.1 试验模型建立

本工作选取橡胶外风挡的部分实体为研究对象, 其尺寸为2 300 mm×300 mm×252 mm, 上端壁厚15 mm, 下端壁厚7 mm, 体积为16 672 cm³, 通过Creo软件建模后导入Moldflow软件中, 定义网格长度为18 mm, 划分的三角形网格数为24 796, 表面面积为16 654 cm², 纵横比最大为4.52, 最小为1.16, 匹配率为93%。

基金项目: 山东省自然科学基金重点项目(ZR2016XJ003)

作者简介: 陈明同(1994—), 男, 山东泰安人, 青岛科技大学在读硕士研究生, 主要从事高分子材料加工技术与装备的研究。

***通信联系人** (1425373799@qq.com)

引用本文: 陈明同, 姜晓妍, 赵羽劲, 等. 基于正交试验的高铁橡胶外风挡注射成型工艺参数优化[J]. 橡胶工业, 2021, 68(3): 168-174.

Citation: CHEN Mingtong, JIANG Xiaoyan, ZHAO Yujing, et al. Optimization on injection molding process parameters of rubber outer windshield for high-speed train based on orthogonal test[J]. China Rubber Industry, 2021, 68(3): 168-174.

橡胶外风挡材料是三元乙丙橡胶 (EPDM) 胶料^[10], EPDM 牌号为 P127T910, 胶料密度为 $1.15 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。Moldflow 软件推荐的模具温度范围为 $185 \sim 205 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 熔体 (胶料) 温度范围为 $65 \sim 75 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 这为仿真试验工艺参数设置提供了参考。

本研究依据实际生产经验, 选择模具温度、熔体温度、注射时间、保压时间和保压压力为影响橡胶外风挡体积收缩率的因素, 橡胶外风挡顶出时的体积收缩率和缩痕指数为试验指标。

设定初始工艺参数为: 模具温度 $195 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 熔体温度 $70 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 注射时间 180 s , 保压时间 10 s , 保压压力 100 MPa 。模拟初始工艺参数下橡胶外风挡顶出时的体积收缩率最大值为 5.79% , 缩痕指数最大值为 6.23% , 如图 1 和 2 所示。

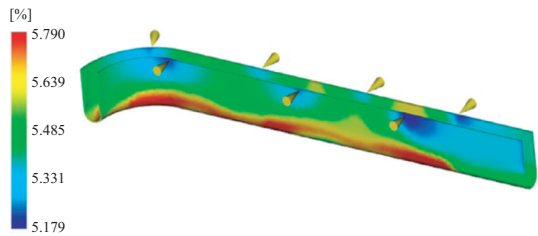


图1 初始工艺参数下橡胶外风挡顶出时的体积收缩率
Fig. 1 Volume shrinkage rate of rubber outer windshield during ejection under initial process parameters

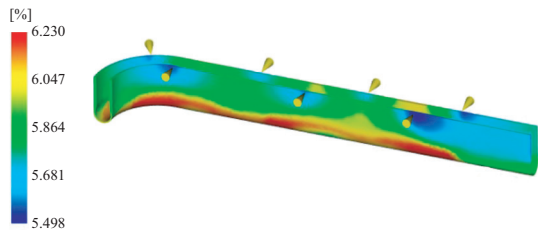


图2 初始工艺参数下橡胶外风挡顶出时的缩痕指数
Fig. 2 Shrinkage mark index of rubber outer windshield during ejection under initial process parameters

1.2 正交试验安排与模拟结果

根据Moldflow软件推荐的工艺参数和实际生产经验确定试验因子, 每个因子取5个水平, 建立因子与水平表^[11], 如表1所示。选用 $L_{25}(5^5)$ 正交试验表, 采用Moldflow软件进行25次模拟试验, 正交试验方案和模拟结果如表2所示。

1.3 试验数据极差分析

1.3.1 顶出时的体积收缩率

对表2中的模拟结果进行极差分析, 得到橡胶外风挡顶出时的体积收缩率极差, 如表3所示。

表1 因子与水平表
Tab. 1 Factor and level table

水平	因子				
	A	B	C	D	E
1	185	65.0	160	6	90
2	190	67.5	170	8	95
3	195	70.0	180	10	100
4	200	72.5	190	12	105
5	205	75.0	200	14	110

注: A为模具温度($^{\circ}\text{C}$), B为熔体温度($^{\circ}\text{C}$), C为注射时间(s), D为保压时间(s), E为保压压力(MPa)。

极差越大, 说明该因素对试验指标的影响越大, 也就越重要。从表3可以看出, 注射工艺参数对橡胶外风挡顶出时的体积收缩率的影响程度从大到小的排序为A, B, D, E, C。

分析表3数据, 可以得出如下结论。

随着模具温度的提高, 橡胶外风挡顶出时的体积收缩率增大, 这是因为在橡胶外风挡顶出时注射口处的胶料停止注入, 注射压力和保压压力都消失, 模具温度的提高使胶料的定型速度降低, 导致橡胶外风挡顶出时的热膨胀力增大, 从而加大体积收缩率, 降低生产效率^[12]。

随着熔体温度的提高, 橡胶外风挡顶出时的体积收缩率增大, 这是因为胶料的熔体温度升高, 橡胶分子之间作用力减小, 胶料的密度变小, 橡胶外风挡顶出时的密度增幅较大, 从而使体积收缩率增大。

随着注射时间的延长, 橡胶外风挡顶出时的体积收缩率先减小后增大。这是因为注射过快, 导致注射压力高, 橡胶外风挡内部存在较大的残余应力, 体积收缩率变大; 注射过慢, 使先注入的胶料受模具温度的影响温升大, 等同于提高了胶料的熔体温度, 使橡胶外风挡顶出时的体积收缩率变大^[13]。

随着保压时间的延长, 橡胶外风挡顶出时的体积收缩率先增大后减小。先增大的原因是保压时间过短与注射过快一样, 橡胶外风挡内部存在较大的残余应力, 体积收缩率增大; 后减小的原因是保压时间趋于合理, 使胶料均匀充满型腔, 橡胶外风挡顶出时的体积收缩率减小。

随着保压压力的增大, 橡胶外风挡顶出时的体积收缩率波动变化, 但变化幅度减小, 这是因为保压压力变大导致型腔内的胶料充填均匀、紧

表2 正交试验方案及结果
Tab.2 Orthogonal test schemes and results

方 案	A	B	C	D	E	$Y_1/\%$	$Y_2/\%$	$Y/\%$
1	185	65.0	160	6	90	4.221	5.354	4.787 5
2	185	67.5	170	8	95	4.342	5.875	5.108 5
3	185	70.0	180	10	100	4.603	5.637	5.120 0
4	185	72.5	190	12	105	4.655	5.887	5.271 0
5	185	75.0	200	14	110	4.615	5.769	5.192 0
6	190	65.0	170	10	105	4.516	5.745	5.130 5
7	190	67.5	180	12	110	4.663	5.681	5.172 0
8	190	70.0	190	14	90	4.424	5.832	5.128 0
9	190	72.5	200	6	95	4.883	6.271	5.577 0
10	190	75.0	160	8	100	5.014	6.133	5.5735
11	195	65.0	180	14	95	4.735	6.061	5.398 0
12	195	67.5	190	6	100	5.004	6.332	5.668 0
13	195	70.0	200	8	105	5.384	6.310	5.847 0
14	195	72.5	160	10	110	4.932	6.362	5.647 0
15	195	75.0	170	12	90	4.937	6.061	5.499 0
16	200	65.0	190	8	110	5.231	6.554	5.892 5
17	200	67.5	200	10	90	5.109	6.532	5.820 5
18	200	70.0	160	12	95	5.354	6.476	5.915 0
19	200	72.5	170	14	100	5.232	6.252	5.742 0
20	200	75.0	180	6	105	5.129	6.753	5.941 0
21	205	65.0	200	12	100	5.181	6.594	5.887 5
22	205	67.5	160	14	105	5.228	6.542	5.885 0
23	205	70.0	170	6	110	5.523	6.742	6.132 5
24	205	72.5	180	8	90	5.698	6.713	6.205 5
25	205	75.0	190	10	95	5.768	6.880	6.324 0

注： Y_1 为体积收缩率， Y_2 为缩痕指数， Y 为质量指数， $Y=(Y_1+Y_2)/2$ 。

表3 橡胶外风挡顶出时的体积收缩率极差分析结果
Tab.3 Range analysis results of volume shrinkage rate of rubber outer windshield during ejection %

项 目	A	B	C	D	E
K_1	4.487	4.777	4.950	4.952	4.878
K_2	4.700	4.869	4.910	5.134	5.016
K_3	4.998	5.058	4.966	4.986	5.007
K_4	5.211	5.080	5.016	4.958	4.982
K_5	5.480	5.093	5.034	4.847	4.993
极差	0.993	0.316	0.124	0.287	0.138
排序	1	2	5	3	4

注： K_1, K_2, K_3, K_4 和 K_5 分别表示各参数在1, 2, 3, 4, 5个水平下的试验结果的平均值。

密,使橡胶外风挡与模腔的尺寸更加接近,进而使其顶出后的体积收缩率变化幅度减小^[14],但是保压压力过大会导致橡胶外风挡顶出后收缩不均匀,因此要设置合理的保压压力。

橡胶外风挡顶出时的体积收缩率最小的注射工艺参数组合为 $A_1B_1C_2D_5E_1$,即模具温度 185℃,熔体温度 65℃,注射时间 170 s,保压时间 14 s,保压压力 90 MPa。

1.3.2 顶出时的缩痕指数

橡胶外风挡顶出时的缩痕指数的极差分析结果如表4所示。

表4 橡胶外风挡顶出时的缩痕指数极差分析结果
Tab.4 Range analysis results of shrinkage mark index of rubber outer windshield during ejection %

项 目	A	B	C	D	E
K_1	5.704	6.060	6.171	6.289	6.097
K_2	5.931	6.191	6.134	6.315	6.311
K_3	6.224	6.197	6.168	6.230	6.187
K_4	6.510	6.295	6.295	6.138	6.246
K_5	6.692	6.318	6.294	6.090	6.220
极差	0.988	0.258	0.161	0.225	0.214
排序	1	2	5	3	4

注:同表3。

从表4可以看出,注射工艺参数对橡胶外风挡顶出时的缩痕指数的影响程度从大到小的排序为A,B,D,E,C。

计算橡胶外风挡顶出时的缩痕指数使用的是体积收缩率和产品壁厚数值,橡胶外风挡在水平

切面上为等壁厚制件,故各工艺参数对橡胶外风挡顶出时的缩痕指数的影响趋势与表3的体积收缩率结果大致相同。

分析表4数据可知,橡胶外风挡顶出时的缩痕指数最小的注射工艺参数组合为 $A_1B_1C_2D_5E_1$,与体积收缩率最小的注射工艺参数组合相同。

1.4 试验数据方差分析

1.4.1 顶出时的体积收缩率

方差分析法中, P 值是衡量试验值与目标值差异的指标, P 值小于0.05表示试验值与目标值差异显著,对应因子不能忽略。根据正交试验结果,得到橡胶外风挡顶出时的体积收缩率方差分析结果,如表5所示。

表5 橡胶外风挡顶出时的体积收缩率方差分析结果
Tab. 5 Variance analysis results of volume shrinkage rate of rubber outer windshield during ejection

项 目	自由度	离均差平方和	均方	F 值	P 值
A	4	3.122 19	0.780 55	15.16	0.011
B	4	0.410 77	0.102 69	2.00	0.260
C	4	0.050 95	0.012 74	0.25	0.898
D	4	0.212 91	0.053 23	1.03	0.487
E	4	0.062 72	0.015 68	0.30	0.862
误差	4	0.205 89	0.051 47		
综合	24	4.065 44			

从表5可以看出,5项工艺参数对橡胶外风挡顶出时的体积收缩率的影响程度从大到小的排序为: A,B,D,E,C 。

根据顶出时的体积收缩率方差分析结果,橡胶外风挡的注射工艺参数优化结论如下。

(1) 模具温度的 P 值小于0.05,说明模具温度对橡胶外风挡顶出时的体积收缩率影响显著,故在生产过程中应对模具温度重点关注。

(2) 熔体温度、注射时间、保压时间、保压压力的 P 值均大于0.05,但是熔体温度的 P 值远小于其余3项的 P 值。结合实际生产经验,在以顶出时的体积收缩率为目标进行橡胶外风挡注射工艺参数优化时,除了重点确定模具温度外,还需要确定熔体温度、注射时间、保压时间和保压压力3项工艺参数则合理设置。

1.4.2 顶出时的缩痕指数

橡胶外风挡顶出时的缩痕指数的方差分析结

果如表6所示。

表6 橡胶外风挡顶出时的缩痕指数方差分析结果
Tab. 6 Variance analysis results of shrinkage mark index of rubber outer windshield during ejection

项 目	自由度	离均差平方和	均方	F 值	P 值
A	4	3.296 7	0.824 19	29.76	0.003
B	4	0.209 3	0.052 33	1.89	0.276
C	4	0.117 0	0.029 25	1.06	0.480
D	4	0.186 6	0.046 66	1.68	0.313
E	4	0.124 3	0.031 07	1.12	0.457
误差	4	0.110 8	0.027 69		
综合	24	4.044 7			

从表6可以看出,5项工艺参数对橡胶外风挡缩痕指数的影响程度从大到小的排序为 A,B,D,E,C 。

根据顶出时的缩痕指数方差分析结果,橡胶外风挡注射工艺参数优化结论如下。

(1) 模具温度的 P 值小于0.05,说明模具温度对橡胶外风挡顶出时的缩痕指数影响显著,故在生产过程中应对模具温度重点关注。

(2) 熔体温度、注射时间、保压时间和保压压力的 P 值均大于0.05,但是熔体温度和保压时间的 P 值远小于其余2项的 P 值。结合实际生产经验,在以顶出时的缩痕指数为目标进行橡胶外风挡注射工艺参数优化时,除了重点确定模具温度外,还需要确定熔体温度和保压时间,注射时间和保压压力2项工艺参数则合理设置。

2 响应曲面法优化

对橡胶外风挡顶出时的体积收缩率和缩痕指数各赋予0.5的权重,合并为橡胶外风挡的质量指数,从而将多目标问题转化为单目标,实现多目标问题的综合优化^[15]。

橡胶外风挡质量指数的响应曲面方程表示为

$$Y=f(x_A,x_B,x_C,x_D,x_E)$$
 (1)

式中, x_A,x_B,x_C,x_D,x_E 分别为模具温度、熔体温度、注射时间、保压时间和保压压力。

选取表2中的数据,应用Minitab软件,计算得到响应曲面因数,如表7所示。

建立多元回归方程:

$$Y = -47.0 + 0.299x_A + 0.315x_B + 0.079x_C + 0.281x_D + 0.089x_E - 0.000286x_A^2 - 0.00085x_B^2 + 0.00006x_C^2 - 0.011136x_D^2 - 0.000982x_E^2 - 0.00034x_Ax_B - 0.000623x_Ax_C - 0.00046x_Ax_D + 0.000064x_Ax_E - 0.00002x_Bx_D + 0.00073x_Bx_E + 0.000242x_Cx_E \quad (2)$$

表7 响应曲面因数
Tab.7 Coefficients of response surface

项 目	因数	因数标准误差	T值	P值	方差膨胀因子
常量	5.745 5	0.094 4	60.89	0.000	
A	0.526 8	0.041 0	12.86	0.000	1.88
B	0.112 1	0.042 1	2.66	0.032	1.98
C	0.060 9	0.044 0	1.38	0.209	2.16
D	-0.130 0	0.044 0	-2.96	0.021	2.16
E	-0.002 3	0.042 1	-0.05	0.958	1.98
A×A	-0.028 6	0.056 0	-0.51	0.625	1.22
B×B	-0.021 2	0.077 8	-0.27	0.793	2.37
C×C	0.024 0	0.111 0	0.22	0.833	4.80
D×D	-0.178 0	0.111 0	-1.61	0.152	4.80
E×E	-0.098 2	0.077 8	-1.26	0.247	2.37
A×B	-0.017 2	0.074 0	-0.23	0.823	3.05
A×C	-0.125 0	0.104 0	-1.20	0.271	6.07
A×D	-0.018 0	0.104 0	-0.18	0.865	6.07
A×E	0.006 4	0.074 0	0.09	0.933	3.05
B×D	-0.000 3	0.059 9	-0.01	0.996	2.00
B×E	0.036 6	0.079 1	0.46	0.657	3.49
C×E	0.048 3	0.059 9	0.81	0.446	2.00

式中, $x_A \in [185, 205]$, $x_B \in [65.0, 75.0]$, $x_C \in [160, 200]$, $x_D \in [6, 14]$, $x_E \in [90, 110]$ 。

对方程(2)求解最小值, 得到 $x_A = 185$ °C, $x_B = 65$ °C, $x_C = 160$ s, $x_D = 14$ s, $x_E = 110$ MPa时, $Y_{\min} = 4.397$, 即模具温度为185 °C、熔体温度为65 °C、注射时间为160 s、保压时间为14 s、保压压力为110 MPa时, 取得橡胶外风挡质量指数最小值为4.397%。

在此工艺参数下, 采用Moldflow软件模拟, 结果如图3和4所示, 得到橡胶外风挡顶出时的体积收缩率最大值为4.165%, 缩痕指数最大值为5.103%, 质量指数最大值为4.634%。

3 结论

(1) 模具温度对橡胶外风挡顶出时的体积收缩影响最为显著, 其后依次是熔体温度、保压时间、保压压力和注射时间。若要减小橡胶外风挡顶出时的体积收缩率, 可以在工艺参数范围内降低模具温度和熔体温度, 而保压时间、保压压力和注射时间则合理设置。

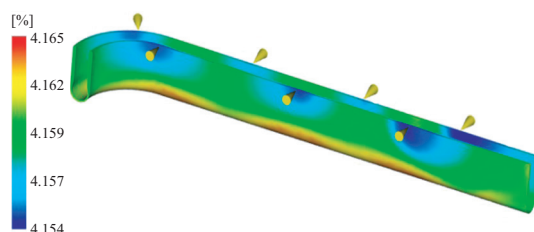


图3 工艺参数优化后橡胶外风挡顶出时的体积收缩率
Fig.3 Volume shrinkage rate of rubber outer windshield during ejection after optimization of process parameters

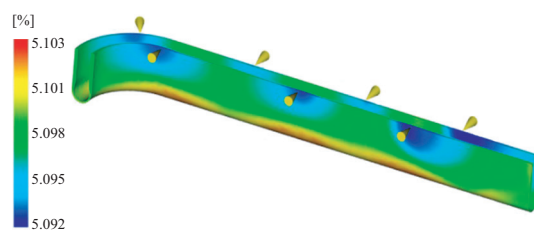


图4 工艺参数优化后橡胶外风挡顶出时的缩痕指数
Fig.4 Shrinkage mark index of rubber outer windshield during ejection after optimization of process parameters

(2) 建立了试验因素与优化指标之间的多元非线性回归方程, 对工艺参数寻优。最优工艺参数组合为: 模具温度 185 °C, 熔体温度 65 °C, 注射时间 160 s, 保压时间 14 s, 保压压力 110 MPa。采用Moldflow软件模拟的橡胶外风挡顶出时的体积收缩率最大值为4.165%, 缩痕指数最大值为5.103%。

(3) 橡胶外风挡质量指数的模拟最大值与回归方程预测最小值分别为4.634%和4.397%, 这说明建立的多元非线性回归方程能够较好地拟合出橡胶外风挡工艺参数与质量指数之间的非线性关系, 响应曲面法能够有效地找到橡胶外风挡最优的工艺参数组合。

参考文献:

- [1] 曾宪奎. 我国高铁产业技术创新模式剖析[J]. 学术探索, 2018(10): 84-90.
ZENG X K. An analysis of the technology innovation model of China's high speed rail industry[J]. Academic Exploration, 2018(10): 84-90.
- [2] 欧阳黎健, 刘丰芹. 风挡在机车车辆上的应用[J]. 电力机车与城轨

- 车辆,2008,31(2):46-48.
- OUYANG L J, LIU F Q. Application of vestibule diaphragm on locomotive and railway vehicle[J]. Electric Locomotives & Mass Transit Vehicles,2008,31(2):46-48.
- [3] 刘伟. 车端连接装置对高速列车运行平稳性的影响[J]. 铁道车辆,2008,46(3):8-10.
- LIU W. Effect of the coupling devices at the end of a car on the ride quality of high speed trains[J]. Rolling Stock,2008,46(3):8-10.
- [4] 周大军, 栾平景. 风挡在客车上的应用及发展建议[J]. 铁道车辆,2006,44(10):27-28.
- ZHOU D J, LUAN P J. Application of vestibule diaphragms on passenger cars and suggestions for development[J]. Rolling Stock,2006,44(10):27-28.
- [5] 俞展猷. 日本与欧洲高速列车技术的发展和现状[J]. 铁道机车车辆,2003,19(1):16-27.
- YU Z Y. Development and status quo of high speed train technology in Japan and Europe[J]. Railway Locomotive & Car,2003,19(1):16-27.
- [6] 高军, 邱彩玉, 李鹏, 等. 高速动车组外风挡结构设计探讨[J]. 铁道车辆,2019,57(4):21-23.
- GAO J, QIU C Y, LI P, et al. Discussion of the structure design of outside vestibule diaphragm on high speed multiple units[J]. Rolling Stock,2019,57(4):21-23.
- [7] 吕柏源, 焦冬梅, 李晓燕. 橡胶注射成型设备技术进步及发展动向——橡胶机械技术进步与发展方向(三)[J]. 中国化工装备,2003,5(4):20-22.
- LYU B Y, JIAO D M, LI X Y. Technique improvement and development direction of rubber injection molding equipment—rubber machinery technique improvement and development direction (the 3rd part) [J]. China Chemical Industry Equipment,2003,5(4):20-22.
- [8] HONG S P, TRUNG T N. Optimization of injection molding process for car fender in consideration of energy efficiency and product quality[J]. Journal of Computational Design and Engineering,2014,1(4):256-265.
- [9] RASHID H, HAMID A H A, NOH M H M, et al. Study on the possible defects in plastic injection molding for different designs of studs for football boot sole using CAD and CAE technologies and applications[C]. 2011 International Conference on Business, Engineering and Industrial Applications (Kuala Lumpur). Piscataway, NJ, USA: Institute of Electrical and Electronics Engineers,2011:68-72.
- [10] 谭莲影, 苏韧伟, 黄良平, 等. 高速列车风挡用白色EPDM橡胶材料的研究应用[J]. 电力机车与城轨车辆,2015,38(S1):98-101.
- TAN L Y, SU R W, HUANG L P, et al. Investigation of white EPDM based vestibule diaphragm for high-speed train[J]. Electric Locomotives & Mass Transit Vehicles,2015,38(S1):98-101.
- [11] 马妍. 正交试验法研究EPDM的常温 and 高温压缩永久变形[J]. 橡胶工业,2018,65(9):1066-1069.
- MA Y. Study on compression set of EPDM at room and high temperature by orthogonal test[J]. China Rubber Industry,2018,65(9):1066-1069.
- [12] 刘思哲. 厚壁注塑制品的成型工艺研究[D]. 青岛:青岛理工大学,2013.
- LIU S Z. The injection molding process research on the thick-walled plastic parts[D]. Qingdao: Qingdao University of Technology,2013.
- [13] 滕彦理. 高速列车橡胶内风挡注射模具的设计及注射参数优化研究[D]. 青岛:青岛科技大学,2020.
- TENG Y L. The study on the design of injection mold for rubber inner windshield of the high-speed train and the optimization of its injection parameters[D]. Qingdao: Qingdao University of Science and Technology,2020.
- [14] 吴春艳. PA66/GF汽车进气歧管成型工艺及优化研究[D]. 重庆:重庆大学,2005.
- WU C Y. Simulation and optimization of injection processing for PA66/GF intake manifold[D]. Chongqing: Chongqing University,2005.
- [15] 卫伟. 正交试验设计的注塑成型工艺参数多目标优化设计[J]. 现代制造工程,2009(2):94-97.
- WEI W. Multi-objective optimization design of the injection molding process parameters based on orthogonal experimental design[J]. Modern Manufacturing Engineering,2009(2):94-97.

收稿日期:2020-09-28

Optimization on Injection Molding Process Parameters of Rubber Outer Windshield for High-speed Train Based on Orthogonal Test

CHEN Mingtong¹, JIANG Xiaoyan², ZHAO Yujing¹, ZHU Weihao¹, ZENG Xiankui¹, CHEN Shuangqing²

(1. Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, China; 2. Qingdao AOTAI Transportation Equipment Co., Ltd, Qingdao 266061, China)

Abstract: Based on Moldflow software, orthogonal test and response surface method were used to

optimize the design of the injection molding simulation scheme of the rubber outer windshield for high-speed train, and the injection molding process parameters were studied. The results showed that mold temperature was the most significant process factor affecting the volume shrinkage and shrinkage mark index of the rubber outer windshield during ejection, followed by melt (compound) temperature, pressure holding time, holding pressure and injection time. The optimized injection process parameters were: mold temperature 185 °C, melt temperature 65 °C, injection time 160 s, pressure holding time 14 s, and holding pressure 110 MPa. Under this process parameter, the maximum volume shrinkage of the rubber outer windshield was 4.165%, and the maximum shrinkage index was 5.103%.

Key words: high-speed train; rubber outer windshield; injection molding; process parameter; optimization; orthogonal test; response surface method

一种废弃橡胶颗粒回收加工系统及回收加工工艺 由蔡国梁申请的专利(公布号 CN 111775372A, 公布日期 2020-10-16)“一种废弃橡胶颗粒回收加工系统及回收加工工艺”, 涉及的废弃橡胶颗粒回收加工系统包括加工壳体、清洗单元、限位单元和出料单元。其中, 加工壳体上端左侧内壁上开设1号横向滑槽, 上端右侧内壁上开设1号纵向滑槽, 上端内壁滑动连接清洗单元; 清洗单元下端安装限位单元, 限位单元下方设置出料单元。清洗单元可以对回收的废弃橡胶颗粒进行揉搓式清洗, 对橡胶颗粒表面粘附的脏污及灰尘进行全面清洗, 以保证清洁加工; 出料单元能有效地将清洗后的橡胶颗粒进行固液筛分和烘干处理, 保证橡胶颗粒表面不再粘附灰尘, 该加工系统和加工工艺的损耗和成本低。

(本刊编辑部 赵 敏)

一种改性三元乙丙橡胶的加工工艺 由天津中和胶业股份有限公司申请的专利(公布号 CN 111793172A, 公布日期 2020-10-20)“一种改性三元乙丙橡胶的加工工艺”, 提供了一种改性三元乙丙橡胶的加工工艺: 将三元乙丙橡胶和二元乙丙橡胶溶解于-80~-20 °C的溶剂中, 搅拌(30 min)均匀得到溶解物A; 将三乙烯基硅烷和三烯丙基三聚异氰酸酯溶解于-80~-50 °C的稀释剂中, 搅拌(30 min)均匀得到溶解物B; 将溶解物A和B及催化剂组合物搅拌均匀, 在-80~-50 °C温度范围内反应10~90 min, 再进行阳离子反应30 min, 反应结束后得到混合物料; 将混合物料在开炼机上开炼, 制得改性三元乙丙橡胶。该改性三

元乙丙橡胶在加工时可以有效抑制引发体系的活性, 解决反应放热过快所带来的一系列问题。

(本刊编辑部 赵 敏)

一种橡胶压延机 由广州立芯智能科技有限公司申请的专利(公布号 CN 111873290A, 公布日期 2020-11-03)“一种橡胶压延机”, 涉及的橡胶压延机包括框体、进料装置、压延装置、刮料装置、冷却装置和出料装置。框体的左侧设有进料装置, 框体内部中间设有压延装置, 框体内部上下两端面安装刮料装置, 框体前端设有冷却装置, 框体右侧设有出料装置。该发明可以解决传统橡胶压延机通常存在以下弊端: (1) 只能将胶料压延成普通胶片, 截面没有特定的形状; (2) 压延过程中由于工作辊筒表面粘连胶料, 导致压延后的胶片表面不够光滑, 从而影响压延质量; (3) 胶料压延后对其降温冷却过快, 导致压延后的胶片收缩率较大, 从而影响压延效果。

(本刊编辑部 赵 敏)

一种环保型橡胶密封圈 由南京太洋新材料有限公司申请的专利(公布号 CN 112048132A, 公布日期 2020-12-08)“一种环保型橡胶密封圈”, 涉及的橡胶密封圈胶料配方为: 氯磺化聚乙烯橡胶 85~95, 增强剂 5~18, 氧化锌 14~27, 硬脂酸 11~23, 氯化石蜡 9~19, 树脂 12~25。该橡胶密封圈具有成本低、抗弯曲能力强、防火性好、使用寿命长、承载能力大、质量小、绿色环保等优点。

(本刊编辑部 赵 飞)