

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2019.05.018

车灯面罩热板焊接退火参数优化

刘红,胡文豪,沈少祥

(浙江工业大学机械工程学院,杭州 310014)

摘要:针对车灯面罩热板焊接容易在面罩上产生残余应力而影响车灯质量的问题,研究优化退火工艺参数降低残余应力的效果。通过建立以退火温度及退火时间为优化变量的车灯面罩热板焊接的优化模型,设计正交试验表,将车灯面罩按照试验表中的参数组合分别进行退火实验,并对退火完成之后的试件残余应力检测。采用极差分析法对测得的结果进行数据分析,得到退火工艺的优化参数组合。将此优化组合的退火工艺测得的残余应力与退火之前的残余应力进行对比,结果显示面罩在优化参数的退火实验后残余应力明显降低,表明了优化参数对降低残余应力有显著的效果。

关键词:热板焊接;正交试验;极差分析

中图分类号: U 664.5 ; TH 138.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2019)05-0095-05

Optimization of Annealing Parameters for Lens of Vehicle Lamp with Hot Plate Welding

Liu Hong, Hu Wenhao, Shen Shaoxiang

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

Abstract : The effect of reducing residual stress through the reasonable annealing process parameters was studied to the question of lamp quality problem caused by residual stress in lens due to the hot plate welding. The hot plate welding optimization model of lens of vehicle lamp using the annealing temperature and annealing time as optimization variables was established. Orthogonal experiment table was designed, the annealing tests were carried out according to the parameters combination from the table for lens of vehicle lamp, and the residual stress in lens after annealing tests was measured. Using the differential analysis to analyze the results of the tests, the optimization combination for parameters was selected. Compared with the residual stress before annealing, the residual stress is significantly lower after annealing using the optimization combination, which proves that the annealing process is effective in reducing the residual stresses.

Keywords : hot plate welding ; orthogonal experiment ; differential analysis

汽车尾灯的装配一般采用热板焊接工艺,而塑料件的热板焊接容易产生影响表面质量的缺陷。焊接过程的不均匀温度场是产生焊接应力和变形的原因,因此需要研究焊接过程的温度场变化。

阳代军等^[1]研究了聚乙烯管道热熔对接焊的工艺参数对焊接接头的影响,通过正交试验法对焊接的工艺参数进行优化,进而对焊件做拉伸试验,发现加热板温度和焊接压力对焊接接头性能的作用特别显著,加热时间对焊接接头性能的作用显著,而压焊时间对焊接接头性能的作用不显著。花丹红等^[2]

研究了汽车车灯热板焊接过程中的残余应力。通过载荷法比较车灯面罩在焊接完成后的残余应力和退火后的残余应力分布,比较实验测量得到的数据发现车灯面罩在热板焊接后进行退火可以有效降低残余应力。N. Friedrich 等^[3]对比研究了不同冷却方式对热板焊接的焊缝质量的影响,采用压缩空气对流缩短热板焊接的冷却时间,并发现冷却方式对热板焊接的强度无影响,但是会影响焊接的残余应力。E. Taskiran 等^[4]通过实验对比了用云母石和方解石作为填充材料的聚丙烯(PP)板的热板焊接强度,

通讯作者: 刘红,博士,教授,主要从事 CAE 方面的研究 E-mail:14130474@qq.com

收稿日期: 2019-02-26

引用格式: 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.

Liu Hong, Hu Wenhao, Shen Shaoxiang. Optimization of annealing parameters for lens of vehicle lamp with hot plate welding[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(5):95-99.

通过拉伸强度检测得出 PP 板的最佳焊接温度和加热时间。H. Potente 等^[5]建立了一种温度和应力的计算模型。发现车灯内组件自身存在的固有应力是引起开裂的主要原因。刘红等^[6-7]对注塑件去应力常见方法——退火过程及车灯装配的热板焊接工艺进行仿真模拟,发现仿真结果可以很好地反映残余应力的变化情况。

如何降低塑料焊件的焊接残余应力一直是一个比较热门的课题。在目前的工程应用中,比较常见的是采用热处理的方法来实现,即退火处理^[8-14]。笔者研究如何对退火工艺进行优化以降低车灯面罩的热板焊接残余应力。

1 退火热处理工艺及优化模型

1.1 退火处理方法

退火是指在加热介质中先将温度上升至一定温度(该温度被称为退火温度),将制件在此温度下保持一定时间,然后缓慢冷却到室温。退火温度一般认为在玻璃化转变温度以下 10~20℃。在升温过程中,若温度接近材料的玻璃化转变温度,可使聚合物一些分子链段重新排列,由于材料的黏弹性使得原有的应力得到松弛,进而减少残余应力^[6]。所以聚合物去应力退火热处理可利用其在接近玻璃化转变温度下极高的蠕变和应力松弛特性,从而减小内部残余应力,提高产品尺寸稳定性。

1.2 退火优化模型

优化方法的基础是建立优化数学模型,核心是求解优化数学模型的方法。为此建立了减少制件残余应力为目标、退火温度与退火时间 2 个退火工艺参数为优化变量的退火优化模型。

$$\begin{cases} \min F(X) \\ \alpha_i \leq g_i \leq \beta_i, i = 1, 2 \end{cases} \quad (1)$$

式中: $F(X)$ 是制件残余应力函数; X 是 2 维优化变量矢量,即退火温度与退火时间,表示为 $X^T = (x_1, x_2)$; 不等式约束是优化变量退火温度与退火时间的可取值范围。

由于 $F(X)$ 的具体形式未知,因此采取数值求解方法,笔者采用正交优化方法,可以通过较少的分析次数获得各个因素对于优化目标的影响显著性大小和规律,根据优化结果得出最优的变量因素组合^[8]。

2 退火工艺的优化分析

2.1 残余应力检测的载荷法

载荷法,是一种非破坏性的表面残余应力测量

方法,具有不破坏被测构件且检测成本较低的优点^[9]。其原理是对构件在有残余应力的区域施加载荷,即对构件叠加一个载荷应力场,通过应变实验检测叠加后的应力(称为实验应力),从而得到残余应力。在弹性范围内,设构件有残余应力 σ_a ,外加载荷应力为 σ_b ,则构件的残余应力为 $\sigma_a = \sigma_c - \sigma_b$, σ_c 为残余应力与载荷应力叠加之后的实验应力。此处的应力是应力张量,设注塑件表面残余应力为 $\sigma_{ax}, \sigma_{ay}, \sigma_{axy}$,外加载荷引起的载荷应力为 $\sigma_{bx}, \sigma_{by}, \sigma_{bxy}$,实验测量得到的实验应力为 $\sigma_{cx}, \sigma_{cy}, \sigma_{cxy}$,则应力叠加是在各个方向上分别叠加,即:

$$\begin{cases} \sigma_{cx} = \sigma_{ax} + \sigma_{bx} \\ \sigma_{cy} = \sigma_{ay} + \sigma_{by} \\ \sigma_{cxy} = \sigma_{axy} + \sigma_{bxy} \end{cases} \quad (2)$$

2.2 退火实验

在实际的面罩检测件中,对加载点与检测点分别进行标记,贴 45° 应变花之后,接线连接到应变仪中,使用加力计在加载点处沿着垂直于试件表面的方向施加一定的载荷,其大小与 ANSYS 分析时力的大小保持一致。通过读取应变仪的数据可以得到三个不同方向应变片的应变变化值, $\varepsilon_0, \varepsilon_{45}, \varepsilon_{90}$, 其中 ε_0 为与水平轴线平行的应变片的应变测量值, ε_{45} 和 ε_{90} 分别为与水平轴线成 45° 和 90° 的应变测量值,通过 (3) 可以得到 σ_c 。

$$\begin{cases} \sigma_{cx} = \frac{E}{(1+\mu)(1-2\mu)}[(1-\mu)\varepsilon_0 + \mu\varepsilon_{90}] \\ \sigma_{cy} = \frac{E}{(1+\mu)(1-2\mu)}[(1-\mu)\varepsilon_{90} + \mu\varepsilon_0] \\ \sigma_{cxy} = \frac{E}{2(1+\mu)}(\varepsilon_0 + \varepsilon_{90} - 2\varepsilon_{45}) \end{cases} \quad (3)$$

式中: E 为弹性模量; μ 为泊松比。

车灯面罩热板焊接后进行退火实验时,退火温度 (C) 在 70~80℃,退火时间 (D) 一般取 10~20 min。每个变量分别取 3 个水平因子,设计的正交实验表格如表 1 所示。

表 1 退火参数正交表

水平	C/℃	D/min
1	70	10
2	75	15
3	80	20

根据表 1 进行实验分析,具体的实验步骤如下:

(1) 选取灯罩试件,同样借助红外线装置在灯罩表面对检测点 A1, A2 和加载点 B1, B2 进行标记,

如图 1 所示。焊接完成之后,将灯罩焊接后的试件放入退火炉,当完成退火之后,将车灯灯罩从退火炉中取出。

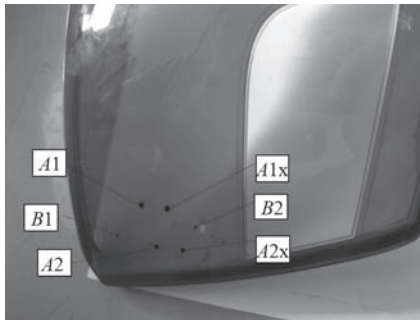


图 1 退火实验面罩上定点

(2) 将退火后的灯罩试件放置在固定装置上,在 A1, A2 处粘贴敏感栅为 5 mm×3 mm 的 45° 应变花,采用 1/4 桥路接线法,温度补偿采用桥路补偿法。之后借助加力计在灯罩表面的 B1 或 B2 处施加 40 N 的载荷力,并且保证所加力的方向垂直于灯罩表面。读取应变值,利用公式 (3) 计算得到应力值,如表 2 所示。

得到表 2 的实验检测结果后,需要进行正交优化方法的极差分析,以便得到优化组合。

首先需要计算变量取不同水平所对应指标均值 K_i 和极差 R ,其中 i 为因子水平。 R 越大,说明该因素对试验指标的影响越大,因此也就越重要。于

表 2 退火后各点实验应力

实验编号	C/℃	D/min	A1 点			A2 点		
			σ_{cx}/MPa	σ_{cy}/MPa	σ_{cxy}/MPa	σ_{cx}/MPa	σ_{cy}/MPa	σ_{cxy}/MPa
1	70	10	-0.93	-1.24	0.09	-1.37	-2.75	-0.67
2	70	15	-1.03	-1.25	0.01	-0.97	-1.56	-0.23
3	70	20	-1.19	-1.33	0.17	-0.81	-1.81	0.06
4	75	10	-0.81	-1.05	-0.05	-0.84	-1.86	-0.56
5	75	15	-1.08	-1.27	0.05	-0.98	-2.37	-0.42
6	75	20	-0.98	-1.37	0.14	-0.84	-2.43	-0.30
7	80	10	-1.02	-1.23	-0.04	-0.62	-2.23	0.05
8	80	15	-1.01	-1.41	-0.10	-0.76	-2.27	-0.16
9	80	20	-1.06	-1.34	0.03	-0.76	-2.04	-0.23

注:正数代表拉应力,负数代表压应力,下同。

是依据极差 R 的大小,就可以判断变量的主次。

由于应力 σ 中包括 3 个应力分量,即 $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_{xy}$,故在极差分析时,采用线性加权的方法进行分析,三者的地位相等,加权系数都是 1/3。

但是表 2 给出的只是实验应力,而优化分析的指标是残余应力。根据载荷法的计算基本公式 $\sigma_a = \sigma_c - \sigma_b$,由于 σ_b 相等,可以得到:

$$\sigma_{ai} - \sigma_{aj} = \sigma_{ci} - \sigma_{cj} \quad (4)$$

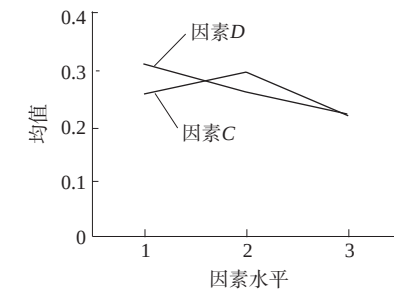
式中: i, j 分别表示某一组实验。

这样可以在不需要计算检测点残余应力的情况下,仅根据实验获得的应力便可以得到极差。

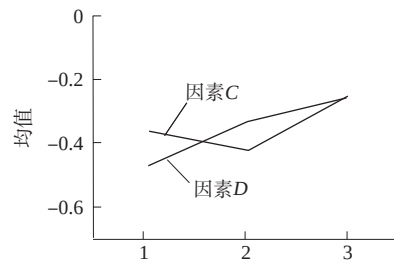
对表 2 中 2 个检测点 A1, A2 的数据进行极差分析,得到的结果如表 3 与图 2 所示。

表 3 极差分析

项目	A1 点		A2 点	
	C	D	C	D
K_1	0.27	0.31	-0.37	-0.45
K_2	0.30	0.26	-0.42	-0.32
K_3	0.24	0.24	-0.25	-0.26
R	0.06	0.07	0.17	0.19
优水平	C3	D3	C3	D3
优组合	C3D3		C3D3	



(a)



(b)

a—A1 点; b—A2 点

图 2 检测点 A1, A2 各因素影响趋势图

从表 3 可以看出,时间因素的极差大于温度因素的极差,故可以判断时间对于试验指标的影响大

于温度的影响。

图2可以更加直观地描述因素对试验指标的规律。由于要求残余应力的数值要尽可能小,所以对均值 K_1 , K_2 , K_3 三者的绝对值进行对比,选择最小值所对应的参数作为最佳工艺参数的参考依据,即选择温度80℃和时间20 min为最佳工艺参数。

结合图2可以看到,点A1和A2处的实验指标均值的变化趋势走向基本是一致的。温度因素C的平均值的绝对值先增加后减小。时间因素D的平均值的绝对值一直减小。从因素D的变化趋势来看,随着时间的延长,应力均值下降,说明在退火温度合适的情况下,退火时间的加长,对残余应力的释放有很好的促进作用。但是考虑到实际生产的效率问题,退火时间不宜过长,要控制在一个合理的范围内,以保证实际生产效率。

这样可以得到优化组合工艺的残余应力张量如下:

$$A1 \text{ 点: } \begin{pmatrix} 0.10 & -0.48 \\ -0.48 & 1.05 \end{pmatrix} \text{MPa}$$

$$A2 \text{ 点: } \begin{pmatrix} -0.41 & -0.50 \\ -0.50 & -0.15 \end{pmatrix} \text{MPa}$$

而优化前的实际退火工艺之后的面罩残余应力为:

$$A1 \text{ 点: } \begin{pmatrix} 0.23 & -0.42 \\ -0.42 & 1.15 \end{pmatrix} \text{MPa}$$

$$A2 \text{ 点: } \begin{pmatrix} -1.02 & -0.94 \\ -0.94 & -0.56 \end{pmatrix} \text{MPa}$$

由此可见,经过退火处理之后,车灯试件表面的残余应力得以降低。通过最佳退火工艺参数组合得到应力与实际生产得到的应力对比,可以看到正交优化得到的优化参数组合可以进一步减少面罩的残余应力。

3 结语

基于残余应力检测的载荷法采用正交优化方法对车灯面罩热板焊接的去应力退火工艺进行了优化分析。通过建立车灯面罩热板焊接的优化模型、正交优化方法进行求解,得到最优的工艺参数,并对退火后的试件进行残余应力检测,发现试件的残余应力得以降低。

参考文献

[1] 阳代军,霍立兴,张玉凤. 聚乙烯管道热熔对接焊工艺参数对焊接接头性能的影响[J]. 焊管,2004,27(1):17-20.

Yang Daijun, Huo Lixing, Zhang Yufeng. Effect of technological parameters of butt fusion welding on welded joint performance of polyethylene pipes[J]. Welded pipe,2004,27(1):17-20.

[2] 花丹红,陈先立. 车灯灯罩生产过程中残余应力的控制[J]. 塑料工业,2014,42(12):52-54.

Hua Danhong, Chen Xianli. Control on residual Stress in the lens production of automotive lamp[J]. China Plastics Industry,2014,42(12):52-54.

[3] Friedrich N, Hoffschlag R, Schöppner V, et al. Cycle time reduction by forced air cooling for hot plate welding[J]. Welding in the World,2012,56(3):101-107.

[4] Taskiran E, Sayer S, Ozes C, et al. Effect of process parameters and talc ratio on hot plate welding of polypropylene[J]. Materialwissenschaft Und Werkstofftechnik,2015,46(8):860-872.

[5] Potente H, Schnieders J, Bornemann M. Theoretical model for the one-dimensional temperature and stress calculation of simple hot plate welded geometries[J]. Macromolecular Material and Engineering,2002,287:843-853.

[6] 刘红,陈先立,蒋兰芳,等. 注塑件去应力过程数值模拟[J]. 塑料工业,2013,41(9):60-63.

Liu Hong, Chen Xianli, Jiang Lanfang, et al. Numerical simulation on reducing residual stress methods of injection molding products[J]. China Plastics Industry,2013,41(9):843-853.

[7] 刘红,胡文豪,杨梦,等. 车灯面罩热板焊接应力场 CAE 模拟[J]. 塑料工业,2018,46(11):68-71,88.

Liu Hong, Hu Wenhao, Yang Meng, et al. CAE simulation for stress field of lens of vehicle lamp with hot plate welding[J]. China Plastics Industry,2018,46(11):68-71,88.

[8] 方开泰,马长兴. 正交与均匀试验设计[M]. 北京:科学出版社,2001.

Fang Kaitai, Ma Changxing. Orthogonal and uniform design[M]. Beijing:Science Press,2001.

[9] 刘红,蒋兰芳,陈先立. 注塑件残余应力的载荷测量法[J]. 上海交通大学学报,2016,50(2):241-245.

Liu Hong, Jiang Lanfang, Chen Xianli. Loading measurement method for residual stresses of injection-molded part[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University,2016,50(2):241-245.

[10] 刘红,沈少祥,蒋兰芳,等. 基于 Fluent 的船用防爆阀降压特性研究[J]. 机电工程,2018,35(10):1053-1057.

Liu Hong, Shen Shaoxiang, Jiang Lanfang, et al. Pressure-loss characteristics of marine explosion-proof valve based on fluent[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering,2018,35(10):1053-1057.

[11] 刘红,沈少祥,闫凡. 基于仿真分析的船用防爆阀阻燃片优化研究[J]. 机电工程,2017,34(6):562-566.

Liu Hong, Shen Shaoxiang, Yan Fan. Optimization on flame arrester sheet of explosion proof valve based on simulation

- analysis[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2017,34(6):562-566.
- [12] Kim G, Kim T, Jeong S. A study on thermal characteristics according to thermal contact resistance in hot plate welding process[C]. IEEE International Symposium, 2009.
- [13] 沈惠玲,赵梓年. 热板焊接的参数优化及质量控制 [J]. 中国塑料, 2000(5):56-60.
- Shen Huiling, Zhao Zinian. Parameter optimization and quality control of hot plate welding[J]. China Plastics, 2000(5):56-60.
- [14] 谷侃锋,霍立兴,张玉凤,等. 塑料热板焊接传热的解析模型 [J]. 中国塑料, 2003(6):70-73.
- Gu Kanfeng, Huo Lixing, Zhang Yufeng, et al. Mathematical model for heat transfer in heated tool butt welding of plastics[J]. China Plastics, 2003(6):70-73.

投稿须知

1 稿件内容

稿件应注重科学性、实用性及时效性,要求技术新颖,论点明确,论据可靠,数据准确,文字通顺、简练。稿件内容必须真实,避免抄袭,请作者文责自负。引用他人成果时,请按《著作权法》有关规定说明出处。内容应未曾发表过或被其他出版物刊载过,且无一稿多投。

2 稿件要求

凡属于重大科技获奖的论文和重点项目资助的论文,请在来稿第一页注明名称及批准号,本刊将优先刊登。

(1) 题目、作者署名及单位。题目力求简明、醒目,反映出文章的主题,一般不超过 20 个汉字。作者姓名在题目下按序排列,不同工作单位的作者,应在姓名右上角加注阿拉伯数字序号。作者单位须写全称并注明省份、城市和邮政编码。联系人信息(包括姓名,学历或职称,主要研究方向)注在第一页下方。

(2) 摘要及关键词。论文需要同时提供中文和英文摘要,摘要以提供论文的内容梗概为目的,不加评论和补充解释,应简明、确切地论述研究目的、原理和结论,具有相对独立性。中文和英文摘要均要求采用报道性摘要类型。具体要求:中英文摘要均为一段式,内容比较具体,一般需要列举关键数据。中英文摘要内容基本一致,中文摘要以 200~300 字为宜,英文摘要可略详。关键词要求 3~8 个。

(3) 正文。正文各部分都应简洁明了。层次标题一律用阿拉伯数字连续编号,尽量减少层次;不同层次的数字之间用小圆点相隔,末位数字不加标点符号。如“1”,“1.1”等。文中量、单位及符号的使用应符合国际标准和国家标准。

(4) 图表。图表要设计合理,简单自明。每一幅图都应有图序和简短确切的图名,纵横坐标均要注明物理量及其单位,线条图要用矢量格式的图,或将 *.opg, *.dwg, *.eps 等格式的图打包压缩随投稿一起上传。表格请使用三线表,每一表格都应有表序和简短确切的表题。图表标题一律用中文表达。

(5) 参考文献。以作者亲自阅读过的主要原始文献为限,不可引用非公开出版或发表的文献,不能引用其他文章中引用的但未经核对原文的文献,要注意引用最新的文献。参考文献要有一定的数量,研究性论文至少 16 篇。参考文献的著录按文章中引用的顺序依次排列,中文参考文献要有对照英文部分(英文部分不编号)。无论中外文的作者,一律采用姓前名后的形式著录;作者不超过 3 人时可全部著录,超过 3 人时,只著录前 3 位,其后加“等”或“et al”。综述类论文的参考文献著录项目适当简化,可参见本刊相关栏目文章样式。作者对所引文献的准确性和完整性负责。

3 投稿方式

请作者登陆杂志社网站 <http://www.epa1973.net>, 点击“作者投稿”后投稿。来稿请注明详细地址、电话、邮箱等信息,便于通知联系。一般一个月左右可以查询稿件审理意见,超过 3 个月未收到修改意见或回复的可自行处理。

4 注意事项

为适应我国信息化建设需要,扩大学术交流渠道,本刊已编入国内外著名数据库。稿件一经录用,将同时被数据库收录,作者著作权使用费与本刊稿酬一次性给付。如作者不同意收录,请在投稿时声明,否则将视为同意。