

基于焊接信号的在线监测技术研究现状

闫灿灿, 王世培, 王海东, 李竹渊, 孙秋阳, 吴晔华, 陈鹏

中国核工业二三建设有限公司 北京 101300

摘要: 在焊接过程中, 以焊接电信号(电弧电压、电流信号)、温度信号、熔池视觉信号等为代表的焊接过程信号与焊接缺陷及焊接过程稳定性密切相关。对目前焊接在线监测评估系统研究现状进行了系统的总结, 并对前期研究人员所开发的基于不同焊接信号的焊接监测系统进行了对比分析, 形成相应结论, 为后续焊接在线监测技术的发展提出了相应的建议。

关键词: 在线监测; 焊接信号; 焊接质量评估

1 序言

焊接过程的工艺流程对最终的焊接质量有着重要影响, 部分操作人员有时为加快焊接速度, 提高生产效率, 而使用超出规范值的电流和速度进行操作, 而管理人员往往难以察觉这类现象, 最终可能会造成焊接质量下降, 甚至对产品整体的焊接质量造成严重影响。因此, 人们希望通过研究找出焊接信息与焊接质量之间的关系, 便于之后更好地把握焊接过程, 于是就开始对焊接监测以及评估系统进行广泛研究。

2 基于焊接信号的在线监测技术发展现状

焊接过程自身是一个非线性、多变量耦合的物理化学过程, 极易受到周围环境的干扰。影响焊接过程稳定性的因素众多, 不恰当的焊接参数选择和焊接工艺条件都会对焊接过程产生干扰, 并影响最终的焊接质量。在焊接过程中, 以焊接电信号(电弧电压、电流信号)、熔池视觉信号等为代表的焊接过程信号与焊接缺陷及焊接过程稳定性密切相关, 通过对相关焊接过程信号进行实时采集, 研究并总结在焊接缺陷产生时不同焊接过程信号的变化规律。在此基础上, 针对信号自身的特点选择恰当的信号处理方法对相关特征参数进行提取。最终, 基于特征参数的变化情况, 对焊接稳定性及焊接缺陷类型进行识别并分类, 是近年来焊接过程监测及焊接缺陷智能识别的主要研究方向。

3 基于不同焊接信号的焊接监测系统

(1) 基于焊接电信号 电弧电压、电流信号来自焊接电弧本身, 与其他焊接过程信号相比, 其抗干扰能力强, 能够准确地反映出焊接过程中电弧的实时变化情况。此外, 与其他传感设备相比, 电弧电压、电流传感器的成本较低、结构相对简单、体积较小、便于安装, 不会被焊接环境和焊接工位所限制。上述优点使得基于焊接电信号的监测设备及方法在实际焊装生产过程中得到了广泛应用, 也是当前焊接监测领域的研究热点之一。

山东大学武传松等^[1]使用霍尔传感器实时采集 P-GMAW 焊接过程所产生的焊接电流信号, 配合高速摄像机所拍摄的电弧及熔滴过渡图像建立了多种焊接电流波形与相应熔滴过渡类型之间的关系。实现了对焊接电流波形的精准调控, 进而在较低热输入的情况下, 实现了稳定的一脉一滴过渡。Min Z 等^[2]以减少焊接飞溅, 获得成形良好的焊缝为目的, 建立了 GMAW 焊接电流波形控制系统。在焊接过程中对电弧电压、电流信号进行实时采集, 文章分析了峰值电流、基值电流、频率等多种焊接参数对电弧稳定性和焊接质量的影响, 为后续进行的焊接参数优化提供了重要的理论依据。杨燕等^[3]开发了基于焊接电信号的焊接过程实时监测与质量分析系统。该系统能够对多路焊接电流、电弧电压信号进行高速采集, 并运用焊接热输入、 $U-I$ 相图、电流概率密度分布图等统计工具, 对焊接过程稳定

性进行分析。黄巍^[4]在其相关研究中提出了一种嵌入式的采集终端设计方式,整体设计如图1所示。其焊接传感器主要包括电流传感器和电压传感器,传感器的主要功能是将焊接过程的电参数转换为可供数据采集终端的电信号,之后使用数据采集终端将模拟量转化为数字量并进行采集、显示与储存,实现一定的在线监测作用。但是采集的只有焊接电流和电弧电压,没有对气体流量、送丝速度以及熔池形貌进行采集与处理,导致最终的监测信息较为单一。

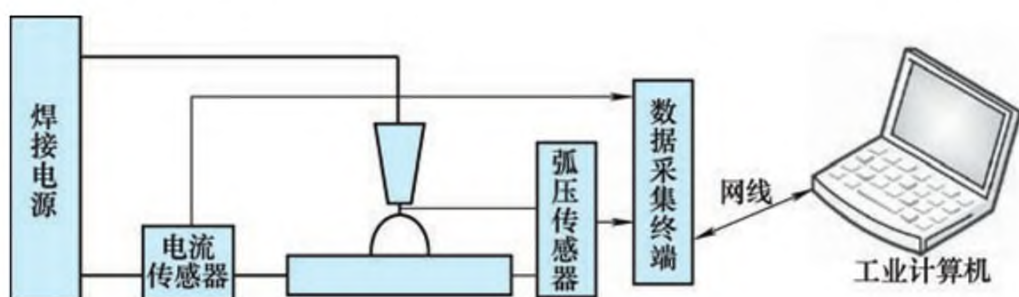


图1 弧焊监测系统结构

目前,多数研究者都是在时域展开研究,结合相应的滤波方式(卡尔曼滤波、均值滤波、小波包变换等)对焊接电流与电弧电压进行处理,很少有研究使用傅里叶变换等手段在频域内对电流、电压信号进行分析,进行缺陷的识别与分类。

(2) 基于温度信号 焊接过程中,焊接温度场的分布情况直接决定了熔池中的流体流动状态及后续进行的相变过程,蕴含了大量与焊接质量密切相关的重要信息。目前,焊接温度场的测温方式主要分为接触式测温和非接触式测温两种。接触式测温一般将一定数量的热电偶或热电阻固定在工件表面,在焊接过程中对工件不同位置的温度进行采集。这种测温方法的测温设备相对简单、易于操作、测温精度较高,但测温装置的安装过程工作量大,动态性能差,不适合快速变化的温度数据采集。非接触式测温以红外辐射测温技术为主,该技术能够快速采集被测样品的表面温度,测温过程对被测温度场无任何干扰,但因为被测物体的表面光谱发射率对最终的测温结果影响很大,这使得测温结果往往存在很大的误差,测温的不确定性较大。

高向东等^[5]通过高速红外热像仪拍摄大功率光纤激光焊的熔池图片,通过对红外热像图进行后续处理,成功地提取出熔池宽度。随后,基于激光焊

熔池的热辐射和热传导机制,进一步对熔池热像图所含有的温度信息进行研究,从中提取出能够反映激光行走轨迹的特征参数,实现了焊接质量评估。Ziqin Chen 等^[6]以 304 不锈钢高能激光焊接过程为研究对象,使用高速红外摄影机对熔池图像进行拍摄,通过傅里叶变换、同态滤波等分析方法对熔池边缘进行提取并获得相应的熔池宽度数据。

北京航空航天大学杨舟等^[7]基于红外热像仪搭建了一套焊缝温度实时监测平台,对双相钛合金的超高频脉冲钨极氩弧焊(UHFP-GTAW)焊接熔池进行红外热成像监测,并将其与常规熔化极气体保护焊的熔池表面温度分布进行了比较。综合考虑了热量、力作用、复合散热等因素,建立了熔池模型,将所获得的熔池表面温度分布数据与修正的二维高斯热源模型进行了比较,获得了与实际试验数据吻合良好的计算模型。

(3) 基于视觉信号 将视觉传感技术集成到焊接监测系统中,是近年来焊接过程监测及自动化反馈控制的主要发展趋势。目前,大多采用 CCD 摄像机等高速视觉信息采集设备,根据实际需要,配合滤光片对特定波段的信号进行过滤。视觉传感器可以直接拍摄电弧区和熔池图像,具有直观、信息量大、信息的采集不影响正常焊接过程等优点,配合小波变换、人工神经网络、模式识别等其他图像处理算法进行图像边缘提取,实现焊缝跟踪、熔宽及焊接热影响区尺寸计算和焊接质量评估。

华南理工大学郭波等^[8]开发了基于宽动态视觉传感的电弧监测系统,该系统不需要额外的外部光源或滤光片,仅使用宽动态范围相机进行图像采集,运用了改进的Canny 算法并结合 Hough 变换,成功地实现了对焊丝伸出长度、坡口边缘的提取。

张裕明等^[9]针对焊接过程主动式视觉技术进行了深入研究。在文献^[10]中,设计了一套由点阵激光器和高电子快门摄像机组成的熔池视觉检测系统。在激光脉冲的持续时间内,激光点阵会覆盖整个熔池表面,由于激光的特性,在反射之后的光强基本不会降低,而弧光的反射会随着距离的增加而减弱,所以在摄像机曝光时间内,激光的光强远大于弧光的光强,达到了抑制弧光干扰的目的,可以获

得非常清晰的激光反射图像，进而实现熔池重构，获得熔池三维形貌。图2为其使用的试验系统及相机接收到的激光点阵结果。

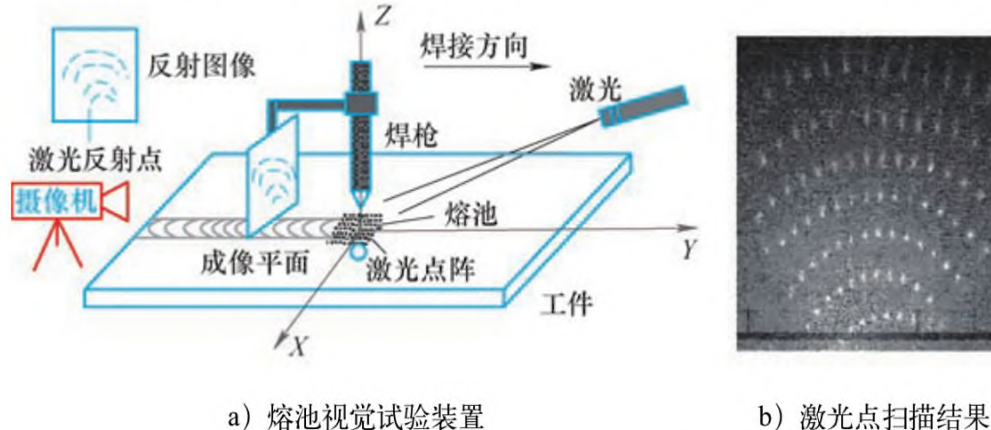


图2 基于激光主动视觉的 GTAW 熔池表面三维形貌

综合以上研究结果可知，在焊接动态过程中，熔池的视觉信息是实现焊接智能化的重要信息源，获得细节清晰、全面直观的视觉信息，可以对焊接缺陷进行准确识别，并且直观地实现焊接质量监测。

(4) 基于多种焊接信号 上海交通大学的陈善本等^[11]，将多传感器信息融合技术应用于脉冲钨极气体保护焊（GTAW）中。利用电弧传感器、视觉传感器和声音传感器同时分别获取脉冲钨极气体保护焊过程中的焊接电流、电弧电压、熔池图像和焊接声音信息，并设计了相应的算法提取不同传感器信息的信号特征，然后利用D-S证据理论融合不同的信号特征，对焊接过程的熔透状态进行预测。运用多传感器融合技术，不仅减弱了单一传感器焊接过程中出现仪器测量偏差的影响，而且获得更为丰富的焊接信息也可以减少焊接信息获取的损失率，在最大限度上获取最多的可能对焊接缺陷造成严重影响的多种信息。但最终的结果表明，GTAW焊接中的电信号（无论是单一输入还是结合输入时）对最终的焊接质量的预测能力都较差，因此可能电参数对于焊缝的缺陷影响较小或者测得的电信号准确性有待提高，系统有待于进一步的改进。

4 结束语

本文通过对前期研究人员所开发的焊接信息实时监测评估系统，以及对焊接信息的获取和处理方式进行了系统的对比和总结，对于文中提到的单一信号与多种信号融合方式的研究，可以得出以下结论。

1) 包括焊接电信号、温度信号、视觉信号等在内的焊接信息与最终的焊接质量具有极大的相关性。

2) 使用视觉系统能够较为全面直观地对焊接缺陷进行识别，进而对最终的焊接质量进行把控。

3) 采用多信息融合与神经网络等方法可以减小由于电网波动，环境变化引起的单一传感器测量误差，并从多维度更好、更准确地对焊接稳定性与焊接质量进行反馈评估。

参考文献：

- [1] Wu C S, Chen M A, Lu Y F. Effect of current waveforms on metal transfer in pulsed gas metal arc welding[J].Measurement Science and Technology, 2005, 16 (12) : 2459-2465.
- [2] Zeng M, Huang J, Zhang Y, et al. Modeling for GMAW process with a current waveform control method[J].Journal of Materials Processing Technology, 2017, 240: 404-413.
- [3] 杨燕.焊接过程实时监测与质量分析系统[D].南京：南京理工大学，2006.
- [4] 黄巍.焊接信号特征研究及嵌入式采集终端研制[D].北京：北京工业大学，2017.
- [5] Gao X, et al. Laser-induced infrared characteristic analysis for evaluating joint deviation during austenitic stainless steel laser welding[J].The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2017, 88 (5) : 1877-1888.
- [6] Chen Z, Gao X. Detection of weld pool width using infrared imaging during high-power fiber laser welding of type 304 austenitic stainless steel[J].The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2014, 74 (9) : 1247-1254.
- [7] 杨舟，齐铂金，杨明轩.超高频脉冲 GTAW 熔池表面温度分布[J].北京航空航天大学学报，2016，42 (3) : 452-458.
- [8] 郭波.基于宽动态视觉传感的 GMAW 机器人焊接偏差实时识别及电弧监测研究[D].广州：华南理工大学，2016.
- [9] 张裕明.TIG焊熔透正面视觉自适应控制的研究[D].哈尔滨：哈尔滨工业大学，1990.
- [10] Song H S, Zhang Y M. Three-dimensional

自动打磨技术在轨道交通车辆铝合金车体制造中的应用

胡伟, 吴志明, 彭章祝

中车株洲电力机车有限公司 湖南株洲 412001

摘要: 针对轨道交通铝合金车体焊缝自动打磨, 从自动打磨部位、工艺要求、工艺难点出发, 对铝合金车体自动打磨方式、设备选型、焊缝自动跟踪和打磨力控系统等进行分析, 搭建自动打磨试验平台, 对焊缝自动打磨进行验证试验, 实现了自动打磨技术在轨道交通铝合金车体制造中的应用。

关键词: 自动打磨; 轨道交通; 铝合金车体; 焊缝

1 序言

高铁白车身是高铁车辆中重要的大型结构, 是高速列车的骨格, 其制造工艺性、结构可靠性直接影响着高速列车的安全。高铁白车身主要采用焊接工艺, 制造过程中基本上每条焊缝都需要经过打磨处理, 目前高铁白车身焊缝打磨还停留在初始手工打磨阶段, 采用传统的手工打磨方式, 不仅耗时耗力, 而且很难保证打磨质量的一致性, 同时打磨现场的噪声、粉尘也严重影响工人的健康。因此, 进行高铁白车身焊缝自动打磨的研究与应用, 实现铝合金车体焊缝的自动化、智能化打磨, 以自动打磨替代手工打磨方式, 对提高焊缝打磨质量和效率, 降低工人劳动强度, 改善员工作业环境意义重大。

2 自动打磨机器人应用现状

由于具备作业劳动强度低、作业环境好、产品打磨一致性好等优点, 自动打磨机器人(见图1)在

航空航天、汽车、医疗用品、家具、舰船等行业应用越来越广泛。在轨道交通行业, 尹保亮等^[1]人将机车车体司机室外表焊缝通过自动打磨得到了高质量光滑表面, 从德成等^[2]人对转向架构架梁体自动打磨进行了可行性分析, 论证了梁体自动打磨的可行性。同时中车集团旗下主机厂进行了铝合金侧墙焊缝自动打磨生产线的建造(见图2), 但是在铝合金车体整车外部焊缝的自动打磨研究与应用较少。



图1 自动打磨机器人

基金项目: 国家重点研发项目(SQ2017YFB130372): 高铁白车身型材切割/焊接拼装/打磨工艺技术研究。

reconstruction of specular surface for a gas tungsten arc weld pool[J]. Measurement Science and Technology, 2007, 18 (12): 3751.

[11] Chen B, Wang J, Chen S. Prediction of pulsed GTAW penetration status based on BP neural network and D-S

evidence theory information fusion[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2010, 48 (1-4): 83-94.

MW 20201105