

激光熔覆锤击系统控制电路的设计

张旭方,郭开波

(苏州大学 机电工程学院,江苏 苏州 215021)

摘要:根据 ANSYS 对熔覆层应力场的仿真结果,指导激光熔覆锤击系统锤击力和锤击频率的选择,采用 AT89C52 单片机为控制核心,DAC0832 模数转换器和步进电机 86BYG450A 作为执行装置,设计其电源、锤击力、锤击频率和步进电机控制电路,对 Fe313 的熔覆层进行锤击试验验证。试验表明,系统稳定性良好,锤击频率符合精度要求,锤击使熔覆层的力学性能得到了改善。

关键词:激光熔覆;锤击系统;锤击力;锤击频率;控制电路

中图分类号:TP2 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2020)02-0191-04

Design of Laser Cladding Hammering System Control Circuit

ZHANG Xufang, GUO Kaibo

(School of Mechanical and Electric Engineering, Soochow University, Suzhou 215021, China)

Abstract: According to the simulation results of the stress field of the ANSYS cladding layer, this paper guides the selection of hammering force and hammering frequency in laser cladding hammering system. AT89C52 single-chip microcomputer is used as the control core, DAC0832 analog-to-digital converter and stepping motor 86BYG450A as the execution device, and the control circuit design of power supply, hammering force, hammering frequency and stepping motor is carried out. In the hammering test on the cladding layer of Fe313, the stability of this system is verified, the frequency of the hammering meets the requirements of precision, and the mechanical properties of the cladding layer can be improved.

Keywords: laser cladding; hammering system; hammering force; hammering frequency; control circuit

0 引言

中空激光熔覆是一个局部快速加热和冷却的过程,它引起的不均匀温度场和应力场,使成形件内部产生较大的残余应力,从而导致成形件发生开裂和翘曲,严重影响熔覆成形件的质量^[1]。锤击是熔覆过程中对熔覆层的处理,以消除或者减小熔覆层残余应力的一种加工工艺。锤击带来的振动效果可以抑制熔覆层缺陷的产生,而且可以使熔池凝固的速度加快,结晶组织被锤碎,经过再结晶形成较细小的晶粒,组织的塑性韧性提高,力学性能得到了改善。所以操作方便的锤击法可以节约大量的能源和资金,带来巨大的经济效益。因此,国内外学者进行了关于锤击的一系列研究,SIMONEAU^[2]等研究了锤击法消除不锈钢材料的焊接结构件的焊接残余应力;SIDHOM^[3]针对不锈钢研究表明,锤击处理可显著提高焊接接头的疲劳强度;王晓鹏^[4]对激光模具修复锤击消除应力方法研究,分析了在不同锤击力和锤击频率下,对焊接中应力的影响,但在进行锤击试验时准确控制锤击参数是个难题。为了提高系统参数的控制精度,实现锤击设备的低成本、高质量、高效率的目的,本文采用 AT89C52^[5]单片机为核心,从基于单片机控制系统出发,设计了锤击力和锤击频率的控制电路,完善了锤击力和锤击频率的准确、独立调节。

1 ANSYS 模拟应力场的结果

为了研究熔覆层的应力分布情况,而熔覆层受到的主要拉应力是扫描路径方向,设为 y 方向,所以本文只讨论 y 方向上的应力。在熔覆层中心所得截面中选取节点 $A(x=0 \text{ mm}, z=0 \text{ mm})$ 、 $B(x=0 \text{ mm}, z=0.2 \text{ mm})$ 、 $C(x=0 \text{ mm}, z=0.4 \text{ mm})$ 、 $D(x=0 \text{ mm}, z=0.6 \text{ mm})$,是路径 D 到 A 方向,如图 1 所示。

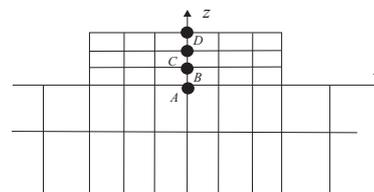


图 1 应力测试的路径

图 2 是应力场的仿真云分布图,图 2(a)是冷却到 40.416 7 s 的等效应力 Von Mises 的云分布图,熔覆层的最大应力达到 241 MPa,这时应力的分布基本上达到稳定。图 2(b)中是 x 方向的应力云分布图,激光束中心处的拉应力值最大,达到 279 MPa。图 2(c)是 y 方向上云分布图,应力的最大值是 190 MPa,但出现最大应力的地方(即

图片中深色的区域)并不是很多,分布在 27 MPa~74 MPa。 z 方向上应力大小如图 2(d) 所示,分布在 209 MPa~252 MPa 之间,而且分布比较均匀。

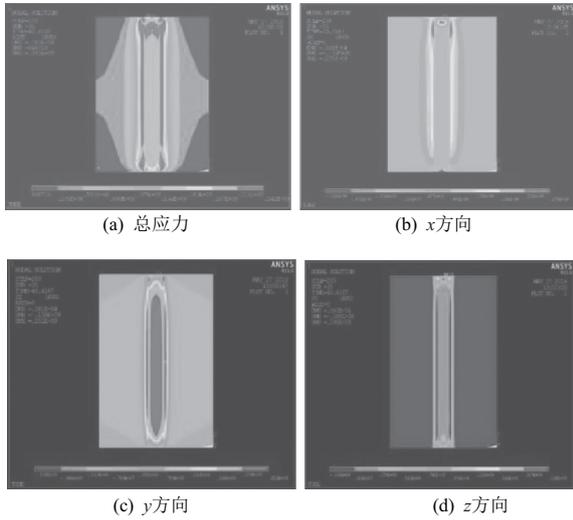


图 2 应力场云分布图

根据前面的基本熔覆工艺参数,分别采用 0 N(未进行锤击处理)、400 N、800 N、1 200 N 的力,在熔覆开始 3 s 后单次锤击作用在节点 D 上,冷却到 40.4167 s 后,对应的 x 方向和 y 方向的应力分布规律如图 3 所示。

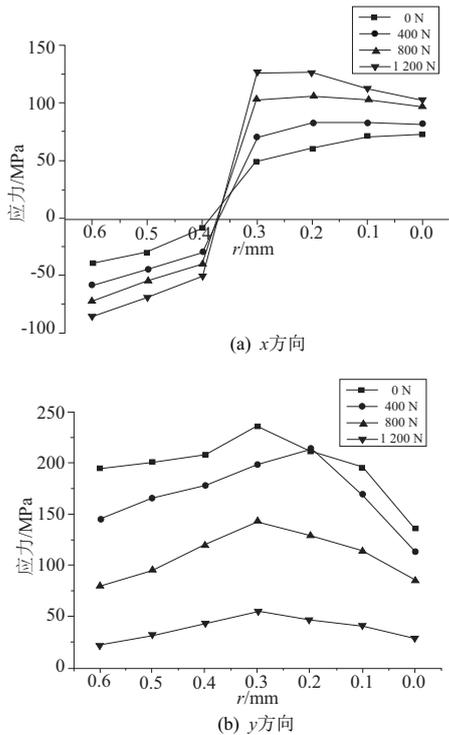


图 3 不同锤击力下熔覆层的残余应力分布

从图 3(a)可以看出,熔覆层中 x 方向上的残余应力主要是压应力,随锤击力的增大,从节点 D 到 A 在熔覆层的残余应力逐渐增大,在熔覆层下 0.2 mm~0.3 mm 处残余应力发生大的跳变。从图 3(b)可以看出,随着锤击力的增加,节点 D 到 A 各个位置都是呈现降低的趋势,残余应

力不断减小;在不同锤击力的作用下,各个节点的残余应力降低的趋势是一致的,都是在熔覆层下 0.3 mm 处应力达到最大值。产生这样情况的原因是,在 x 方向上表现出来的压应力,在 y 方向上表现出来的拉应力;在锤击力的作用下,使熔覆层金属质点沿径向流动,产生两维伸长,这种径向延伸抵消了残余拉伸应变,使 y 方向上的残余应力降低了。

2 锤击系统的总体设计

锤击系统设计思路是通过控制电流大小来控制锤击力的大小,改变电磁锤的通电时间来调节脉冲频率,控制电路的电源来控制电磁装置的启动和停止。系统框图如图 4 所示,单片机 AT89C52 发出信号,经过 PWM 恒频脉宽调制^[6]电路,进行功率的调节,并且通过驱动器对信号进行放大,来控制电磁装置的控制开关。

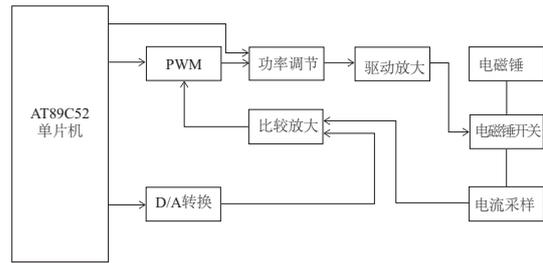


图 4 锤击控制系统框图

3 电路设计

3.1 控制电路电源的设计

控制系统的各个执行装置采用不同的驱动电压,所以在整个控制电路中要对 220 V 的交流电源进行重新设计。提供适合执行装置的稳压电源,控制电路的电源设计如图 5 所示,在 220 V 交流电通过变压器降压和整流电路的处理,使其产生 +16 V 和 -16 V 的电压,图中 a 和 b 的接线点的电压分别是 +16 V 和 -16 V,用变压器中心抽头为地的 ± 12 V 电源电路,7812 正电压三端稳压集成块和 7912 负电压三端稳压集成块,再在 ± 12 V 后接 7805(正电压三端稳压集成块)和 7905(负电压三端稳压集成块)就产生 ± 5 V 的电源。

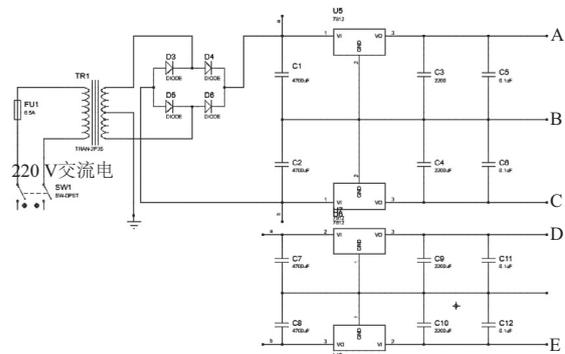


图 5 电源设计的电路图

3.2 锤击力的控制电路

通过调节电流大小,可实现对锤击力控制。锤击力的控制电路如图 6 所示,单片机输出合适的电流,通过

DAC0832 转换器,送到比较器与采样得到的电流大小进行比较,后经 PWM 进行调节得到稳定的电流值,以输出的电流实现锤击力大小的控制。该电路由单片机、模数转换器 DAC0832、运算放大器和电流的采样电路组成。

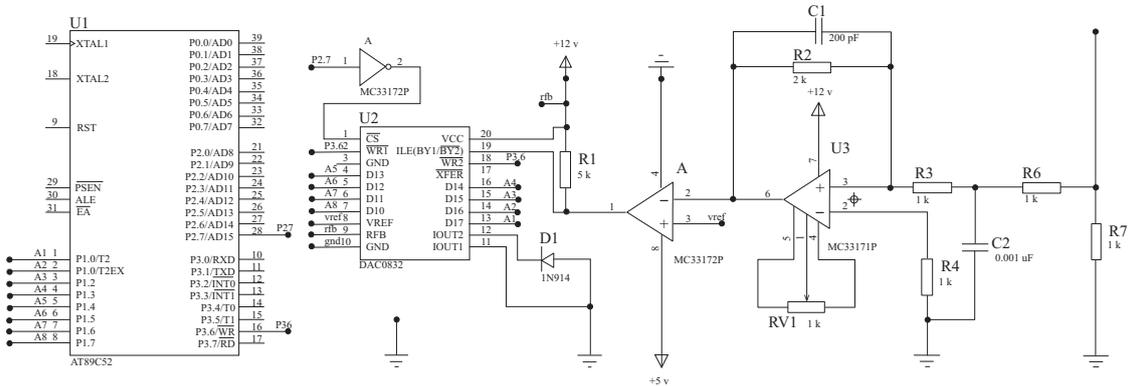


图 6 锤击力的控制电路图

3.3 锤击频率的控制电路

频率控制的准确度,直接影响着熔覆层锤击实验的结果,因此频率的控制电路需要按要求的精度进行设计,如图 7 所示,当电磁锤通电,单片机 AT89C52 输出仿真频率相当的触发脉冲,通过调节输出脉冲的频率来实现频率的控制。频率的控制电路由功率驱动电路 TLP250^[7]、后接触发器 4013 和与非门 4081 组成,该控制电路可以完成调节频率,控制电路成为功率场效应管的驱动电路。

4 试验结果与分析

根据上面设计的锤击装置,在中空激光熔覆时,对熔覆层进行锤击试验。为了解锤击前后熔覆层拉应力(沿路径 D 到 A)的分布情况,对熔覆层采用 X-350A 型 X 射线衍射仪测定应力,测量时采用侧倾固定 ψ 交互关法定峰,倾斜角 ψ 依次选择 0° 、 24.2° 、 35.3° 、 45° ,扫描起始角为 132° ,结束时为 125° , 2θ 扫描步距为 0.1° ,计数时间 1.0 s,准直管直径 2 mm。采用 1:1 的高氯酸与甲醇混合溶液,对锤击的熔覆层进行逐层剥离电解抛光,沿路径上的应力如图 9 所示。

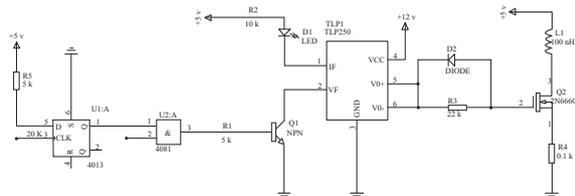
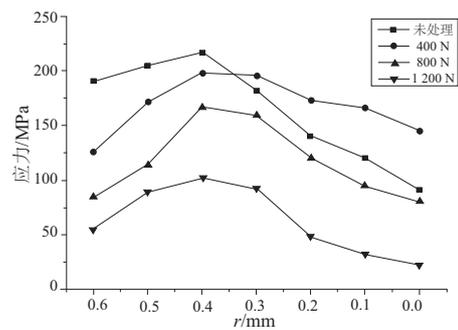


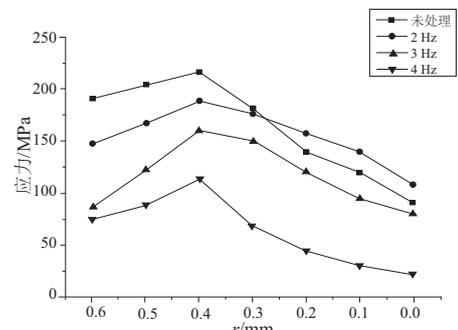
图 7 锤击频率的控制电路图

3.4 步进电机的控制电路

锤击系统中为了准确调节锤击头的位置,采用步进电机更改锤击头的位置。锤击装置的步进电机采用 86BYG450A 作为执行装置,控制步进电机的驱动器采用 MS-2H090M。步进电机的控制电路如图 8 所示,单片机 AT89C52 的 P2.5 和 P2.6 引脚输出信号连接在驱动器 MS-2H090M 的 CP 和 DIR 引脚,驱动器再和步进电机 86BYG450A 连接。DIR 信号控制电机的正反转,单片机发出的 CP 脉冲的个数,使步进电机完成定位。



(a) 不同锤击力



(b) 不同锤击频率

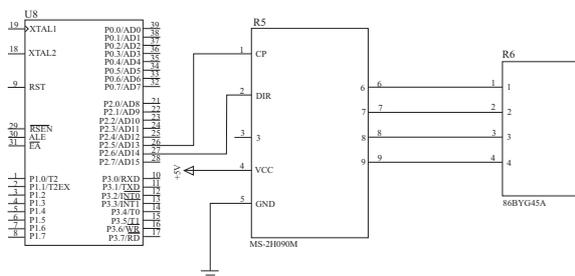
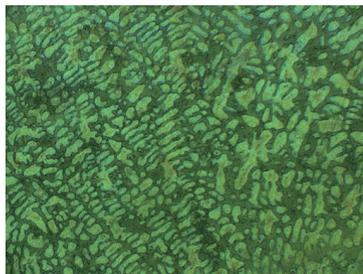


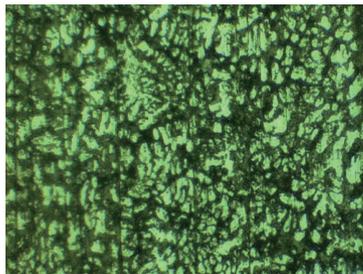
图 8 步进电机驱动的控制电路图

实验测得熔覆层应力和仿真时的趋势一致;从图9(a)可知,当锤击频率一定时,随着锤击力的增加,熔覆层沿D到A路径上应力降低的效果越明显;从图9(b)可知,当锤击频率一定时,随着锤击频率的增加,熔覆层沿D到A路径上应力消除越来越明显。

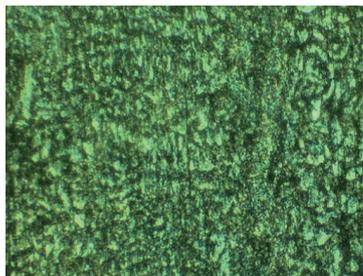
沿着节点的路径将熔覆层切开,通过镶样、磨样和腐蚀处理,用德国某公司生产的光学显微镜LaicaDM4000M^[8]观察熔覆层的显微组织。熔覆层放大1000倍的金相图如图10所示。



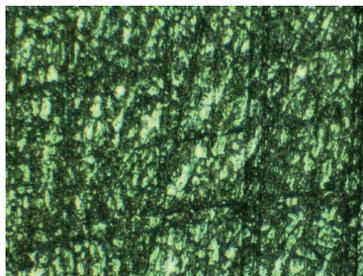
(a) 0 N



(b) 400 N



(c) 800 N



(d) 1 200 N

图10 锤击频率4 Hz熔覆层金相组织图

图10(a)中的金相组织图显示的是没有进行锤击的熔覆层金相组织图,图10(b)-图10(d)分别是频率为4 Hz时锤击力为400 N、800 N、1200 N时的金相组织图,随着锤击力的增加,晶界被打破,晶粒进一步变小,组织的塑性韧性提高,其力学性能得到了改善。对比分析:可以看出锤击使熔覆层组织改善的原因是:1) 锤击使熔池凝固的速度加快,结晶组织被锤碎,经过再结晶形成较细小的晶粒;2) 熔池凝固的速度加快,析出强化相,产生固溶强化和沉淀强化,提高了接头组织的致密度,减少了表面缺陷。

5 结语

1) 通过电流的大小来控制锤击力的大小,通过与非门4081的2号引脚的频率输出来控制锤击装置的频率;

2) 设计出来的锤击系统,具有工作稳定,控制简单,可以快速地启动和停止,方便调节和控制,锤击的频率符合精度要求;

3) 在中空激光熔覆时,对熔覆层进行锤击处理,试验的结果表明,晶界被打破,晶粒进一步变小,组织的塑性、韧性提高,其力学性能得到了改善。

参考文献:

- [1] 杨健,陈静,杨海鸥,等.激光快速成形过程中残余应力分布的实验研究[J].稀有金属材料与工程,2004,33(12):1304-1307.
- [2] SIMONEAU M R, THIBAUT M D, FIHEY J L. A comparison of residual stress in hammer-peened, multi-pass steel welds-A514 (S690Q) and S41500[J]. Welding in the World, 2009, 53(5/6):124-134.
- [3] SIDHOM N, MAKHLOUF K, KHLIFI A, et al. Assessment of low cycle fatigue improvement of machined AISI 316 stainless steel by brush hammering[J]. Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures, 2015, 37(10):1087-1100.
- [4] 王晓鹏.激光模具修复锤击消除应力方法研究[D].哈尔滨:哈尔滨理工大学,2017.
- [5] 王涛,吴黎明,张晓.三相电压型脉宽调制整流器定频模型预测控制[J].电机与控制应用,2017,44(5):17-21.
- [6] 崔彩云.电磁锤高频锤击控制系统研究[D].保定:河北农业大学,2012.
- [7] 陈永军,翁惠辉,李俊杰.TLP250功率驱动模块在IRF840 MOSFET中的应用[J].今日电子,2005(1):61-63.
- [8] ROSNER S, RIEGLER M, VONTOBEL P, et al. Within-ring movement of free water in dehydrating Norway spruce sapwood visualized by neutron radiography[J]. Holzforschung, 2012, 66(6):751-756.

收稿日期:2018-01-03