安全气囊发生器激光焊接在线监测技术探究

肖辉[1,2]，张朝林[1,2]，张浩军[1,2]，高梦娜[1,2]，毕开斌[1,2]，朱李宁[1,2]，解建峰[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试验室　湖北襄阳　441103

摘要：激光自动化焊接是气体发生器自动化线的重要组成部分，而焊接过程中在线质量检测技术是当前需要攻克的重点和难点。传统的发生器激光焊接方式是人工作业，目视检测焊后产品外观状况，长时间用眼易产生判断疲劳，且检测主观性强、效率低，产品质量检测不可靠，远远不能满足自动化线连续生产质量监控需要。此外，焊接时产生的高强度光、烟尘、电离辐射和受激辐射等对人的身体健康也有一定的危害，不符合“以人为本”的理念，因此无人自动化焊接技术已成为目前发展的主流趋势。经过前期大量的试验，成功将焊接在线质量检测技术应用在发生器自动化焊接上。

关键词：激光焊接；在线检测；焊接

1　序言

气体发生器是安全气囊的核心部件，而激光焊接是发生器生产中的一个特殊过程，焊接质量的好坏直接影响发生器起爆时的安全性。传统的焊接主要是人工作业，目视检测焊缝表面质量，这种方法不但效率低、主观性强，而且不能满足自动化线连续不停歇生产的需要。

在线质量检测技术是通过焊接在线质量监测系统LWM（Laser Welding Monitor）和焊接表面质量检测系统（机器视觉）二者共同来完成的。LWM系统由LWM传感器、监视器、ASLR放大器及控制柜等组成，集成在焊接头上。焊接过程中产生的剧烈物理变化会造成辐射，而辐射直接关系到焊缝质量，因此可通过辐射测量值分析焊缝质量。这些信号与焊接过程的稳定状态密切相关，通过监测这些信号来分析焊接过程是否稳定，可间接判断焊缝质量的好坏。机器视觉是利用图像摄取装置，将被摄取的目标转换成图像信号并传送给专用的处理系统后，根据像素分布和亮度、颜色等信息，转变成数字化信号，在此基础上进行缺陷等级的判定[1,2]。

本文通过采购的LWM和机器视觉设备，利用其工作原理制定方案，通过大量试验验证获得最终控制参数，从而实现焊接在线质量监控能力。

2　焊缝质量在线检测技术

2.1　焊接在线质量监测（LWM）

LWM系统通过配置的激光等离子体、背反射、温度及功率探测器采集信号进行检测与分析，通过试验建立4种辐射信号与熔深、焊缝形貌的定量关系，并监视激光焊接过程中传输的信号，通过将信号与合格部件中的信号序列进行比较，评估焊接结果的好坏。

（1）LWM系统设计　为了设计LWM系统各指标的判定范围，用正常生产参数（功率1.9kW、转速140°/s、角度10°）焊接200个工件（编号为N1~N200），系统自动记录并将这200个曲线添加到数据库中。

人工判断焊后工件表面质量，其中编号为N5、N20的工件表面质量异常；再对表面质量合格的工件进行破坏性切割，合格工件的切割显影图如图1所示，检测其熔深（要求1.95~2.6mm）和偏移量（要求－0.3~0.3mm），其中编号为N31的工件熔深不满足要求，在LWM系统中将编号为N5、N20、N31不合格工件的焊接曲线删除，系统仅保留其余197个合格工件的曲线，如图2所示。

在参数设置界面设置生成曲线范围，系统自动计算曲线最低值、最高值的拟合曲线，得到各指标

的上下限范围，如图3所示。

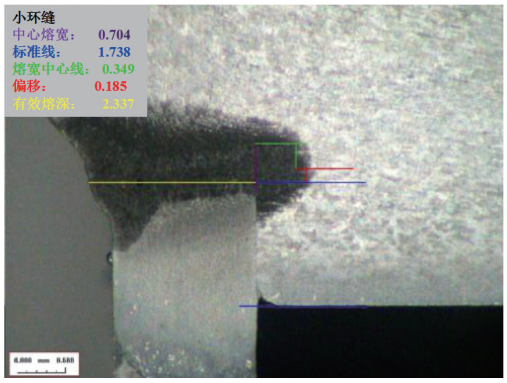


图1　合格工件切割检测显影图

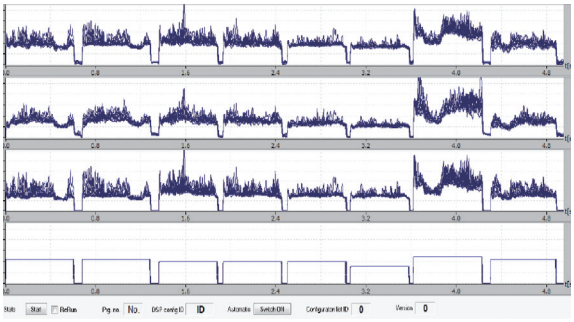
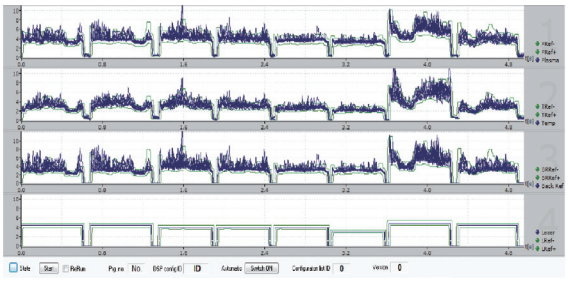
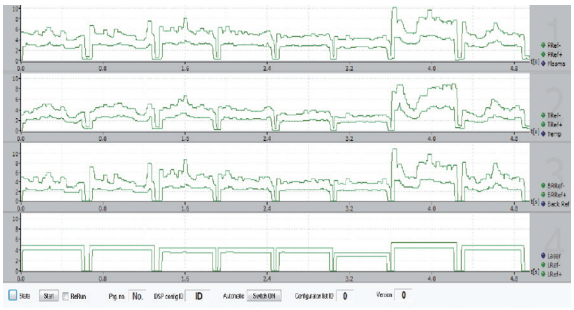


图2　合格工件的焊接曲线



a）含合格曲线

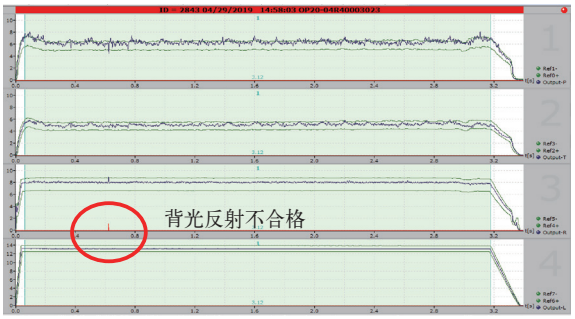


b）上下限

图3　焊接曲线各指标上下限

（2）LWM系统的应用　LWM在发生器焊接过程中能够实现焊接保护气流量错误、焊缝熔深偏移量错误、产品工况错误及焊缝完整性错误等检测。

当出现焊接保护气流量错误时，工件焊后表面不平，LWM系统中背光反射值受到影响，背光反射指标会出现异常，如图4所示。



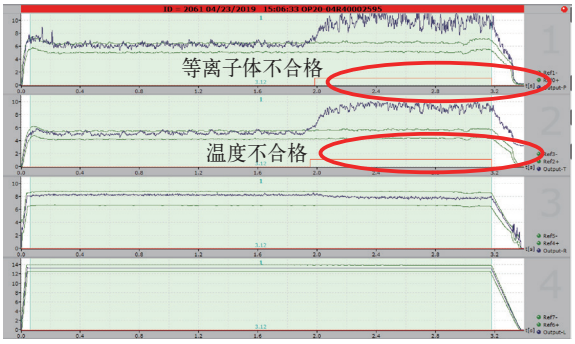
a）气体流量检测



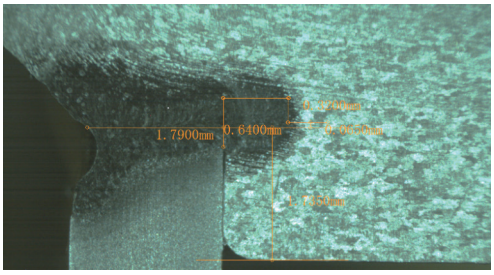
b）焊缝实物

图4　焊接保护气流量错误

在焊接过程中，若出现工件内部熔深错误，工件未熔透到要求的熔深值，则等离子体状态和温度能直接反应小孔的熔透状态，当工件熔深在1.79~1.95mm时，LWM系统判定等离子体和温度曲线异常，如图5所示。



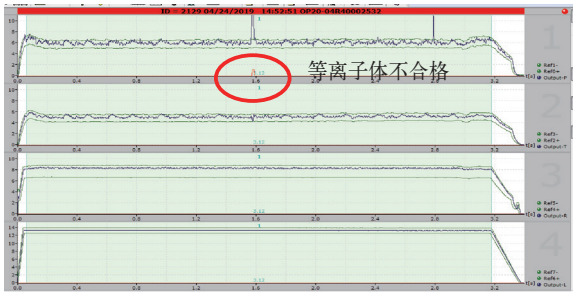
a）等离子体和温度曲线



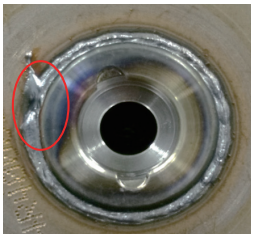
b）熔深异常显影图

图5　焊缝熔深错误

等离子体信号波动反映了焊接过程中小孔的稳定情况，而小孔的异常波动又是产生气孔缺陷的起因，也是决定气孔生成的主要因素之一，因此等离子体信号波动与焊接气孔缺陷存在一定的关联性。LWM系统判定的焊缝表面气孔缺陷如图6所示。



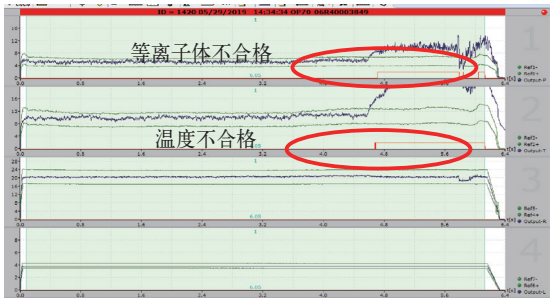
a）焊缝检测结果



b）焊缝缺陷实物

图6　产品表面气孔缺陷

焊接时激光作用在工件表面，工件温度会升高，热辐射探测器接收热信号。若焊缝出现缺焊，热辐射值会明显波动，因此可以根据热辐射判定焊缝的完整性。而且缺焊时，工件没有发生熔透反应，无等离子体产生，等离子体曲线也会出现异常。当焊接过程中卡盘出现异常或停止转动时，LWM系统会判定焊缝缺焊，如图7所示。



a）焊缝检测结果



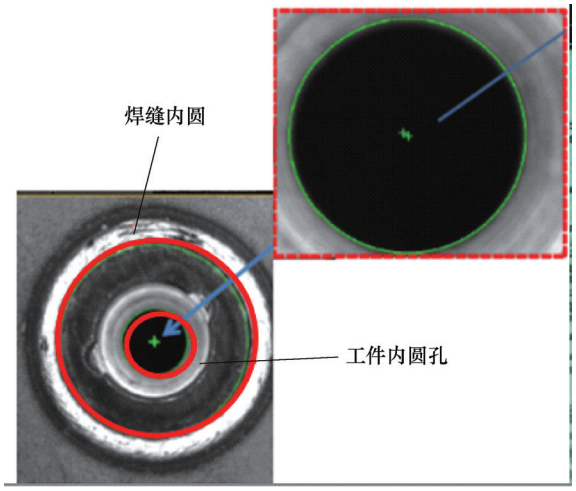
b）焊缝缺焊实物

图7　焊缝缺焊

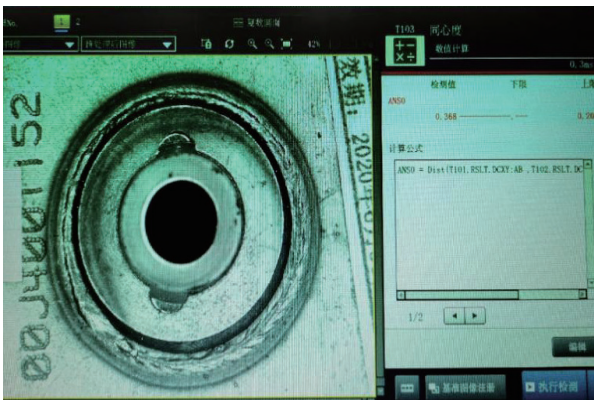
2.2　焊缝表面缺陷质量检测（机器视觉）

机器视觉是指在焊接完成后，利用图像摄取装置，将被摄取的目标转换成图像信号，对焊缝的外形尺寸如同心度，以及对焊缝表面凹坑、飞溅、气孔等表面缺陷进行外观检测[4]。

（1）同心度检测　为了精准提取孔的边缘，在基准图像上调整曝光时间为4.9ms，亮度+3，使其他区域干扰像素过曝，再使用趋势边缘位置工具设定检测段数值为72，边缘敏感度值为20，测量工件内圆孔圆心。以工件内圆孔圆心值作为基准值，测量焊缝圆心值，使用趋势边缘位置工具设定边缘敏感度值为30，排除边缘干扰值为31，段大小值为15，可以检测出焊缝圆心。将两者圆心值对比实现缺陷检测，追加数值比对工具，利用范数公式即可求得两点的距离，公差设定为0.2mm为同心度合格。当卡盘圆跳动不合格时，视觉系统判定的同心度不合格，如图8所示。



a）检测实物



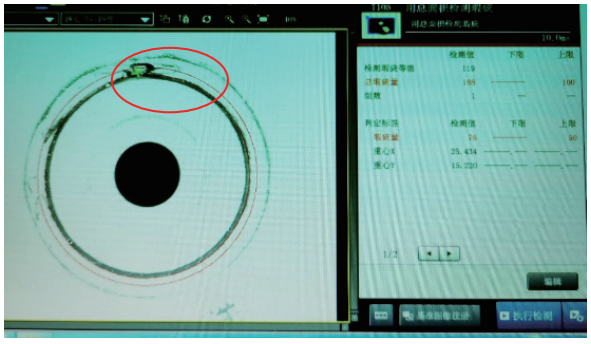
b）在线检测情况

图8　同心度检测错误

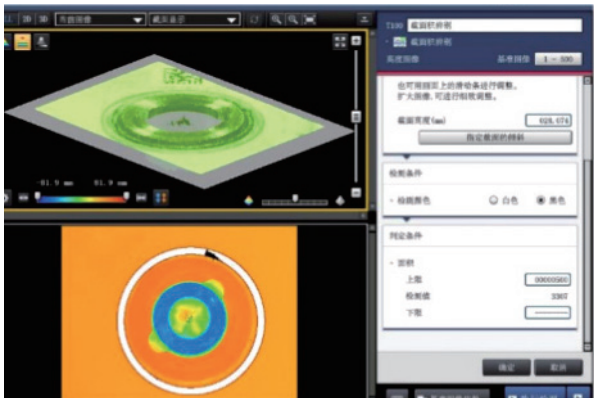
（2）表面凹坑或气孔检测　合格的焊缝表面平滑，近似镜面，辅助光照射后会与母材形成较大反差，可提取出焊缝检测范围，若焊缝有凹坑或气孔缺陷，则不会形成镜面反射，一定范围的灰度值会发生变化。利用相机3D投影检测瑕疵工具实现缺陷检测，有凹坑或气孔则呈现黑色面积。首先执行基本图像处理工具，增加图像特征对比度和灰度系数，并选定焊缝检测范围蓝色圆环内。通过分析像素在该区域的灰度变化，提取相关的信息。将灰度值相差大于100像素区域判定为凹坑或气孔缺陷，如图9所示[5]。



a）产品实物



b）表面检测情况



c）图像处理

图9　焊接表面质量凹坑或气孔

2.3　试验验证

对以上方法及参数设定是否有效开展试验验证并进行统计分析。连续焊接300发合格产品进行检测，符合正态分布，说明过程稳定受控，CPK为4.2，过程能力合格，说明在线质量检测功能准确可靠。

3　结束语

焊缝缺陷的准确识别是焊缝质量检测的关键，而在线质量检测技术改变了传统焊接无法在线检测的难点，通过大量的试验找到了与焊缝缺陷直接关联的特征参数。

在发生器自动化焊接中，采用LWM系统和机器视觉的在线质量检测方法进行焊缝的质量检测，解决了依靠人员目视主观判断效率低、检测标准规范难确定、检测数据不易统计与查询的难题。目前，该检测系统已成功投入发生器生产中，极大地提高了发生器焊接的生产效率，实现了每发产品的实时焊接质量追溯，保证了产品的质量可靠性。

参考文献：

[1] 高世一，吴瑞珉，陈卫东，等.激光焊接过程监测及焊缝质量检测技术研究现状[J].世界钢铁，2010（3）：51-54，63.

[2] 陈媛媛，徐浩，魏庆丰.机器人激光在线检测技术在汽车焊装线上的应用[J].金属加工（热加工），2018（3）：10-13.

[3] 王豪，魏昕，林本宏，等.激光深熔焊接过程质量监测技术研究现状[J].应用激光，2018（1）：123-129.

[4] 段峰，王耀南，雷晓峰，等.机器视觉技术及其应用综述[J].自动化博览，2017（6）：3.

[5] 王荣浩，张文昌，伍昕忠，等.基于激光视觉的焊缝表面质量检测方法研究[J].机电产品开发与创新，2018（9）：11-13.

MW 20201215