

基于激光视觉的铝合金 TIG 焊背面熔宽控制技术研究

机械科学研究院哈尔滨焊接研究所(150080) 朱 琦
哈尔滨建成北方专用车有限公司(150030) 朱晓智

摘要 TIG 焊熔透控制技术是焊接领域研究的热点技术之一。文中采用激光视觉传感器,对铝合金 TIG 焊背面传感熔宽控制技术进行了试验研究,开发了基于 PD 的控制算法,实现了 6 mm 厚铝合金变散热梯形试板的焊接。试验结果表明:控制后的焊缝背面熔宽均匀一致,解决了熔透控制中热惯性等关键技术,为在工业生产中普及应用奠定了基础。

关键词: 激光视觉 熔宽控制 TIG 焊
中图分类号: TG409

0 前 言

在焊接生产中,工件形状尺寸的变化、装配间隙的不均匀、焊接位置的波动,常常导致焊缝熔透不均匀,影响了焊接产品的质量和后续工作量。仅依靠稳定的焊接规范来实现焊缝熔透的一致性 is 困难的^[1]。因此对焊缝的熔透控制显得十分重要。

随着计算机和图像处理技术的飞速发展,利用视觉技术直接观察熔池正面或背面,通过图像处理获得熔池几何特征信息,对焊接质量进行闭环控制已经成为重要的研究方向^[2]。

文中针对 6 mm 铝合金 TIG 对接焊,利用激光视觉传感器检测背面熔透的宽度,进而控制焊接工艺参数,达到熔宽实时控制的目的。

1 系统结构

激光视觉背面熔宽控制系统主要包括以下 4 个部分:结构光视觉传感器、控制器、控制软件和手控盒。如图 1 所示。

传感器采用英国 Meta 公司的 MTH20D-1 高分辨率传感器,如图 2 所示。其测量分辨率可以达到 0.02 mm。传感器安装在焊缝的背面下方,其投射激光条纹到焊缝背面已经焊完的焊缝上,距离焊枪位置约为 6 mm。传感器内部的 CMOS 摄像机采集焊缝背部的激光条纹图像,经图像采集卡传递到 PC 机中。

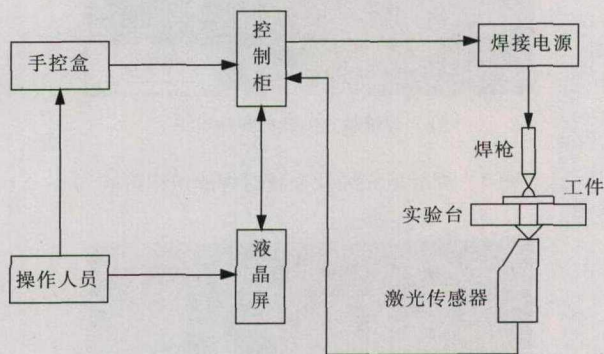


图 1 基于激光视觉的背面熔宽控制系统示意图

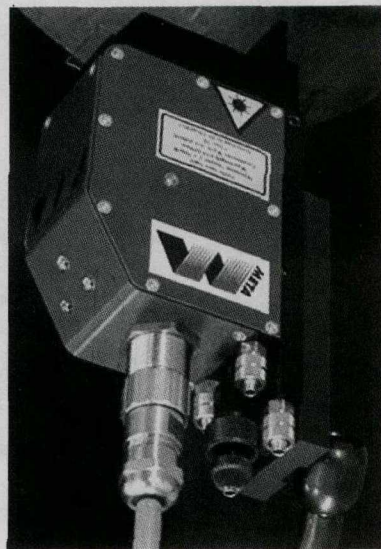


图 2 结构光视觉传感器

图像处理程序负责分析和提取焊缝熔透的背部宽度特征信息,与设定的区间进行比较计算,进而调节焊接电流,实现焊缝的熔宽自动控制。控制系统的关键在于图像的实时提取、分析和反馈控制策略,前者决定了检测的精度和抗干扰能力,后者是控制焊缝成形是否均匀的决定性因素。

手控盒主要包括 9 个按钮:急停,自适应焊接开/关,激光开/关,电流加/减,焊接开始/结束。其中,急停用于所有设备包括工业 PC 机;自适应焊接开/关是指完全由 PC 机接管,进行熔透控制;电流的加/减是指在焊接过程中可以人工干预,使设定的 Normal 电流增大或减小,如图 3 所示。

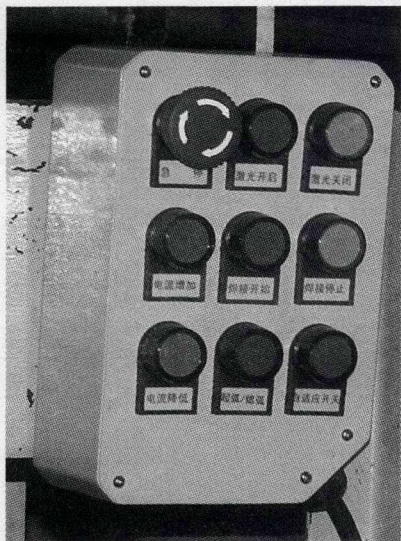


图3 手控盒

控制柜主要由工业计算机、触摸屏、图像采集卡、D/A 转换卡、接线端子、24V 电源、低通滤波器等组成。主要功能是:完成与视觉传感器的通讯,采集得到视觉传感器的信号,处理图像,获取特征参数;根据提取的背面余高、熔宽以及截面积等特征参数与设定的范围相比较,反馈控制焊接电源,自适应调节焊接电流;与手控盒通讯,完成相应的操作,如图 4 所示。

控制软件采用 Visual C++ 开发,主要包括实时显示激光条纹图像以及背部熔透宽度的边界和中心;实时显示所测量的熔透宽度、余高和截面积,对应应有 3 个特征参数在控制过程中的变化曲线;有焊接电流、背部熔透宽度、余高、截面积等参数设置和显示的界面;通过触摸屏可以方便地设置整个系统的参数,并能清晰

地实时显示,与焊接熔透控制过程相对应。图 5 为软件用户界面。

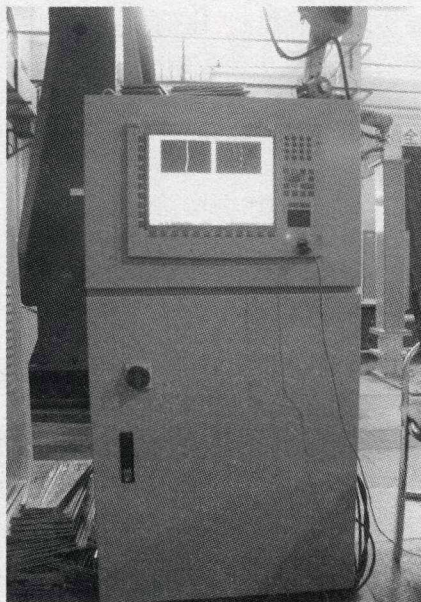


图4 控制柜

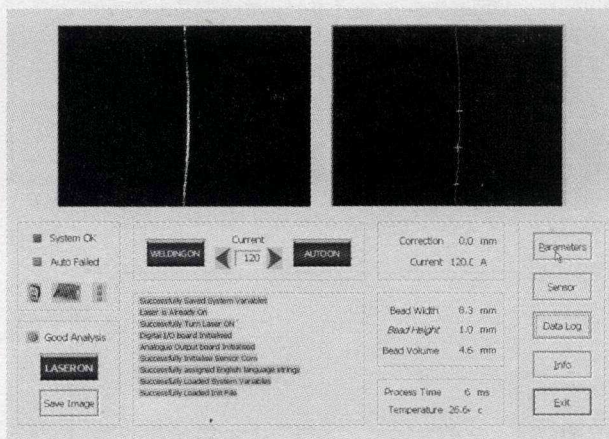


图5 用户界面

2 熔宽控制策略

焊接熔透过程实际上是一个热积累的过程。在焊接过程中只有热量积累到一定程度才能熔透,而熔透后焊接电流的变化却不会使熔宽以同样的速度随之变化,也就是焊缝熔宽对焊接电流的响应具有一定的滞后性,说明熔透过程具有热惯性。如何解决热惯性是控制策略必须考虑的问题。加之激光条纹位于焊枪后方 6 mm 的位置,如何根据检测到焊缝熔宽时的特征参

数实现自适应控制,也是控制策略要解决的一个重要问题。

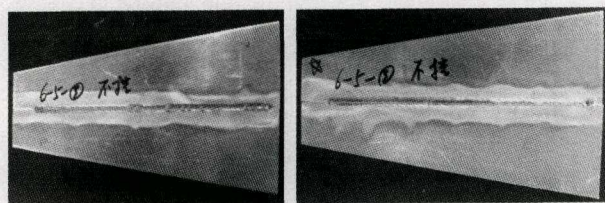
基于以上考虑,系统采用 PD 控制模式,该模式中的微分项能实现超前控制,比例项能实现对误差的迅速调节。连续情况下,电流控制增量式如下:

$$\Delta I(t) = K_p [e(t) + T_D \frac{de(t)}{dt}] \quad (1)$$

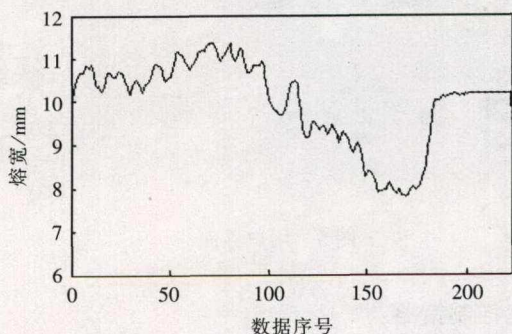
式中: K_p 为电流控制的比例增益; $e(t)$ 为 t 时刻的采样误差; T_D 为电流控制的微分时间。

3 试验结果及分析

在熔透控制试验中,材料为 2219 铝合金,厚度为 6 mm,接头形式为对接,保护气体为氦气。采用变散热对接梯形板来检验熔宽控制的效果。焊接过程中,通过调节电流控制区间、熔宽或截面积区间及 PD 控制模型相关的参数就可以很好的控制熔透的一致。图 6 是未进行熔透控制时梯形板焊件正反面以及对应背部熔宽曲线。焊接电流为 115 A,焊接速度为 12 m/h,电弧高度为 2 mm。



(a) 未采用熔透控制时梯形对接板正反面



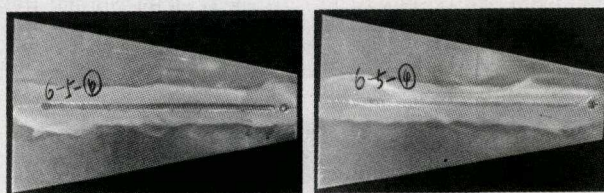
(b) 未采用熔透控制时梯形对接板背部熔宽的变化曲线

图 6 未采用熔透控制时梯形板背部熔宽情况

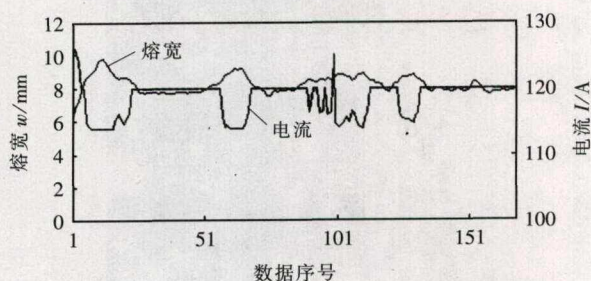
从上图可看出,不进行熔透控制时,随着焊接方向往梯形对接板大端移动,大端由于散热较好,熔宽明显降低;在数据序号 180 以后,背部熔宽又剧烈增大,分析认为是由于焊接试件的散热达到了饱和状态,工件

上积累的热量大于散失的热量,故背部熔宽增大。

图 7 为在同样焊接参数下进行熔宽控制的结果。标准焊接电流为 120 A,最大电流为 126 A,最小电流为 114 A,采用 PD 调节的比例增益 $K_p = 25\%$,微分增益为 35%,背面熔宽目标值为 8 mm,最大允许值为 8.5 mm,最小允许值为 7.5 mm,激光参数固定,焊接速度仍然为 12 m/h,电弧高度为 2 mm 不变。经计算,梯形对接板背部熔透宽度的平均误差为 0.224 5 mm,平方根误差为 0.569 mm。可以看出,该系统控制焊缝背部熔透宽度均匀一致,在 8 mm 上下波动。



(a) 采用熔透控制时梯形对接板正反面



(b) 采用熔透控制梯形对接板背部熔宽的变化曲线

图 7 熔透控制时梯形板的背部熔宽

4 结 论

文中利用基于激光视觉的铝合金 TIG 焊背面熔透系统成功实现了 6 mm 变散热梯形板的背面熔宽控制。试验结果表明,熔宽控制均匀,解决了焊接过程中热惯性问题,PD 控制模式具有反应速度快,超前控制,参数调节简单的优点。

参 考 文 献

- [1] 廖平,杨文杰,王伟. 焊缝熔透检测及控制的国内外发展概况[J]. 佳木斯工学院学报,1997,15(3):245.
- [2] Kovacevic R, Zhang Y M. Vision sensing of 3D weld pool surface[C]. Proceedings of the 4th International Conference on Trends in Welding Research. Gatlinburg, Tennessee, USA, 1995. 5-8.

作者简介: 朱琦,1965 年出生,高级工程师。