

文章编号:1002-025X(2011)01-0014-03

TIG 焊快速制造金属体性能优化研究

罗 勇¹, 李 锐¹, 张 华²

(1.江西理工大学 南昌校区 信息工程系, 江西 南昌 330013; 2.南昌大学 机电工程学院, 江西 南昌 330031)

摘要:介绍了 TIG 焊快速制造金属体成形过程及特点, 通过对金属体各层金相组织特点及形成原理的分析, 提出了一种基于红外测温仪的 TIG 焊快速制造神经网络-PID 温度控制系统, 并介绍了该系统的结构组成及工作流程。试验证明, 该系统的使用结合表面金属无丝焊热处理, 能有效地提高整体金属体的性能。

关键词:快速制造; 金属体; 红外测温仪; 金相组织

中图分类号: TG442 **文献标志码:** B

进入 21 世纪, 基于焊接技术的快速制造研究越来越多, 获得了一定量的特殊结构金属体^[1-2]。TIG 焊快速制造的研究已经开展了 5 年, 工艺不断成熟, 取得了许多研究成果^[3-4]。但由于 TIG 焊快速制造金属体是将焊丝不断熔焊堆积的过程, 金属体每层的受热情况都不同, 导致金属体每层的晶粒结构不同, 层间接缝处晶粒分布有所变化, 这些将影响整个金属体的性能。如何优化金属体的性能, 将成为 TIG 焊快速制造今后的研究重点之一。

1 TIG 焊快速制造金属体成形过程及特点

TIG 焊快速制造系统主要由: Fronius Trans TIG 2200Job G/F 焊机, Fronius KD4010 送丝机, XKA 714B/1E 机床, 世纪星 HNC-22M 数控, 工业控制机等设备组成。

TIG 焊快速制造金属体成形过程: 通过工业控制机对三维模型进行处理与切片生成 STL 文件及数控代码, 控制铣床的运行轨迹, 采用 TIG 电弧作为加热源熔化金属丝, 堆积成形, 最后对表面进一步切削修正, 可获得与模型一致的金属体。

TIG 焊快速制造金属体成形不同于以往的金属铸造成形, 其最大优点在于无需制造金属成形的模具, 金属体制造简单快捷, 非常适合用于研究和产品开发

的少量特殊金属体零器件的制造, 以及金属体工艺品的制造。TIG 焊快速制造与激光金属粉末焊接成形技术相比, 成本低, 制造出的金属体晶粒更为细小, 其金属性能更为优越。

由于 TIG 焊快速制造金属体成形过程是不断熔焊堆积的过程, 整个金属体的形成是靠焊缝的一层层堆积而成, 而在堆积的过程中金属体每层的储热前提与散热环境不同, 通常熔焊金属体过程越长, 金属体不同部位的晶粒结构差异就越大。

2 TIG 焊快速制造金属体金相组织分析

2.1 TIG 焊快速制造墙面金属体成形工艺

图 1a 是 TIG 焊快速制造单向单道 16 层熔焊墙面金属体, 其成形条件为: 采用 TIG 焊直流正接, 堆焊底板材料为 Q235 钢, 规格为 380 mm×80 mm×4 mm, 焊丝材料为 H08Mn2SiA, 直径为 0.8 mm, 焊接速度为 150 mm/min, 送丝速度为 120 cm/min, 熔焊堆积环境温度为 15 ℃, 环境湿度为 24%, 保护气体为 $\varphi(\text{Ar})99.995\%$, 其流量为 15 L/min; 其中 1~3 层的焊接电流为 120 A, 焊接电弧长为 4.5 mm, 焊丝距墙体上表面 2 mm, 4~16 层焊接电流为 85 A, 电弧长为 5 mm, 焊丝距墙体上表面为 2.5 mm。每层熔焊堆积后自然空冷, 冷却时间为 1 min。

该工艺前 3 层堆焊用大电流, 以在工件上形成效果较好的熔池, 从而形成均匀且较宽的墙体基层, 以便于堆积到上层时, 下层金属再受热熔融时不会造成墙体

收稿日期: 2010-08-28

基金项目: 国家“973”资助项目 (2005CCA04300); 江西省自然科学基金项目 (0650092)

变形,上层堆积时电流要控制为较低,这样可以使得下层墙体不会严重熔融。焊丝距墙体较近,可以形成均匀的焊缝,但不宜紧靠墙体,焊丝需有一个预热和加热的过程。图 1b 是从图 1a 中部经过切割取样、研磨、抛光、腐蚀所取得的金相试样。从试样可看到墙体金属体基层比较宽,上层较均匀,平均偏差不超过 5%。



(a) 墙面金属体



(b) 金相试样

图 1 单道多层熔焊墙面金属体及金相试样

2.2 墙面金属体金相组织分析

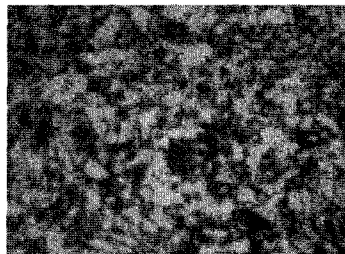
TIG 焊熔池中心温度约为 $2\,000\,^{\circ}\text{C}$,与墙面金属体紧接的工件表面温度约为 $900\,^{\circ}\text{C}$,钢的熔点约为 $1\,500\,^{\circ}\text{C}$,再结晶温度约为 $450\,^{\circ}\text{C}$,对于不同的钢,这些温度的偏差主要由混合杂质引起,但通常不超过 8%。

图 2 为不同层墙面金属体金相组织,从图 2a 中可以看到墙面金属体第 1 层在反复加热和自然冷却后形成了多次再结晶,由于冷却时间间隔相同,温度无法降至 $100\,^{\circ}\text{C}$,而第 2,3 层焊接时采用的焊接电流仍为 $120\,\text{A}$,温度约为 $2\,000\,^{\circ}\text{C}$,积聚于第 1 层金属体内的温度被升高,加热时间也变相地延长了,而此后堆积的焊缝热量都会传递到基层,再通过工件散到空气,这就导致该层散热时间不断延长,部分晶粒长大,使该层晶粒金属的强度,尤其是塑性和韧性下降。图 2b 为墙面金属体第 8 层金相组织,由于采用的是 $85\,\text{A}$ 的焊接电流,温度约为 $1\,600\,^{\circ}\text{C}$,与空气的接触面积相对要大,散热时间相对充足,由于有多次加热后快速冷却的过程,故其晶粒比较均匀细致。图 2c 为墙面金属体第 16 层金相组织,由于是最后的 1 层,只经历了 1 次加热和冷却的过程,导致大部分晶粒较大,使得金属体表面金属强度、硬度、塑性、

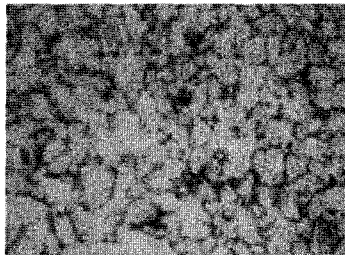
韧性相对较差。



(a) 第 1 层金相组织



(b) 第 8 层金相组织



(c) 第 16 层金相组织

图 2 不同层墙面金属体金相组织

3 TIG 焊快速制造神经网络-PID 温度控制系统

为使 TIG 焊快速制造金属体晶粒分布更为均匀,各层金属强度和硬度能够比较一致。对 TIG 焊快速制造系统进行改进,引入 BP 神经网络温度控制系统。考虑空冷比水冷成本更低、更容易控制、氧化程度更小等优点,该温度控制系统采用冷风扇散热法。

图 3 是 TIG 焊快速制造神经网络-PID 温度控制系统框图,红外测温仪中心、风扇中心与焊枪的中心、送丝管中心共线。红外测温仪选用 Raynger3i-30-3000,为了让红外测温仪传感信道尽量少受干扰,用涂有隔热膜的金属屏蔽器封装,距离焊枪 $30\,\text{cm}$,距离焊缝约 $50\,\text{cm}$,测温射线对正焊枪正下方 $5\sim 10\,\text{mm}$ 处,以保证测温射线能够落在焊缝上。风扇采用涂有隔热膜的钢质叶片和 SOP 高温电机组成,风扇后侧安装可灌入水的钢管网,保证通过风扇的空气温度较低。风扇的位置在红外测温仪的外侧 $20\,\text{cm}$,与水平面呈 $60^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 斜角,这样可以尽量减少将金属

体上升的热空气吹回, 风扇有效覆盖面积为 1 m^2 。

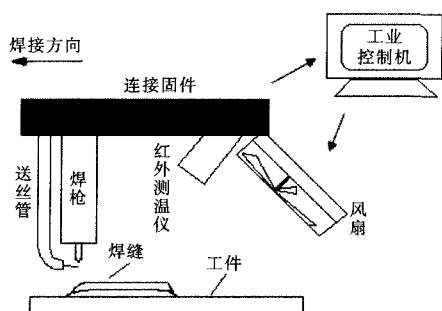


图3 控制系统框图

红外测温仪将温度反馈到工业控制机中的神经网络-PID 温度控制软件系统, 通过神经网络计算风扇电机电流大小并调节风扇的转速, 从而达到每层焊缝降温最快且用时相同的效果, 通常温度降低到 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 即可。图4是神经网络-PID 温度控制系统的工作流程图, 神经网络预测并提供风扇转速, 红外测温仪每 5 s 将温度反馈给工业控制机与神经网络预测的降温参数进行比较, 从而进行精确 PID 控制。部分 BP 神经网络训练用数据库参数结构见表1。

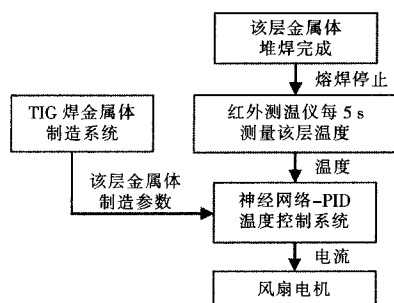


图4 系统工作流程图

表1 神经网络训练数据库

输入参数							输出参数
工件尺寸 /mm	送丝速度 $/(cm \cdot min^{-1})$	焊接速度 $/(mm \cdot min^{-1})$	焊接电流 /A	熔焊时间 /s	目前温度 $^{\circ}\text{C}$	降温时间 /s	风扇电流 /A
380×80×4	120	150	120	20	1 200	60	10
380×80×4	85	150	120	20	1 000	60	6

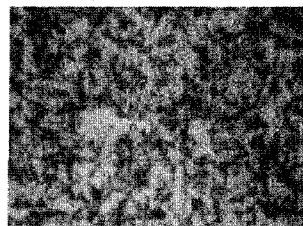
4 试验结果

图5为采用TIG焊快速制造神经网络-PID 温度控制系统后, 按照堆积的墙面金属体的金相组织, 其中第16层在堆焊后, 采用焊接电流为 60 A 的电弧不送丝, 以进行焊接热处理并控制降温。从图中可以看到, 采用温度控制后, 金属体各层的金相组织差别显著减小, 经热处理使得表层金属的晶粒更细小, 使得整个金属体的金属性能更为一致, 金属体整体的强

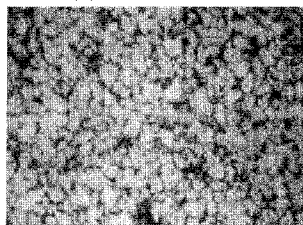
度、硬度更高, 塑性、韧性都更好。



(a) 第1层金相组织



(b) 第8层金相组织



(c) 第16层金相组织

图5 优化后的墙面金属体金相组织

5 结论

笔者所提出的TIG焊快速制造神经网络-PID 温度控制系统和金属体表面无送丝焊接热处理方法, 从试验结果可以看出, 该工艺使金属体各层次晶粒大小分布差别减小, 平均致密度得到提高, 金属体整体性能得到一致化, 其金属性能也得到优化。性能优化后的金属体制作出来的特殊金属零部件更适合在恶劣条件下使用, 从而推进TIG焊快速制造向更广阔的领域发展。

参考文献:

- [1] Toshihide Horii, Soshu Kiriara and Yoshinari Miyamoto. Freeform fabrication of superalloy objects by 3D micro welding[J]. Materials & Design, 2009, 30(4): 1 093-1 097.
- [2] Mumtaz K A, Hopkinson N. Selective laser melting of thin wall parts using pulse shaping[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2010, 210(19): 279-287.
- [3] 李玉龙, 张 华, 张光云, 等. 基于TIG堆焊技术的低碳钢零件精密快速成形[J]. 焊接学报, 2009, 30(9): 37-40.
- [4] 罗 勇, 张 华, 李月华, 等. TIG焊快速制造神经网络焊接参数控制器[J]. 焊接技术, 2007, 36(2): 52-55.

作者简介: 罗 勇 (1981—), 男, 江西南昌人, 硕士, 讲师, 主要研究领域为焊接快速制造及图像处理。