

水软化器耐压不良改善研究

赵乐英 吴安娇

(三花亚威科电器设备(芜湖)有限公司 安徽 芜湖 241100)

摘要:针对洗碗机水软化器热板焊接的耐压爆破不稳定问题,本文基于水软化器的结构和原理,对该问题的原因进行了分析;通过对焊接过程进行分析,提出了优化焊接参数、焊接工装等措施,该问题得到了解决。

关键词:热板焊接;正交实验;耐压爆破

0 引言

目前自动洗碗机行业处于稳步增长的阶段,随着消费者需求的不断增加,自动洗碗机市场的规模也在不断扩大,特别是在一些发达国家,自动洗碗机已经成为家庭必备的家电用品。据数据显示,全球自动洗碗机市场规模逐年上涨,2022年全球自动洗碗机市场规模达到了296亿美元。2022年中国自动洗碗机市场销售额达到99.6亿元,同比2021年增长14.5%,行业发展前景良好。随着人民生活品质要求的提高,消费者对日常用品的清洁和消毒达到前所未有的重视,洗碗机和洗涤剂具有消毒除菌功能,给洗碗机市场的快速发展提供了有力支撑。

洗碗机最早由合资品牌带入中国市场,经过二十多年的发展,中国已经成为洗碗机全球生产第一大国,主要品牌包括美的、西门子、海尔、博世和方太等,地域分布广泛。目前中外品牌竞争的焦点是本土化和功能性。功能性主要聚焦于多功能及洗涤清洁度,洗涤清洁度与水的硬度密切相关。水的硬度是指水中钙、镁离子的浓度,不同地域的水硬度不同。平常使用的自来水是达到人饮用标准的硬水,对一些工业设备有较大的影响;水中的金属离子在设备管子中易形成水垢,影响热效应及洗涤效果。所以为了更好的洗涤效果,必须使用经过软化(除去水中的金属离子)的软水。

洗碗机中使自来水软化的部件即水软化器。洗碗机开始工作后,自来水会通过水路经过水软化器,水软化器内是天然树脂材质,它能吸附水中的钙、镁离子,软化水质。水经过软化后再加热就不会产生水垢,长期使用也不会堵塞管路及喷淋臂,所以专业洗碗机底部有一个盐仓,盐仓的主体

就是水软化器。定期在水软化器中加入专用盐,它能保护水软化器,将树脂中饱和的钙、镁离子置换出来,恢复树脂的活性,达到长期软化水质的目的。

1 洗碗机水软化器结构及原理

洗碗机水软化器的主体结构如图1所示,由下壳体、中壳体、上壳体、内部填充树脂等组成。洗碗机的主体零件之间通过热板焊接在一起。热板焊接^[1]主要是利用一个温控加热板来焊接塑料件。焊接时,加热板放置在两个塑料件中间,当塑料件紧贴住加热板时,塑料件开始熔化。达到预先设定好的加热时间(热熔时间)之后,塑料件表层的塑料将达到一定的熔化程度,这时将塑料件向两边分离,移走加热板,并将两片塑料件合模。当加热板暂停工作后,保压一定时间,使其凝固成型,这样就形成一个牢固的分子链,达到焊接的效果,至此整个热板焊接流程完成。水软化器焊接步骤为:下壳体与中壳体经过热板焊接后,在内部填充规定体积的树脂,再将上壳体与中壳体进行热板焊接,形成水软化器主体。

水软化器中存有水压,故焊接强度尤为重要,体现为耐压爆破实验值。耐压爆破试验方法是:将产品密封、冲入水压,首先在规定时间内升压到预设压力,并保持压力一定时间;然后在规定时间内升压到预设的第二阶段压力,再保持压力一定时间;最后连续升压直至产品爆破。产品爆破时的压力值即耐压爆破值。由于耐压爆破实验为破坏性实验,不能100%进行全检,如果过程不稳定会造成批量报废。由于抽检时经常出现爆破压力不合格的情况,此问题亟需解决。

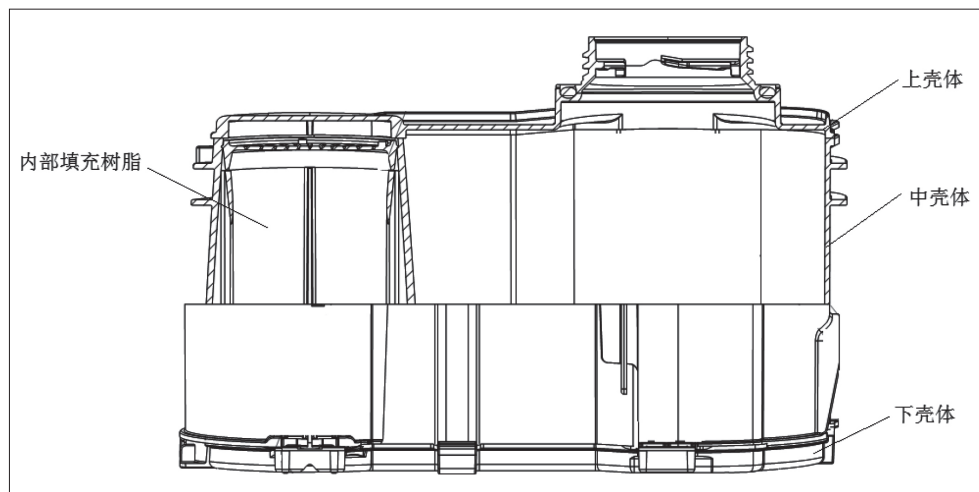


图 1 水软化器主体结构

2 原因分析

2.1 加热板清洁度

热板焊接时，加热板直接与塑料工件接触。加热板上产生的热量传递到工件后，工件熔化且与加热板融合，所以，焊接后加热板表面会残留熔融的塑胶。在下个工件进行热板焊接时，加热板表面的残留熔融物继续增多，如果不及时清理，累积一段时间后，残留在加热板上的塑胶形成灰黑色的物质，如图 2 所示。此时，当工件继续进行热板焊接后，肉眼可见焊缝处存在脏污，如图 3 所示，对焊接强度可能会产生影响。

2.2 工装的一致性

焊接机内 4 个工位同时进行焊接，分别是两个半成品工位和两个成品工位。焊接的动作为：载具小车移动到焊接位置，设备顶升工装动作将载具小车顶到设定位置；设备夹具将载具小车中的零部件夹紧，设备上工装下降到指定位置，夹住焊接零部件的上端。之后上工装返回到指定位置，加热板移动到待焊接的零部件之间，设备的上下工装带动上下焊接零部件向加热板方向移动，移动到指定位置后停留一定时间。到达设定时间后，设备的上下工装带动上下焊接零部件退回焊接前位置，加热板返回到原点。设备上下工装带动上下零部件移动到指定位置，在一定的压力下进行合模，合模后上工装夹具松开，下工装返回原点并松开，从而焊接完成。在此焊接过程中，发现半成品工位零件碰到加热板时，成品工位零件还没有

碰到加热板，这导致零部件在加热板上的熔融量不一致。故 4 个工位工装的平整度及一致性对焊接后的强度可能会产生影响。

2.3 壳体的结构

查看爆裂的位置，部分产品爆裂位置处于产品的焊接面位置，如图 4 所示；部分产品爆裂位置处于产品内部过滤网处，如图 5 所示。经查看，中壳体内部对应过滤网处存在直角结构，直角结

构会阻碍力的传导，从而产生应力集中^[2]。应力集中是指在结构中某一点处，由于结构形状、载荷作用等因素，使得该点处的应力值远大于周围区域的应力值。应力集中会导致物体产生疲劳裂纹，从而引起脆性材料断裂，故中壳体内部过滤网处的直角结构，可能会对耐压爆破值产生影响，需要对此处结构进行优化。

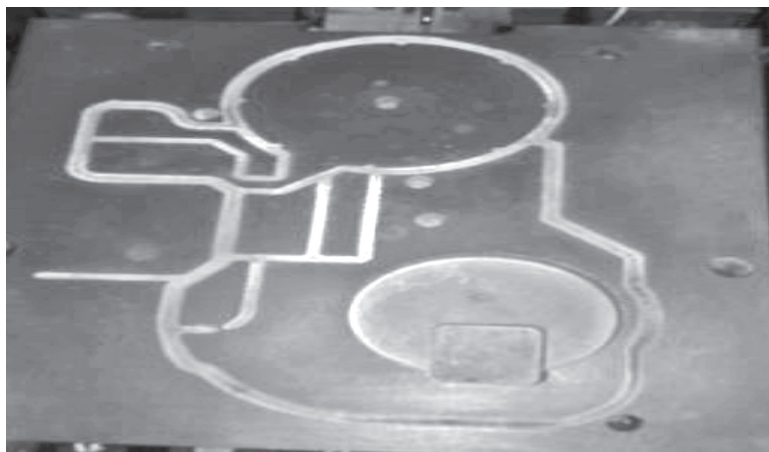


图 2 加热板脏污



图 3 焊缝脏污

2.4 壳体的变形程度

翘曲变形^[3]是塑料制品在注射工艺过程中,由于应力和收缩不均匀而产生的变形现象。产生原因有很多种,模具的结构、塑料材料的热物理性能以及注射成型过程的工艺参数均对制件的翘曲变形有不同程度的影响。实际生产中,上下壳体变形程度不一,变形量在 1.5 ~ 3mm 之间,如图 6 所示。将壳体放在大理石平台上,然后用塞尺测量壳体与大理石平台的缝隙大小,即可得知壳体的变形程度。壳体变形会使焊接后的工件产生附加应力,从而可



图 4 焊接面爆裂

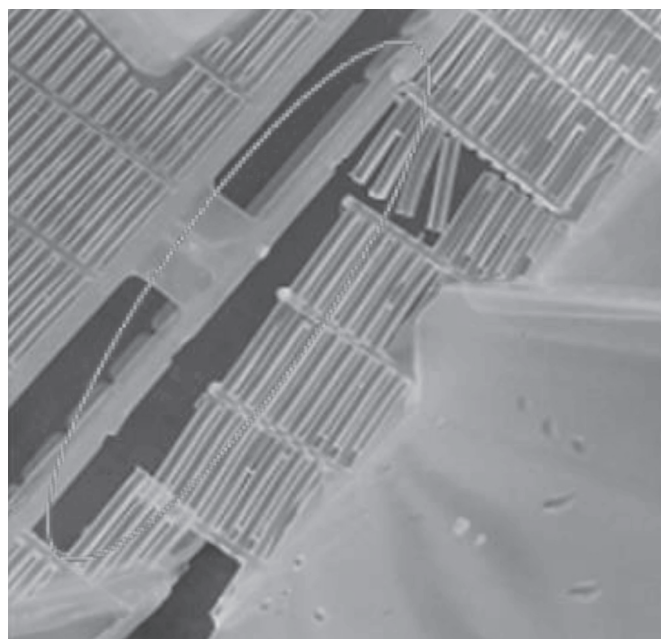


图 5 壳体内部爆裂

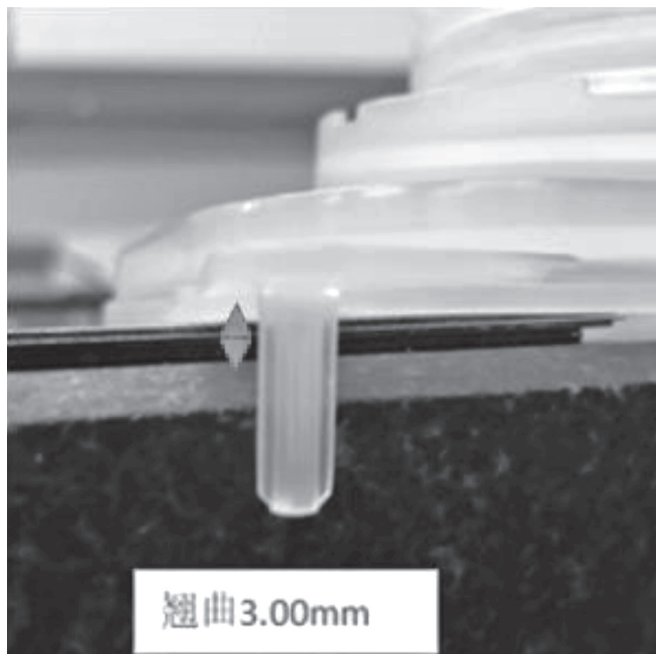


图 6 壳体变形

能会对焊接强度产生影响,所以需要对壳体的变形程度进行改善。

2.5 热板焊接参数

热板焊接机主要由伺服(或气压)传动部分、控制部分、电气部分、机台及热板模具和机械装置等组成。热板焊接机工作时,由 PLC 控制伺服控制器,伺服控制器控制伺服电动机动作,以带动加热板及模具系统移动,完成加压、保压等工作。控制部分由 PLC 和温度控制器组成,控制伺服(或气压)传动系统及塑料件的加热时间,使整个焊接过程实现自动化。电气部分主要分为加热板温度控制系统和上、下模板及加热板运动控制系统两部分。加热温度可以按照加热板加热温度要求,在温控器面板/触摸屏上预先设定和调节。机台、热板模具和机械装置部分运用滑板式结构,利用热传导方式将加热板热量传递给上、下塑料件,使其表面熔化,然后将加热板与塑料件分离,在伺服系统的作用下,使上下焊接件的熔接面迅速融合,在加压的情况下自然冷却固化而成为一体。整机为框架形式,由上模定位夹具、下模定位夹具和上下加热板三大模块组成。

通过上述热板焊接机的工作机理,推断热板焊接的重要工艺参数有加热板温度、零件在碰到加热板时的压力、加热时间或热熔时间、加热过程中零件的位移量、加热过程中的熔融压力、保压时间、加热之后上下零件合模的压力、上下零件合模持续时

间（固化时间）以及合模过程中零件的位移量。一般根据待焊材料的熔点来设定加热板温度，加热板温度一般比塑性材料^[4]熔点高30~100℃。由于产线节拍需要，使用的热板焊接为高温焊接，其加热板温度在300~400℃。由于是伺服系统，压力体现为转矩值，零件在碰到加热板时的转矩一般是2~8Nm，而且要保证零件和加热板的平面平行。由于零件存在不同程度的变形，因此该转矩需保证整个焊接表面和加热板表面接触，以得到良好的热传递效果；并且该转矩不能引起零件变形。加热过程的熔融转矩应低于第一阶段零件碰到加热板时的转矩，并能保证工件与加热板接触。如果熔融转矩太大，过量的熔融材料会被挤出焊缝，从而导致焊缝强度降低。加热之后上下零件的合模转矩，应使得在焊接面处的熔化材料适量，避免热料被挤出热影响区，只留下冷料形成焊接面。如果合模压力过小，空气就有可能侵入焊接面，限制分子在焊接面内的扩散，从而导致焊接面不牢固。

实际生产中，转矩控制可以通过检测焊接过程的参数（焊接位移）来实现；一般由伺服电机控制位移参数，不在设定范围内时，设备会报警并停留在当前工位。通过上述分析，焊接参数对焊接强度的影响很大，合理地制定焊接参数尤为重要。

3 原因验证及改进措施

3.1 加热板清洁度改进措施

制定规范的加热板清洁方法，使用全棉布将整个加热板表面按同一个方向擦拭一遍，然后用干净的棉布沿着加热板上焊接截面的路线顺时针轻轻擦拭一遍，再用干净的棉布在弯角处轻轻擦拭几遍。制定清洁频次，每班3次（开班前清理一次，中午休息一次，下午休息一次）或停线、换型、加热板粘料时进行清理。擦拭加热板的全棉布应保持清洁，每班更换一次或者在当班生产中处理粘料的情况下更换一次。清洁方法规范化、标准化之后，加热板状态及焊接面的脏污程度有明显改观，焊接面未见明显脏污。

3.2 工装的一致性检验及改进

调整成品焊接工位的工装，使焊接时左右半成品

工位及成品工位零件同时接触加热板，保证热熔深度的一致性，通常热熔深度为0.3~0.6mm。同时调整半成品工位工装，保证合模深度一致性，如图7所示，左侧上下工装实测高度值为91.69mm，右侧上下工装实测高度值为91.70mm。根据后续焊接高度尺寸发现，调整工装后，焊接成品尺寸一致性得到了改善。

但是出现了焊接错位的现象，为此继续调整焊接工装的位置。由于壳体的长宽不是绝对标准的，是有公差范围的，故通过试验制定焊接错位的标准。焊接完成后，挑选焊接错位最严重的部位，将其沿着垂直于焊接面的方向锯开。检查上下焊接面的接触情况，如图8所示，一般情况下，上下焊接面接触（ t/d ）达75%以上可接受，未达到75%为焊接错位。通过上述方法，将焊接错位调整至可接受范围内。

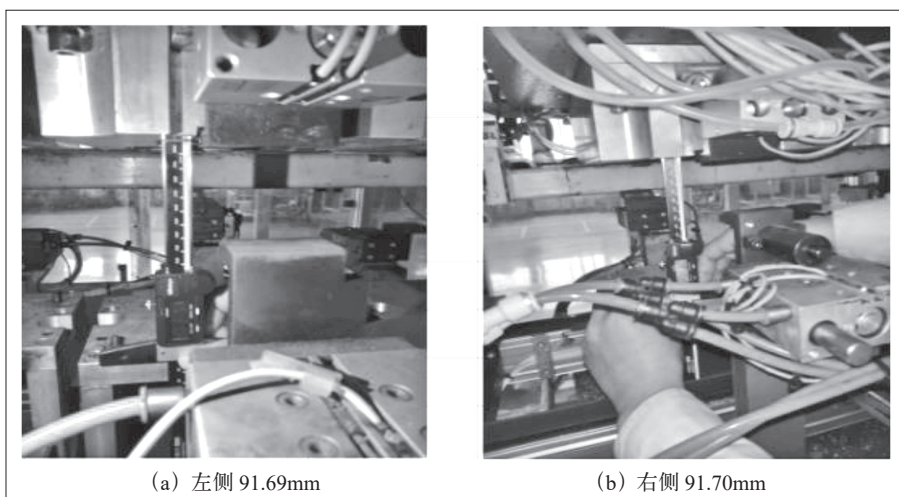


图7 工装调平

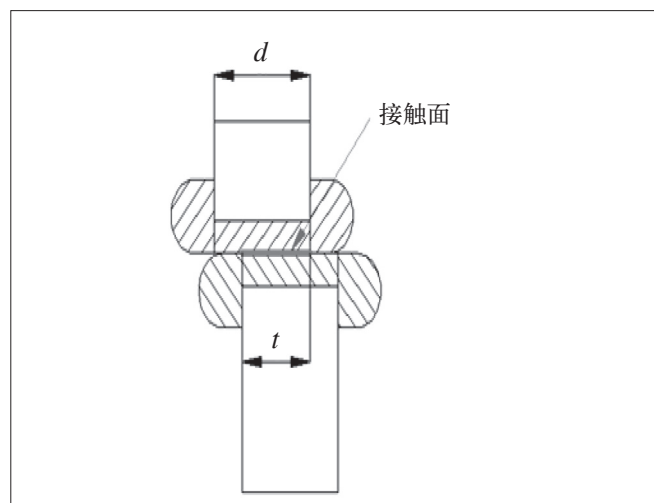


图8 焊接面接触示意图

针对焊接面爆破的壳体位置，观察发现在焊接设备的工装中，此位置没有支撑，导致焊接时受力不均匀。通过工装改良，在焊接工装上增加焊接支撑结构（图 9），可以使爆破位置承受焊接压力，从而提高焊接可靠性。



图 9 支撑结构

3.3 壳体的结构优化

通过模具优化过滤网处的结构，将直角结构改为圆角结构，如图 10 所示，圆角可破坏尖端效应。再次进行耐压爆破实验时，过滤网处爆裂的现象有明显改善，此处爆裂现象几乎消失、转为焊接面爆裂，并且爆破耐压值有明显提升。由于焊接面爆裂情况依然存在，需继续优化。

3.4 壳体的变形程度改善措施

适当提高模具温度，以降低注塑件的冷却速度，减小因激冷造成的温差变形，同时可降低分子定向排列的程度。增大射胶和保压压力，为满足生产节拍需求，适当延长射胶或保压的时间，使注塑件的尺寸增大，从而减小收缩量。采取上述方法，未能达到理想的效果，只有采取出模后整形的方法。在注塑机旁增加整形机构，如图 11 所示，注塑产品由机械手取出，然后机械手带着壳体在整形工装上进行整形，完成后由机械手将产品放到皮带线上。通过整形，上下壳体平面度控制在 1.5mm 以内，焊接后成品尺寸的一致性得到了改善。

3.5 热板焊接参数优化

对热板焊接的参数进行正交实验^[5]验证，用耐

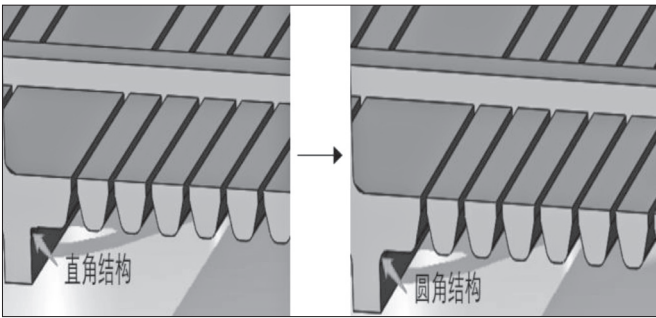


图 10 直角改圆角结构



图 11 整形机构

压爆破值作为考察指标，要求耐压爆破值越大越好。通过分析，影响耐压爆破值的因素有 3 个，即焊接温度、热熔时间和合模压力。根据以往经验，焊接温度在 260 ~ 320℃，热熔时间在 2 ~ 8s，合模压力在 2 ~ 8Nm。每个变量分别取三个水平因子，如表 1 所示；选择 L₉ (3⁴) 的正交表，如表 2 所示。

- 具体的实验步骤如下：
- （1）按正交表参数进行验证，选取同一批注塑件，将上壳体、中壳体和下壳体焊接好。
 - （2）焊接完成后，在实验室进行耐压爆破试验，并将耐压爆破值记录在表 2 中。

表 1 水平因子

水平	因子		
	A 焊接温度 /℃	B 热熔时间 /s	C 合模压力 /Nm
1	260	2	2
2	290	5	4
3	320	8	8

得到试验检测结果后, 需要进行正交优化方法的极差分析, 计算各因子每一个水平对 Y 的贡献, 以便得到最优组合。首先需要计算变量不同水平所对应的指标均值 K_i 和极差 R , 其中 i 为因子水平。极差 R 越大, 说明该因素对实验指标的影响越大, 即越重要。于是依据极差 R 的大小, 就可以判断变量的主次。极差分析的结果如表 3 与图 11 所示。

从表 3 可以看出, 热熔时间因素的极差 > 焊接温度因素的极差 > 合模压力因素的极差, 故可以判断热熔时间对于实验指标的影响 > 焊接温度对于实验指标的影响 > 合模压力对于实验指标的影响, 即显著因子排列为: B (热熔时间) > A (焊接温度) > C (合模压力)。

主效应图 (图 12) 可以更加直观地描述各因素对实验指标的影响程度。由于要求耐压爆破值尽可能大, 所以对同一列的均值 K_1 、 K_2 、 K_3 的大小进行比较, 选择最大的值所对应的参数作为最佳工艺参数的参考依据, 即最优因子水平组合为: A2、B2、C2, 最佳工艺参数为: 焊接温度 290℃, 热熔时间 5s, 合模压力 4Nm。经过为期半年的实际验证, 产品耐压爆破值的稳定性明显改善,

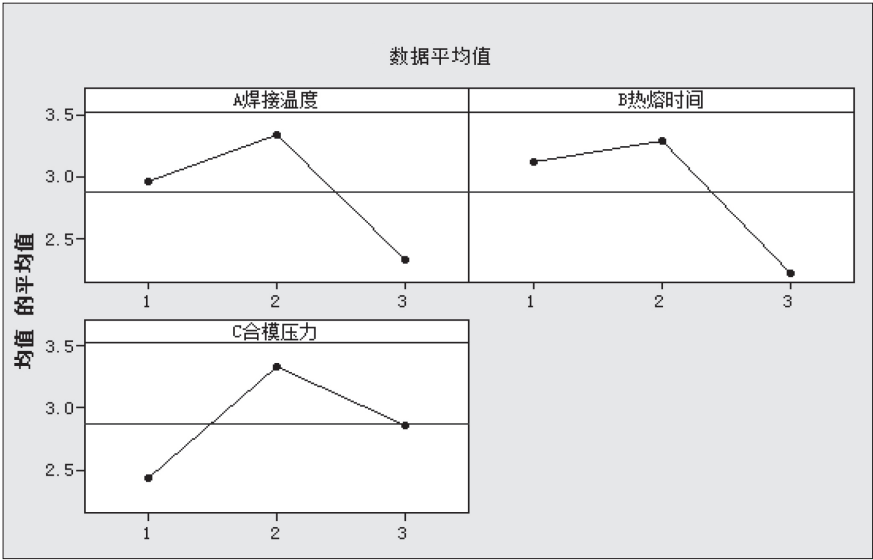


图 12 主效应图



图 13 改善后爆裂图

表 2 焊接参数正交实验表

试验号	列号			
	A 焊接温度 /℃	B 热熔时间 /s	C 合模压力 /Nm	Y 耐压爆破值 /Nm
1	1 (260)	1 (2)	1 (2)	2.456
2	1 (260)	2 (5)	2 (4)	4.852
3	1 (260)	3 (8)	3 (8)	1.576
4	2 (290)	1 (2)	2 (4)	3.312
5	2 (290)	2 (5)	3 (8)	3.432
6	2 (290)	3 (8)	1 (2)	3.256
7	3 (320)	1 (2)	3 (8)	3.581
8	3 (320)	2 (5)	1 (2)	1.568
9	3 (320)	3 (8)	2 (4)	1.825

焊接爆裂的位置也由焊接面转移至壳体, 如图 13 所示。

4 结语

通过优化加热板清洁工艺、调整焊接工装、优化

表 3 极差分析

项目	A 焊接温度 /℃	B 热熔时间 /s	C 合模压力 /Nm
K_1	2.961	3.116	2.427
K_2	3.333	3.284	3.330
K_3	2.325	2.219	2.863
R	1.008	1.065	0.903
等级	2	1	3

壳体结构及优化焊接参数，水软化器耐压爆破值趋于稳定，耐压爆破值> 2.5bar (1bar=0.1MPa)，Cpk 达 1.33 以上。综上所述，改进效果明显，极大地降低了由于耐压爆破不良导致的成品报废及市场反馈风险。

参考文献：

[1] 中国机械工程学会焊接学会. 焊接手册：第 2 卷 材料的焊接 [M]. 3 版. 北京：机械工业出版社，2014:1032-1035.
[2] 陈智明. 加强筋改善塑件变形的探讨 [J]. 模具制

造，2018, 18 (2) :44-48.
[3] 陈兰贞. 基于 CAE 技术的注塑件翘曲变形分析 [J]. 轻工机械，2006 (3) :27-30.
[4] 陶冶，高正一，张广胜，等. 材料成形技术基础 [M]. 北京：机械工业出版社，2002:37-39.
[5] 刘红，胡文豪，沈少祥. 车灯面罩热板焊接退火参数优化 [J]. 工程塑料应用，2019, 47 (5) :95-99.

作者简介：赵乐英 (1971.02-)，女，汉族，浙江绍兴人，本科，工程师，研究方向：机械设计；吴安娇 (1989.11-)，女，汉族，安徽芜湖人，本科，助理工程师，研究方向：机械设计。

广告征订



版位 Format	价格 Price (RMB)	版位 Format	价格 Price (RMB)
特殊版位 Specified Ads. Position		正常版位 Editorial Page	
封面	25,000	编辑页	10,000
封二	16,000	编辑页跨页	15,000
封三	12,000	1/2编辑页	5,000
封底	18,000	1/3编辑页	3,500
扉一	15,000	1/4编辑页	2,500
扉二	10,000		
后扉一	12,000		
后扉二	9,000		

注：所有特殊版位广告均为4C广告，正常版位广告均为黑白色；所有广告需提供成熟设计稿，如需编辑部制作需单独收费。

优惠说明：
在原价格基础上，连续预定3期，优惠**8%**；连续预定6期，优惠**15%**；连续预定12期，优惠**20%**；连续预定18期，优惠**30%**；连续预定36期，优惠**40%**。另，如提前一次性付款，可在享受优惠的基础上享受**8%**的额外折扣。

广告预定热线：010-6741 0664 / 1368 332 6370