

智能制造技术在安全气囊发生器产品 激光焊接中的应用

肖辉^{1, 2}, 张朝林^{1, 2}, 刘燕雯^{1, 2}, 李珂珂^{1, 2}, 许健坤^{1, 2}, 吴志强^{1, 2}, 张浩军^{1, 2}, 王平^{1, 2}

1. 湖北航鹏化学动力科技有限责任公司 湖北襄阳 441103

2. 应急救生与安全防护湖北省重点实验室 湖北襄阳 441103

摘要: 结合智能制造理念和先进技术经验, 对安全气囊气体发生器激光焊接技术进行智能升级, 实现全自动化激光焊接, 焊接过程质量、焊缝质量全面检测, 焊接全流程信息追溯查询, 使产品安全防护等级提高, 有效提升了生产效率, 完善了质量管控水平。

关键词: 激光焊接; 智能升级; 自动化; 质量控制

1 序言

随着我国汽车工业的迅猛发展, 交通事故的发生越来越频繁, 安全气囊作为车辆被动安全系统也越来越受到重视, 因此气体发生器作为安全气囊系统中核心功能性部件获得快速发展。气体发生器主要由金属壳体、电爆管、点火药和产气药等构成。其作用机理是当气体发生器接收到碰撞电信号后, 发生器内部的电爆管起爆燃烧, 燃烧产生的热量依次将点火药、产气药点燃, 产气药燃烧产生的大量气体迅速将安全气囊充满展开, 从而达到保护乘客安全的目的。

在气体发生器的生产过程中, 需要将电爆管、点火药和产气药等分装在金属壳体中, 然后将金属壳体通过激光焊接形成一个整体, 其焊接质量及强度直接决定着安全气囊是否能够安全快速地展开, 从而保护乘客。气体发生器需进行大小环缝两次激光焊接, 本文以小环缝激光焊接为例进行说明。

2 激光焊接技术现状

激光焊接技术在制造行业, 尤其是汽车、电子、电器、航空及冶金等国民经济重要部门有着非常广泛的应用。激光焊接是将具有高能量的激光束辐射至金属壳体表面, 金属吸收激光能量熔化后冷却结晶形成焊缝^[1-3], 如图1所示。因发生器产品起

爆燃烧过程需产生较大内压, 对产品金属件强度和焊缝强度提出了较高要求, 具体强度数值根据行业标准安全系数1.5计算而得, 常见焊接强度要求 $\geq 60\text{MPa}$, 熔深 $3\sim 4\text{mm}$, 焊缝无气孔, 表面无凹坑、夹渣等缺陷。

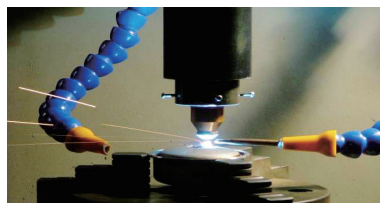
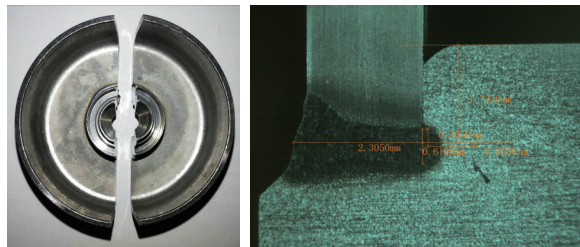


图1 小环缝激光焊接

激光焊接技术现状存在以下不足^[4]:

1) 焊接熔深需抽取每班焊接过程中的首中末产品进行破坏性试验显影检测, 如图2所示。抽检试验存在随机性, 产品不能做到100%全检, 易造成不合格产品流出, 无法做到全面质量管控。



a) 切割试验件

b) 显影检测

图2 破坏性熔深检测

2) 焊缝表面质量需依靠操作人员目视检查, 存在主观判断现象, 易造成误判。

3) 人员目视无法从焊缝表面检出焊缝内部气孔, 如图3所示。焊缝气孔对焊接强度存在隐患。

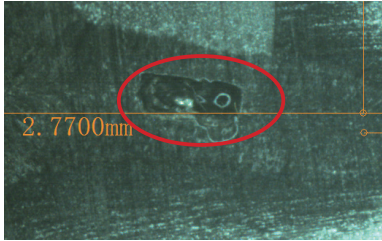


图3 显影检测焊缝存在气孔

3 激光焊接技术升级

激光焊接技术智能升级充分贯彻“自动化减人、质量全面控制”的理念, 通过最优设计, 充分利用机器人控制、视觉检测、质量检测系统等成熟技术, 提高自动化水平, 完善过程质量控制能力。

(1) 系统组成 激光焊接技术智能升级系统路线为上料→扫码→激光焊接→清洁→同心度检测→表面质量检测→下料。

(2) 工作原理 根据系统组成, 设计如图4所示激光焊接工作站, 由三轴工作站、激光焊接头、焊接卡盘、机器人、LWM及视觉检测系统等部分组成。

气体发生器激光焊接步骤如下:

- 1) 机器人抓取待焊接发生器, 扫描标识码, 记录焊接信息。
- 2) 将发生器放至焊接卡盘中进行固定。
- 3) 三轴工作站带动激光焊接头调整至设定焊接位置。

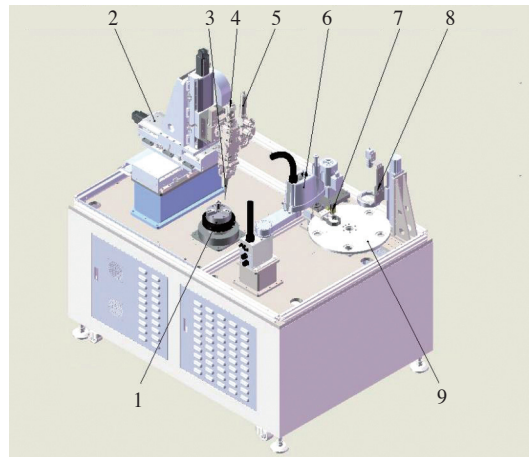


图4 激光焊接工作站

- 1.焊接卡盘 2.三轴工作站 3.激光焊接头 4.IDM 5.LWM
6.机器人 7.清洁 8.视觉检测系统 9.转盘

4) 焊接卡盘顺时针旋转360°, 激光焊接头出光进行焊接。

5) 焊接结束, 机器人抓取发生器放至转盘中。

6) 转盘顺时针旋转, 依次清洁焊缝表面烟尘、检测焊缝同心度及表面质量。

7) 系统根据激光焊接过程及检测结果判断合格与否, 机器人抓取发生器下线。

激光焊接工作站全过程实现自动化控制, 精准定位, 生产效率高, 且无需操作人员。

(3) 焊接信息追溯 每只发生器均有一个唯一的身份标识码, 激光焊接全过程的数据信息都将永久储存在这个标识码中, 见表1。RFID技术可追溯信息实时采集、跟踪、监控, 便于工艺质量人员对激光焊接状态进行分析优化, 提升产品生产水平, 保证产品质量, 同时在产品产生质量问题时实现快速追溯。

表1 焊接数据信息

过程码	LWM检查结果	焊接质量	焊接功率/W	焊接速度/mm·min ⁻¹	X坐标/mm	Y坐标/mm	Z坐标/mm
06R40004806	OK	瑕疵OK	1643.751	120	-105.35	-43.19	-96.5
06R40004805	OK	瑕疵OK	1641.987	120	-105.35	-43.19	-96.5
06R40004804	OK	瑕疵OK	1642.666	120	-105.35	-43.19	-96.5
06R40004802	OK	瑕疵OK	1642.53	120	-105.35	-43.19	-96.5
06R40004801	OK	瑕疵OK	1643.751	120	-105.35	-43.19	-96.5
06R40004800	OK	瑕疵OK	1643.208	120	-105.35	-43.19	-96.5
06R40004799	OK	瑕疵OK	1642.801	120	-105.35	-43.19	-96.5
06R40004798	OK	瑕疵OK	1643.344	120	-105.35	-43.19	-96.5
06R40004797	OK	瑕疵OK	1643.751	120	-105.35	-43.19	-96.5
06R40004796	OK	瑕疵OK	1643.208	120	-105.35	-43.19	-96.5
06R40004795	OK	瑕疵OK	1641.445	120	-105.35	-43.19	-96.5

(4) 焊接过程质量检测 激光焊接是一种复杂的加工工艺。焊接质量的稳定性受到很多因素的影响,如激光功率、保护镜片洁净程度、工装夹具定位精度、重复精度、不同批次工件、工件表面清洁程度、保护气流量变化等。任何一个因素的变化都可能导致产品存在焊接缺陷。因此,应在做好焊接前准备工作的同时,引入焊接过程质量检测,对焊接过程质量进行全检。

1) LWM质量检测。LWM (Laser Welding Monitor) 质量检测系统是能够对焊接过程稳定性实时监控并且对异常情况实时报警的系统,由LWM传感器、监视器、ASLR放大器及控制柜等组成。通过对焊接熔池部分的等离子体、背反射、温度、功率信号进行采样比对,可以对异常情况实时报警来保证产品质量的稳定性。

在焊接过程中,等离子体、背反射、温度、功率以波动曲线的形式实时显示,LWM系统能够把整个焊接过程以数据图表的形式存储在本地数据库中(见表2)。焊接数据图表与该发生器产品唯一标识码进行关联,后续可以对每个产品的焊接信息进行追溯。

通过试验分析确定,当产品焊接过程中存在气孔时,LWM检测数据中等离子体曲线会存在波动,不满足设定要求,如图5所示。LWM质量检测系统实现了对焊接气孔的检测判断。

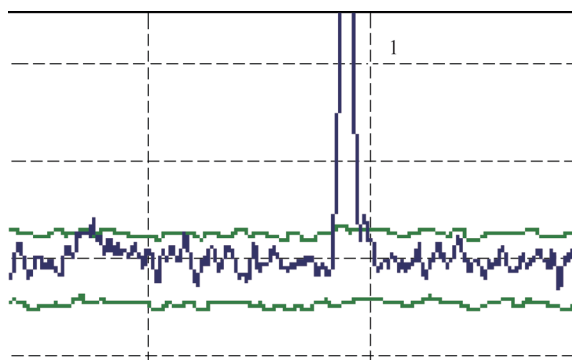


图5 焊接存在气孔LWM检测数据(标记1处为曲线波动)

2) IDM熔深检测。焊缝的熔深是衡量焊接质量的一个非常重要的参数,熔深不足或烧穿都会影响产品的焊接强度,对最终产品质量产生重大影响。IDM熔深检测系统可在焊接过程中实时测量产品焊缝熔深,并进行分析判断得出结论。系统同样将整个焊接过程熔深数据以图表的形式存储在本地数据库中,如图6所示。

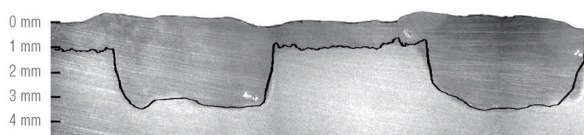


图6 熔深检测数据

IDM系统引入过程能力分析工具SPC,对系统中所采集的熔深数据进行过程能力分析,科学地区分出焊接过程中产品质量的异常波动,从而对生产

表2 LWM检测数据

条码	综合检测结果	同心度/mm	焊缝高度差/mm	表面成形	LWM检测结果	焊接功率/W	焊接速度/(°)·s ⁻¹	工件压紧力/MPa	保护气流量/L·min ⁻¹	X坐标/mm	Y坐标/mm	Z坐标/mm
06R40001319	OK	3.172	1.461	OK	OK	1451.105	60	0.325	6.164	-68.650	-41.340	-144.170
06R40001323	NG	6.358	2.951	同心度NG	NG	1453.967	60	0.348	5.989	-68.650	-41.340	-144.170
06R40001320	OK	3.193	1.388	OK	OK	1452.181	60	0.346	5.989	-68.650	-41.340	-144.170
06R40001398	OK	3.193	1.175	OK	OK	1319.618	60	0.351	9.062	-68.650	-41.340	-144.170
06R40001399	OK	3.183	1.484	OK	OK	1329.494	60	0.351	9.011	-68.650	-41.340	-144.170
06R40001401	OK	3.173	1.494	OK	OK	1332.524	60	0.351	9.002	-68.650	-41.340	-144.170
06R40001403	NG	4.043	3.437	焊缝NG	OK	3.798	60	0.331	4.760	-68.650	-41.340	-144.170
06R40001396	OK	3.180	1.484	OK	OK	1319.207	60	0.349	9.054	-68.650	-41.340	-144.170
06R40001404	OK	3.178	1.461	OK	OK	1331.024	60	0.349	9.036	-68.650	-41.340	-144.170
06R40001405	OK	3.183	1.519	OK	OK	1321.782	60	0.350	9.067	-68.650	-41.340	-144.170
06R40001408	NG	4.329	2.555	焊缝NG	OK	3.933	60	0.331	4.993	-68.650	-41.340	-144.170
06R40001409	OK	3.191	1.520	OK	OK	1321.830	60	0.352	9.124	-68.650	-41.340	-144.170
06R40001414	NG	3.186	1.389	OK	NG	1311.418	60	0.352	9.114	-68.650	-41.340	-144.170

过程中的异常趋势提出预警,以便生产管理人员及时采取措施,消除异常,恢复过程的稳定,从而达到

到提高和控制质量的目的。焊缝熔深SPC过程能力分析如图7所示。

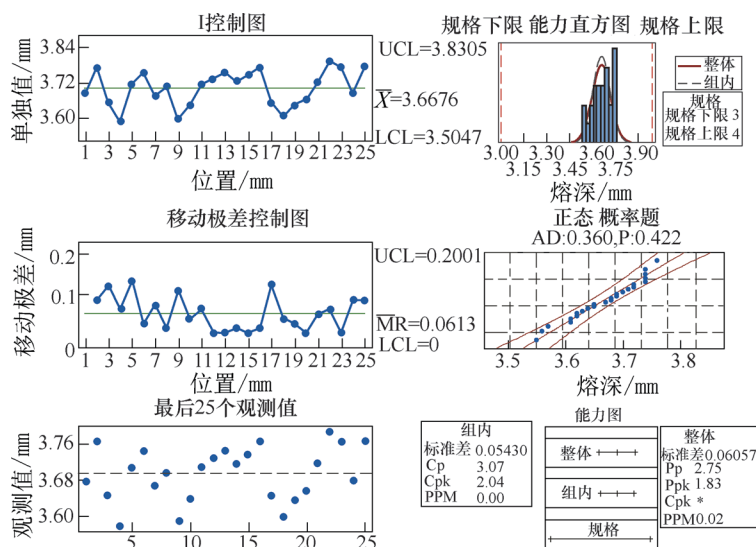
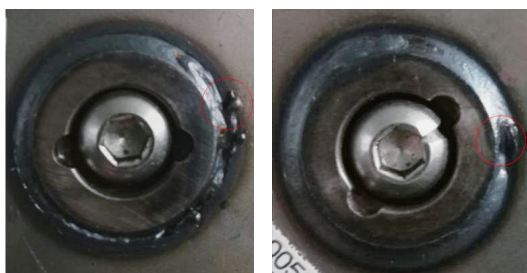


图7 熔深SPC过程能力分析

LWM及IDM检测系统实现了对焊接过程质量的100%监测,可实时预警焊接异常情况的发生,保证了产品焊接质量的稳定性和可靠性。

(5) 视觉检测技术 焊接结束后,焊缝可能存在焊缝同心度偏差、夹渣、凹坑等不满足焊接要求的情况,如图8所示。



a) 夹渣 b) 凹坑

图8 焊缝质量缺陷

视觉检测技术采用工业相机代替人眼去完成识别、测量、定位等功能。其系统由相机、镜头和光源等部件组成,可代替人工完成条码字符识别、包装完整性判断、产品外观夹渣、凹陷的检测等任务。

引入视觉检测技术,对产品焊接后焊缝表面质量进行检测,如图9所示。

1) 焊缝同心度检测。使用相机对焊接产品拍照,系统根据照片分析确定金属结构件基准圆 I 及圆心a的位置,再以圆心a定位,绘制同心圆 II。在

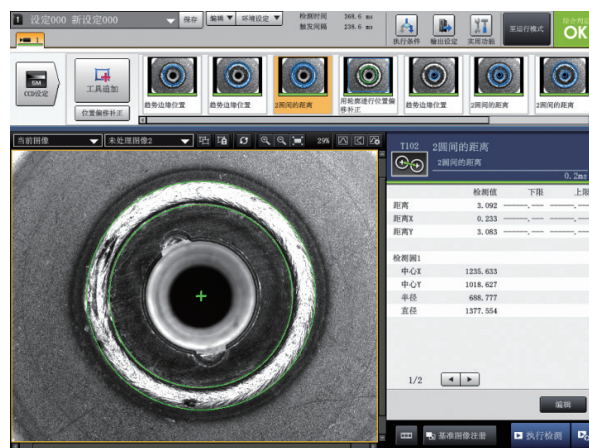
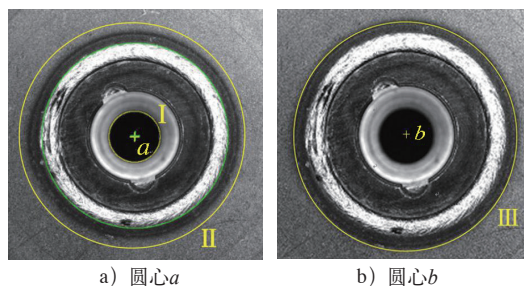


图9 视觉检测

区域 I 同 II 范围内寻找焊缝 III,由焊缝 III 确定圆心 b,如图10所示。系统计算并比对圆心a与b偏差,从而判断焊缝同心度是否符合技术要求。



a) 圆心a b) 圆心b

图10 同心度检测

2) 焊缝外观检测。在焊缝区域中,系统通过绘制焊缝轮廓基准模型线,计算焊缝实际超出基准模

型线区域面积, 并进行比对判断, 以此确认是否存在凹坑、夹渣等外观缺陷。如图11所示, 通过计算轮廓基准模型线 I 与轮廓线 II 之间凸出区域面积 a , 系统比对判断是否存在夹渣缺陷; 同理, 计算轮廓线 I 与轮廓线 III 之间凹陷区域面积 b , 系统比对判断是否存在凹坑缺陷。

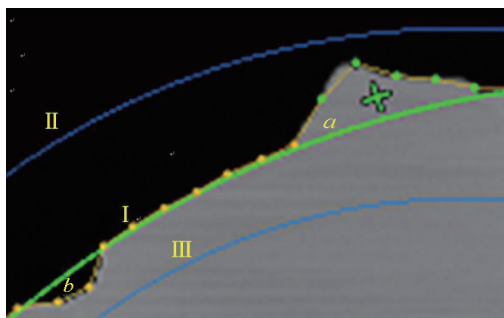


图11 焊缝表面质量检测

视觉检测系统能有效提高生产流水线的检测速度和精度, 大幅提高产品产量, 降低人工成本, 并可同时防止因人眼疲劳产生的误判, 提高产品质量

的可靠性。

(6) 安全防护技术 激光焊接工位设置全面考虑了“以人为本”的理念。

设置独立的焊接封闭区域, 焊接全过程中无需操作人员参与。且当设备发生异常时, 系统可自动检测到报警并将设备停机。焊接过程中激光、设备等可造成人员伤害的情况能够全部规避。

焊接保护气体也进行了单独区域设置, 将焊接过程中产生的噪声、烟尘、电离辐射等环境污染对人的影响降至最低。

4 智能升级前后对比

通过引入焊接信息追溯技术、LWM检测技术、IDM熔深检测技术、视觉检测技术及安全防护技术等智能化手段, 实现了对焊接过程参数的实时监控、焊缝熔深数据的100%自动检测、焊接无人化操作等, 使产品焊接的稳定性和可靠性得到有效保证^[5] (见表3)。

表3 智能升级前后数据对比

序号	对比内容	升级前	升级后
1	作业人数/人	1	0
2	节拍/s	16	13
3	每小时产能/件	225	276
4	过程能力Cpk	1.68	1.83
5	熔深检测频率	首中末抽检	100%全检
6	熔深检测方式	人工切割、金相显影	IDM熔深自动检测技术
7	焊缝外观检测	人工目视	视觉100%全检
8	焊接气孔	无法检测	LWM质量检测
9	安全防护	设备异常时无自动停机	设备异常时系统自动停机
10	焊接监测内容	监测参数单一: 功率	监测参数更全面: 功率、等离子体、温度、背光反射

5 结束语

借助完善的汽车制造管理体系, 以智能升级为导向, 运用过程控制方法, 将先进的智能制造技术应用于发生器生产线的激光焊接过程开发设计中, 全面提升了发生器产品的焊接生产效率和质量, 满足了工业4.0后对生产线提出的智能化、柔性化要求。

参考文献:

- [1] 李力钧.现代激光加工及其装备[M].北京: 北京理工大学出版社, 1993.
- [2] 汪健坤, 李强, 黄磊, 等.激光焊接技术最新研究

进展及应用现状[J].金属加工 (热加工), 2020 (3): 4-10.

- [3] 叶卫林, 李磊, 姜银松, 等.薄壁轴承件激光焊接成形控制研究[J].金属加工 (热加工), 2020 (8): 50-54.
- [4] 王家金.激光加工技术[M].北京: 中国计量出版社, 1992.
- [5] 易树平, 郭伏.基础工业工程[M].北京: 机械工业出版社, 2012.

MW 20201024