

文章编号: 1001-3806(2008)06-0608-03

## 激光金属沉积成形基板预热的研究

孙少妮

(东北大学 机械工程及自动化学院, 沈阳 110004)

**摘要:** 为了降低激光金属沉积成形过程中试样和基板间的温度梯度, 减小和抑制成形过程的热应力, 提高试样的成形质量, 提出并设计了一种用于激光金属沉积成形的基板预热系统。该系统由基板预热器、智能比例微积分控制器以及计算机串口温度采集反馈控制等 3 部分组成。利用自行研制的激光金属沉积成形设备和基板预热系统进行了成形实验。实验结果表明, 基板预热可以改善试样的成形质量, 降低成形过程的热应力。

**关键词:** 激光技术; 激光金属沉积成形; 基板预热; 热应力; 成形质量

**中图分类号:** TF124 **文献标识码:** A

### Research of substrate preheating for laser metal deposition shaping

SUN Shao-ni

(College of Mechanical Engineering and Automation, Northeastern University, Shenyang 110004, China)

**Abstract** In order to decrease the temperature gradient between sample and substrate, reduce and suppress the thermal stress, improve the quality of sample forming, a substrate preheating system for laser metal deposition shaping (LMDS) is developed. It consists of substrate preheater, intelligent proportion integral derivation controller and computer serial collecting and feedback control components. Using the self-developed LMDS system and substrate preheating system, the actual experiments are conducted. Experimental results show that substrate preheating can significantly improve the quality of the sample and reduce the thermal stress during shaping process.

**Key words** laser technique; laser metal deposition shaping; substrate preheating; thermal stress; shaping quality

### 引 言

激光金属沉积成形是基于叠加思想通过材料的层层累积来成形金属零件。整个成形过程都是在高温条件下进行的, 成形过程中所具有的能量集中输入、快速加热冷却等特点使得成形试样内部以及试样与基板间存在着巨大的温度梯度, 并使得试样在成形过程中产生很大的热应力, 当热应力达到材料极限时, 试样将产生裂缝甚至发生断裂。因此, 如何降低成形过程的温度梯度和热应力、抑制沉积过程试样裂缝的产生成为激光金属沉积成形技术迫切需要解决的重要问题。

基板预热是解决这一问题的有效途径, 它在有效地降低成形过程中试样和基板的温度梯度的同时, 还可以让成形过程的温度场更加均匀稳定。目前关于预热的研究主要集中在选择性激光烧结的粉床预热上,

基板预热在激光金属沉积成形加工过程中的应用尚未见报道<sup>[1]</sup>。作者基于热传导理论, 设计了一种用于激光金属沉积成形的基板预热系统。它采用智能比例积分微分 (proportion-integral-derivation, PID) 控制器和计算机串口温度采集反馈控制实现了基板预热温度的连续调节和实时记录。利用自行研制的激光金属沉积成形设备和基板预热系统进行了成形实验, 实验结果表明, 基板预热可以提高成形材料的沉积率, 降低成形过程的热应力。

### 1 激光金属沉积成形基板预热系统的硬件组成

激光金属沉积成形基板预热系统的硬件主要由 3 个部分组成: 基板预热器、智能 PID 温度控制和基板预热温度串口实时采集和反馈控制系统, 见图 1。

#### 1.1 基板预热器

基板预热器的工作环境既高温又多尘, 同时还要求加热升温迅速并能保持恒定温度。因此, 基板预热器主要由加热管、箱体、耐火瓷板、隔热石棉材料、紫铜板等组成。其中加热管为大功率不锈钢电加热管, 既能保证快速升温的需要, 还耐灰尘, 不易产生短路; 箱体为两层结构, 中间填充隔热材料, 既可以隔热又可以

基金项目: 国家八六三高技术研究发展计划资助项目 (2002AA420060)

作者简介: 孙少妮 (1978), 助教, 硕士, 现主要从事激光金属材料加工及 3 维曲面重建等方面的研究。

E-mail: eton2005@163.com

收稿日期: 2007-09-18 收到修改稿日期: 2007-10-08

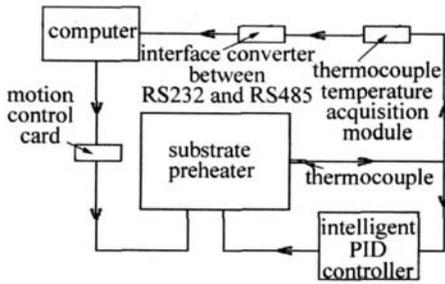


Fig 1 Sketch map illustrating the connection between the temperature testing system and the temperature collecting system

保温,还能减少加热管启动的频率,增加加热管的寿命;耐火瓷板用来在箱体上固定加热管,同时还可以将加热管与预热器底板隔开,避免预热器底部由于与加热管接触而温度太高;紫铜板由箱体支撑并被放置在不锈钢加热管上方,由于纯铜的导热性能优异,可以满足快速升温的需要。同时,一定厚度纯铜板的热容量很大,这样既可以让基板受热更均匀,也可以降低预热温度变化的频率,减少加热管的启动频率。

### 1.2 智能 PID 温度控制

基板预热系统的温度控制采用双路控制系统,其中智能 PD 温度控制器是其中之一。它可以实现基板预热温度在室温 ~ 560°C 之间连续可调,精度可以达到  $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 。它主要由直流电源、智能 PID 温度控制器、铠装 PT100 铂热电阻 (测温范围:  $-200^\circ\text{C} \sim 600^\circ\text{C}$ )、固体继电器等组成。直流电源用来给智能 PID 温度控制器供电。智能 PID 温度控制器的输入端接 PT100 铂热电阻,铂热电阻安装在基板预热器紫铜板的一侧,用来实现对基板预热温度的采集,控制器的输出端通过固体继电器接大功率不锈钢加热管。当预热温度低于设定温度时,智能 PID 温度控制器接通固体继电器,固体继电器接通不锈钢加热管,从而对紫铜板进行加热;当紫铜板的温度达到设定温度时,智能 PID 温度控制器断开固体继电器,固体继电器又断开不锈钢加热管,从而停止对紫铜板加热,这样就形成了对基板预热温度的闭环控制。

### 1.3 基板预热温度串口实时采集和反馈控制系统

基板预热温度串口实时采集反馈控制是基板预热系统双路温度控制中除智能 PID 温度控制的另外一种温度控制方式。它既可以用来对基板预热器的预热温度进行实时监测和记录,还可以取代智能 PID 温度控制器对基板预热温度进行控制。它的温度采集部分主要包括串行通信接口转换模块和温度数据采集模块,信号传输协议采用 ASCII 命令/响应协议。计算机作为上位机,它通过串行通信技术,控制和管理以单片机为控制核心的底层硬件系统模块。计算机通过 RS-232-C 口与 ADAM-4520 接口标准转换模块相连接,实

现 RS232 和 RS485 接口标准的转换。前端设备采用 RS485 接口标准的 ADAM-4018 热电偶温度采集模块和 PT100 铂热电阻相连,将预热温度的模拟信号转换为数字信号。它的温度控制模块主要包括运动控制卡、继电器等。

计算机的串口通讯基于 VC++ 6.0 中串行通信功能完备的 ActiveX 控件——MSComm 控件来进行 PC 机与 RS232 标准串口的串行通信,从而实现对基板预热温度的实时温度采集,其流程图如图 2 所示。

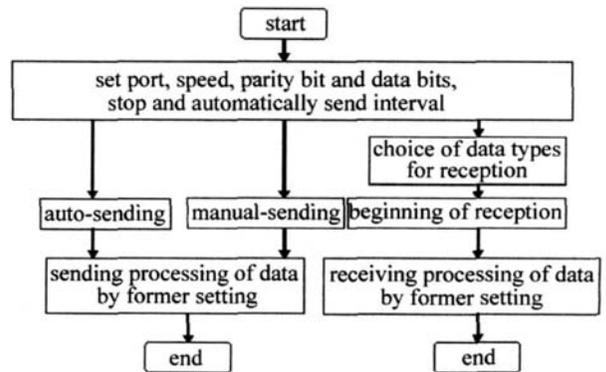


Fig 2 Flowchart regarding concept design of temperature collecting serial programming

## 2 基板预热成形实验

采用 Ni60A 粉末,在激光功率 800W、光斑直径 1mm、扫描速度 5mm/s 等条件下,利用自行研制的激光金属沉积成形设备和基板预热系统进行了金属沉积成形实验。实验按室温, 300°C, 400°C, 500°C, 560°C 等情况分别进行,沉积 3 层。由于沉积过程中热应力的实时测量和采集是非常困难的,这里通过基板变形来反映成形过程的热应力。为了直观地反映成形过程中的热应力,实验中采用了 2mm 厚的基板并且没有施加任何约束,可以在热应力作用下产生较大的变形。

图 3 为基板在室温和分别预热到 300°C, 400°C, 500°C, 560°C 时得到的成形试样照片,图中基板预热后

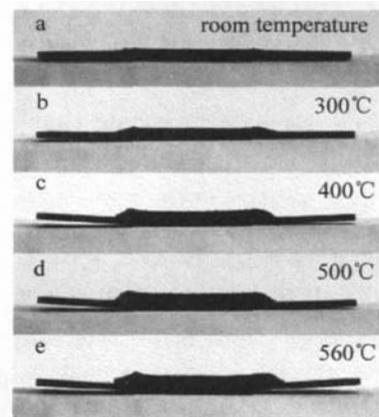


Fig 3 Samples gotten under different substrate preheating temperature

得到的成形试样高度明显比未预热时要高,这是因为基板预热提高了沉积材料的沉积率。另见图 3a,基板在  $x$  方向存在沿负  $z$  方向的弯曲变形,这是因为成形开始之后,基板上表面的受热膨胀受到温度相对较低的下表面的约束,从而产生沿负  $z$  方向的弯曲变形。当试样冷却时,热流传入周围材料,试样内部的热应力逐渐转变成拉伸热应力,试样开始产生沿  $z$  方向的弯曲变形,但这种变形要小于沉积过程中沿负  $z$  方向的弯曲变形,所以,基板最终呈现的仍然是沿负  $z$  方向的弯曲变形。如图 3e 所示,基板  $x$  方向的弯曲变形主要沿  $z$  方向,与未预热时试样的弯曲变形方向相反。这是因为虽然基板在成形开始之后由于热膨胀受到约束而产生沿负  $z$  方向的弯曲变形,但预热使得此时基板沿负  $z$  方向的变形要远小于未预热时,同时预热也降低了试样  $x$  方向的拉伸热应力。当试样冷却时,巨大的温度变化和试样沉积高度的增加使得由试样内部热应力转变而成的拉伸热应力较未预热时激增,此时试样产生的沿  $z$  方向弯曲变形远大于沉积过程中产生的沿负  $z$  方向的弯曲变形,所以试样最终呈现沿  $z$  方向的弯曲变形。

图 4 为基板在室温和分别预热到 300℃, 400℃, 500℃, 560℃ 时得到的成形试样表面质量情况。图 4a

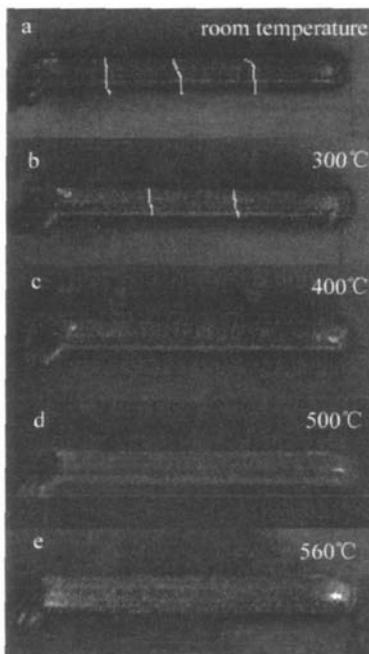


Fig 4 Surface conditions of the samples gotten under different substrate preheating temperature

为基板未预热时得到的成形试样,它的表面存在好几道裂缝(图中白线所示),且表面沟壑分明,成形质量不好;图 4e 为基板预热到 560℃ 时得到的试样,这时的试样不仅成形高度较未预热时高很多,而且表面质

量也得到很大的提高。

综上所述,基板预热确实可以降低成形过程热应力,改善成形质量。为此后的成形工艺参量优化提供了依据。

### 3 结 论

基于热传导理论设计了一种用于激光金属沉积成形的基板预热系统。它采用智能 PID 控制器和计算机串口温度采集反馈控制实现了基板预热温度的连续调节和实时记录。利用自行研制的激光金属沉积成形设备和基板预热系统进行了成形实验,实验结果表明,基板预热可以提高成形材料的沉积率,降低成形过程的热应力。这为以后的工艺参量优化提供了依据。对基板预热温度的优化选择是下一步将要进行的工作。

### 参 考 文 献

- [1] SHIY S, ZHONG JW, CAID S, *et al*. Investigation on the preheating temperature control based on part's slicing in selective laser sintering [J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering 2006, 42(6): 67-72 (in Chinese).
- [2] LIX S, SHIY S, HUANG SH. Investigation on preheating of powder in SLS machine [J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering 2002, 38(3): 94-98 (in Chinese).
- [3] CHENG J, CAID S, SHIY S. Numerical simulation of temperature field of preheating process in selective laser sintering [J]. New Technology & New Process 2006(5): 75-77 (in Chinese).
- [4] LONG R Sh, LIU W J. Numerical simulation of thermal stress on laser metal deposition shaping [J]. High Technology Letters 2007, 17(2): 46-51 (in Chinese).
- [5] LONG R Sh, LIU W J, SHANG X F. Numerical simulation of temperature field on laser metal deposition shaping [J]. Laser Technology 2007, 31(4): 394-396 (in Chinese).
- [6] ZHANG JY, GAO L X, CUI L L, *et al*. Analysis of the temperature field induced by laser strengthening [J]. Laser Technology, 2006, 30(1): 56-59 (in Chinese).
- [7] ZENG D W, XIE Ch Sh. A numerical simulation for three dimensional quasi state fluid flow field and temperature field in molten pool for composite coating system [J]. Laser Technology, 2000, 24(6): 370-374 (in Chinese).
- [8] WANG X F, LÜ X D, CHEN G N, *et al*. Simulation and verification of the temperature field in laser hardening [J]. Laser Technology, 2004, 28(2): 162-165 (in Chinese).
- [9] XIM Zh, YU G. Numerical simulation for the transient temperature field of 3-D moving laser molten pool [J]. Chinese Journal of Lasers, 2004, 31(12): 1527-1532 (in Chinese).
- [10] XIM Zh, ZHANG Y Zh, SHI L K, *et al*. Numerical simulation of 3-D transient temperature field in thin-wall metal parts fabricated by laser direct deposition [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2003, 13(4): 887-892 (in Chinese).
- [11] YANG J. Research on mechanical behavior of laser rapid forming metal part [D]. Xi'an Northwest Polytechnical University, 2004: 35-69 (in Chinese).