

基于六西格玛设计的 D 柱流水槽工艺优化与质量提升

黄丹 何柳 陆德利

(上汽通用五菱汽车股份有限公司 广西 柳州 545007)

摘要: 本文主要介绍六西格玛设计对 D 柱流水槽的工艺及质量进行提升的系统方法。本文通过对六西格玛设计的核心内容 DFSS 进行介绍,以六西格玛设计优化提升 D 柱流水槽工艺及质量为例,分析并探讨了每一阶段的方法及使用的工具,研究了 DFSS 在汽车制造行业中的应用。

关键词: 六西格玛设计; D 柱流水槽; 工艺; 质量

0 引言

D 柱流水槽二级表面,目前都是采用点焊,焊接后焊点印记明显,影响静态感知质量,严重影响下线合格率与生产效率,增加下线后返修成本。同时受到造型的影响,该处的焊接翻边比较长,需要确保有足够的焊接空间,从而造成材料利用率低、零件成本高。本文引入六西格玛设计事先进行控制^[1],对设计进行优化,寻找一种合适的工艺,既可以提升 D 柱流水槽的静态感知质量,统一平台化设计,同时又能降低材料的成本。

六西格玛起源于统计原理,最先由美国摩托罗拉公司提出,是指通过聚焦于目标,并通过一系列的相关工具来识别问题、分析问题和解决问题的一种规范化的系统工程。六西格玛是通过严谨的流程和科学的方法,实现公司流程的突破和设计的创新,以“零缺陷”为目标,消除浪费,提高品质、提升效率,提升顾客满意度和忠诚度^[2]。六西格玛面向顾客和利益相关方的需求,从源头上进行稳健性设计,实现高品质产品和服务。

本文介绍了六西格玛设计 DFSS (Design for Six Sigma) 在某主机厂中的应用,用于优化 D 柱流水槽的工艺及质量。六西格玛设计可以评估当前的制程能力水平和预测异常发生的概率,从而提前采取对应的措施来减少质量问题,将疲于奔命的救火状态中的被动者转换成问题解决的主导者,更加关注于产品价值的增强,推进客户满意度和忠诚度的提升^[3]。

1 六西格玛设计的流程

六西格玛设计包含有识别 (Identify)、定义 (Define)、开发 (Develop)、优化 (Optimize) 和验证 (Verify) 5 个阶段^[4]。通过该流程对项目课题的选取、项目的展开、目标确定、设计进行优化改善及验证,它的每个阶段都有对应的分析工具,在面对复杂问题时,能够通过数据进行直观证明,而不是单纯依靠经验,从而降低后续的质量改进提升的成本。

1.1 识别 (Identify)

该阶段的主要任务是识别问题,包含项目的来源、项目的范围、项目团队的组建、项目利益相关方的识别、项目的清晰输出及项目的计划制定。可以使用项目任务书、项目定义树、项目收益图等工具开发一个能够实现的目标和计划。

1.2 定义 (Define)

定义阶段是六西格玛设计的第二个阶段,主要任务是定义问题、客户需求,同时将客户需求转化为功能指标。功能指标是后续优化、验证的方向和基础。这个阶段的目标是开发出经得起推敲的功能参数来推动满足客户需求的解决方案,可以使用 VOC 亲和图、卡诺模型、质量屋等工具。

1.3 开发 (Develop)

开发阶段是针对定义阶段梳理出的设计参数进行调整、形成方案,可以使用有限级矩阵、TRIZ 等工具进行多层次的演绎分析,利用量化评估方法识别关键顾客需求,并逐层地转化为产品的设计需求、零部件特性和工艺要求。设计开发阶段的目标是用

证据找出既能够满足在定义阶段识别的功能参数需求，又能满足业务需求的最好的设计概念。

1.4 优化 (Optimize)

设计优化是针对需要优化的参数，采用 P-Diagram、试验设计、响应分析等工具进行数据分析、预测和确认功能性和稳健性，优化产品及流程，进行稳健设计和参数设计。优化阶段的目标是有效率地找到所需的证据来支持决定，找到稳健设计的解决方案。

1.5 验证 (Verify)

验证阶段是 DFSS 的最后一个阶段，是通过实际生产来进行设计验证^[5]，验证顾客的需求是否得到满足并提供实施计划。

2 DFSS 优化提升 D 柱流水槽的工艺及质量

2.1 识别阶段

D 柱流水槽二级表面，目前都是采用电阻点焊进行焊接，焊后焊点印记明显，见图 1。目前采用垫铜板的方式进行焊接（图 2），焊接后的外观面效果比普通电阻焊好，但是焊接痕迹仍存在（图 3），且焊接质量不稳定，容易出现虚焊。



图 1 未垫铜板的焊接效果

2.2 定义阶段

定义阶段是实现用户域—功能域—物理域—制造域的功能转换。了解客户的需求，并将客户的非专业描述向产品的关键功能要求进行转化，而关键功能的实现需要有关键技术来进行支撑，需要再继续深挖剖解关键参数指标——制造流程的控制技术参数，如表 1 所示。



图 2 垫铜板进行焊接



图 3 垫铜板焊接的效果

表 1 客户需求的定义转化

客户需求	技术要求	设计特性	技术参数
焊缝外观面良好	焊接面光滑	点焊 + 铜板	焊接电流、电压，铜板定期打磨 / 更换
		阿普拉斯	凸台的尺寸、焊接的电流及压力
		等离子弧焊	焊接电流、电压，焊接速度、送丝速度、气体流量
		激光焊	功率、送丝速度、焊接速度、热丝电流
质量	强度	牢固	焊接接头强度 > 100N/mm
	密封	点焊 / 阿普拉斯焊	采用涂装涂胶密封，不允许漏气漏水
		等离子弧焊 / 激光钎焊	利用焊缝进行密封，不允许漏气漏水
工艺标配	平面搭接	不增加额外 / 特殊工序	运行成本越低越好

2.3 开发阶段

目前侧围外板与D柱流水槽通过增加铜板来实现电阻点焊,但是存在如下问题:受到造型的影响,焊接翻边长度 $\geq 16\text{mm}$,同时铜板的使用虽然减少了焊点印记的深度,但是会造成运行成本增加,且铜板在使用的过程中会存在磨损,导致贴合面差,从而引起虚焊,造成质量缺陷。

利用普氏矩阵评估不同概念设计方案,如表2所示,进行分析,找出能够满足客户需求的最好选择。同时也需要从成本、时间、风险/技术成熟性、设计的复杂性、对其他系统的依赖性等各业务标准进行对比分析,增强好的属性,改进比较弱的环节,不停寻找新的创意和优化现有的创意。

2.4 优化设计

通过前一个阶段的分析可知,等离子弧焊、激光焊这两个设计方案更优,需要使用P-Diagram进行下一步分析,通过建立D柱流水槽的焊接方式系统,以这个系统输出的强度为衡量指标,来决定方案的好坏。在镀锌板、裸板两种情况下来分辨方案的优劣,将等离子弧焊、激光焊作为这个系统的决定因子,在零件间隙的噪声因子下,可以得出两种方案的焊接接头的抗拉强度,如图4所示。从投入成本、运行成本及前期的方案数据对比来看,最优的方案为激光焊,使用成本对比如图5所示。

对激光焊进行试验设计,选择焊接功率、焊接速度、离焦量、保护气体作为控制因子,如表3所示,

表2 开发设计方案

概念	描述	设计要求	焊接质量	工艺要求
电阻焊	通过压紧工件的上下电极电流产生的电阻热量,将其电极压紧处的工件熔化,然后使压紧工件间的熔化金属结合为一体	保证焊点位置的准确及均匀,焊接过程无飞溅、焊穿等质量缺陷,焊接质量及焊点外观质量符合要求	①接头承受的最大拉剪力为5.3kN; ②接头焊缝区组织松散不均匀,晶粒变形不均匀,易产生应力集中	①焊接的翻边长度要保证在16mm以上,同时翻边角度 $> 87^\circ$; ②焊接面为平面
点焊+铜板	在夹具单元追加铜板,电阻焊的电极跟铜板接触,减小钣金上的焊点压痕的深度		①接头强度跟普通电阻焊相同; ②容易存在虚焊	等同于电阻焊
阿普拉斯焊	以电阻焊为基础,通过平头式电极帽进行焊接,能够减少热影响区,所以传统电阻焊中存在的热应力在阿普拉斯焊中几乎不存在,因此焊后工件表面没有压痕印记,整体美观性好		①焊接质量的强度等同于电阻焊强度; ②外观面无压痕	①零件搭接间隙 $\leq 0.5\text{mm}$; ②电极覆盖范围内高低差 $\leq 0.1\text{mm}$; ③在凸台长度方向上,曲率半径 $\geq 150\text{mm}$; ④搭接料厚度差异控制在40%左右
等离子弧焊	在惰性气体的保护下,采用高密度能量的等离子弧来加热熔化母材,从而形成焊接接头的一种熔焊方法		焊接质量等同于激光钎焊	等同于激光焊
激光焊	将高能量激光聚焦于一点,激光束照射在两个待焊接工件的搭接处,激光的能量将金属加热至融化状态,以完成焊接 ^[5]		①主导板厚0.7mm时,两个焊点间的最小间隙为19mm,熔宽2mm时,激光焊接头承受的最大拉剪力为9.06kN; ②焊接头区有较细密的铁素体和较高的错位密度,在细晶强化和错位强化的综合作用下,提高了接头的强度和韧性	①焊缝X方向的波动范 $\leq 1\text{mm}$; ②焊缝Y方向的波动范 $\leq 1\text{mm}$; ③焊缝Z方向的波动范 $\leq 2\text{mm}$; ④焊缝间隙0.1~0.4mm

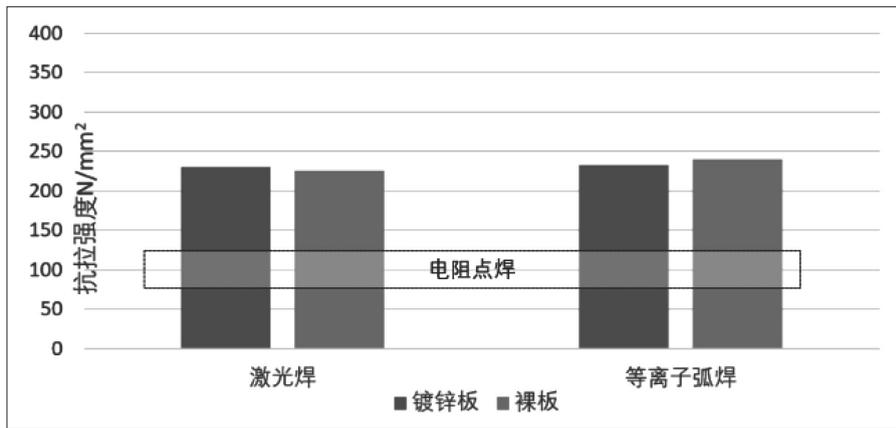


图4 焊接接头抗拉强度对比

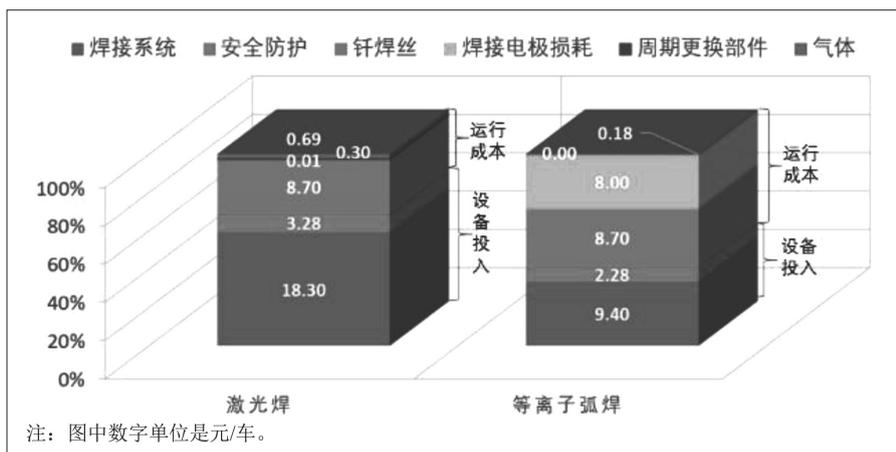


图5 成本对比

表3 控制因子和水平的选择

控制因子		1	2	3
A	焊接功率 /W	1600	1800	2000
B	焊接速度 / (m/min)	1.1	1.4	1.7
C	离焦量 /mm	-0.2	0	0.2
D	保护气体 / (L/min)	5	10	15

表4 正交列表试验数据结果

序号	A	B	C	D	A	B	C	D	试验结果
1	1	1	1	1	1600	1.1	-0.2	5.0	1.90
2	1	2	2	2	1600	1.4	0.0	10.0	2.20
3	1	3	3	3	1600	1.7	0.2	15.0	2.25
4	2	1	2	3	1800	1.1	0.0	15.0	2.20
5	2	2	3	1	1800	1.4	0.2	5.0	2.10
6	2	3	1	2	1800	1.7	-0.2	10.0	2.55
7	3	1	3	2	2000	1.1	0.2	10.0	2.05
8	3	2	1	3	2000	1.4	-0.2	15.0	2.40
9	3	3	2	1	2000	1.7	0.0	5.0	2.45

表5 试验数据的极差分析结果

序号	因素				试验结果
	焊接功率	焊接速度	离焦量	保护气体	
试验 1	1	1	1	1	1.9
试验 2	1	2	2	2	2.2
试验 3	1	3	3	3	2.25
试验 4	2	1	2	3	2.2
试验 5	2	2	3	1	2.1
试验 6	2	3	1	2	2.55
试验 7	3	1	3	2	2.05
试验 8	3	2	1	3	2.4
试验 9	3	3	2	1	2.45
均值 1	2.117	2.050	2.283	2.150	
均值 2	2.283	2.233	2.283	2.267	
均值 3	2.300	2.417	2.133	2.283	
极差	0.183	0.367	0.150	0.133	

每个因子 3 个水平。收集数据如表 4 所示，进行数据分析如表 5 所示，极差计算结果显示 $B > A > C > D$ ，说明焊接速度对熔宽的影响最大，其次是焊接功率，保护气体的影响最小。从每个因子的均值来看，A、B、D 因子的 3 水平对于熔宽的影响更显著，而 C 因子水平 1、2 的均值相等，考虑到焊接薄材料时，宜用正离焦，因此因子 C 选水平 2。

2.5 验证与实施

侧围外板为 0.7mm 的镀锌钢板，D 柱流水槽是厚度为 1.2mm 的高强板，采用的激光焊参数为：激光功率 $P=2000W$ ，焊接速度 1.7m/min，离焦量 = 0mm，保护气体的流量 $g=15L/min$ 。采用琴键式工装进行定位压紧，确保 D 柱流水槽和侧围外板间的间隙控制在 0.2mm 之内，更好地保证了零件状态，从而得到鱼鳞状的光滑且宽度均匀的焊缝。

通过激光焊接来实现 D 柱流水槽的焊接，减少了打磨返修的工作量及

成本,同时节省了铜板的运行成本,提升了静态感知质量,增加了顾客满意度,提高了潜在消费顾客量。

3 结语

本文基于六西格玛设计的相关理论知识来解决实际问题,提升和优化了D柱流水的工艺及质量。六西格玛是以事实为依据,通过数据驱动来进行质量提升的系统方法论;通过六西格玛的方法论建立系统思维,采用科学的质量管理工具来解决实际问题。本文结合平时工作中的痛点来确立目标,跳出平时的惯性思维,对各个流程进行梳理,逐步分析潜在的因子,以量化的手段进行数据统计和分析,并通过质量分析工具进行详细分析,以求问题的解决手段更具有客观性、解决结果更有说服力。

参考文献:

- [1] 金子同. 六西格玛设计 (DFSS) 在机载显示器设计中的应用 [J]. 航空电子技术, 2012, 43 (3): 55-56.
- [2] 采峰, 马召. 面向装备研制的先进质量工程方法论——六西格玛设计 (DFSS) 研究 [J]. 标准科学, 2015 (2): 72-77.
- [3] 樊锐, 陈泉. 六西格玛管理在半导体制造业中的应用 [J]. 标准科学, 2014 (12): 70-73.
- [4] 刘华官. 基于六西格玛设计 (DFSS) 的纯电动敞篷车软顶系统研发 [J]. 时代汽车, 2022 (11): 124-127.
- [5] 赵玉祥. 激光焊接在白车身焊接的应用 [J]. 商品与质量, 2016 (38): 161.

作者简介: 黄丹 (1984.06-), 女, 壮族, 广西河池人, 本科, 高级工程师, 研究方向: 车身焊接工艺、规划及仿真技术。

(上接第5页)

参考文献:

- [1] 马俊强, 叶建兰, 梁洸强. 基于西门子 PLC 与 MCGS 的虚拟仿真方法的实现 [J]. 电气传动自动化, 2023, 45 (01): 30-34.
- [2] 李宝田. 基于 PLC 机械手控制系统的设计与研究 [J]. 自动化与仪器仪表, 2023 (01): 69-74.
- [3] 刘折. 砂浆喷涂机的改进及实验研究 [J]. 技术与市场, 2021, 28 (06): 42-44.

- [4] 海涛. 浅谈砂浆机械喷涂设备的应用效果 [J]. 散装水泥, 2016 (01): 46-48.
- [5] 梁振辉, 樊心耿. 砂浆喷涂机的应用 [J]. 建筑机械化, 1992 (03): 31-33.

作者简介: 路兴峰 (1983.08-), 男, 汉族, 山东济宁人, 本科, 工程师, 研究方向: 煤矿清洁能源和机械制造。