

文章编号: 1001-3806(2009)06-0568-03

## 激光再制造粉末输送流量检测系统设计

张毅,姚建华\*,胡晓冬,陈智君

(浙江工业大学 机械制造及自动化教育部重点实验室,杭州 310014)

**摘要:** 为了检测粉末的流量,设计了一种激光再制造粉末输送流量检测系统,采用电容传感器来检测流量的变化并以 2Cr13 和 H13 金属粉末作为输送介质进行了测试试验。结果表明,输送介质为 H13 粉末的情况下获得较好的检测效果,在粉末的浓度变化大于  $10^{-1}$  g/min 时具有较好的分辨率。该系统可以用于送粉系统粉末流的检测。

**关键词:** 测量与计量;粉末浓度检测;电容法;气固两相流

中图分类号: TB937 文献标识码: A doi:10.3969/j.issn.1001-3806.2009.06.003

## Design of measurement system of powder flow in laser remanufacturing technology

ZHANG Yi, YAO Jian-hua, HU Xiao-dong, CHEN Zhi-jun

(MOE Key Laboratory of Mechanical Manufacture and Automation, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

**Abstract:** In order to measure the powder flow, a measurement system of powder flow in laser remanufacturing technology was designed. The variance of the powder flow was detected with a capacitance sensor and with 2Cr13 and H13 metal powder as transmission medium, experiments were carried out. The results show that a smaller solution can be obtained if the change of powder density is larger than  $10^{-1}$  g/min with H13 metal powder as medium. The system can be used to measure powder flow.

**Key words:** measurement and metrology; powder concentration measurement; capacitance method; gas/solid two-phase flow

### 引言

激光再制造技术是一种全新概念的先进修复技术,它集先进高能束技术、先进数控和计算机技术、CAD/CAM 技术、先进材料技术、光电检测控制技术为一体,不仅能使损坏的零件恢复原有或近形尺寸,而且性能达到或超过原基材水平<sup>[1-2]</sup>。激光再制造的基础是激光熔覆,而激光熔覆过程中熔覆层的质量(如表面粗糙度等)很大程度上取决于送粉过程是否稳定,此外,送粉率的精确控制也是制造梯度材料零件的基础<sup>[3-7]</sup>。所以,通过检测装置检测粉末在送粉管里的流量来反应送粉率的稳定与否,对实现粉末的闭环控制并进而提高表面熔覆质量具有重要意义。

激光再制造中的粉末流属于气固两相流,因气固两相流动的复杂使得检测技术存在不少困难。目前还没有理论模型能完整地阐述其流动规律特性,故实验成

为研究其规律的主要手段之一。现阶段用于气固两相流的测量方法主要有光学法、电容法、超声波法等。因电容传感器的工作原理简单、可靠,可实现非接触测量而不破坏流体的流场,适合于恶劣条件下工作,且响应速度快<sup>[8]</sup>,故选择电容法作为测量方法。电容法测量气固两相流固相浓度的原理是基于流体通过电容极板形成的敏感电场时,气固流体混合物浓度(即等效介电常数)的变化将引起电极电容值相应变化,这样使测量固相浓度问题转化为检测电容值的问题。故电容传感器成为一般气固两相流检测中最佳选择<sup>[9]</sup>。

### 1 电容式气固两相流粉末浓度测量系统

电容式气固两相流固相浓度测量系统如图 1 所示,由电容传感器、电容测量电路和信号输出 3 部分构成。

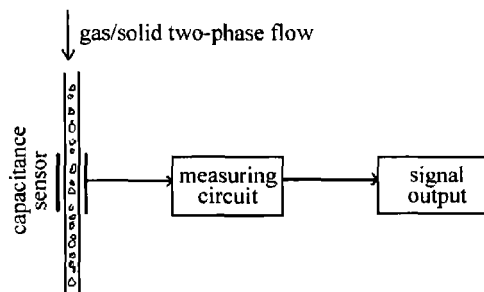


Fig. 1 Capacitance based system for powder concentration measurement

基金项目:科技部国际科技合作基金资助项目(JG-JD-2008001);浙江省教育厅科研基金资助项目(20070351;20060824)

作者简介:张毅(1984-),男,硕士研究生,主要从事激光送粉系统闭环系统的研究。

\* 通讯联系人。E-mail:laser@zjut.edu.cn

收稿日期:2008-10-21;收到修改稿日期:2008-11-13

### 1.1 测量电极设计

为了使固相浓度测量少受流型的影响,本文中采用180°螺旋表面极板<sup>[10-11]</sup>。螺旋式表面极板是一种新型的传感器结构,如图2所示,由4块极板构成:源

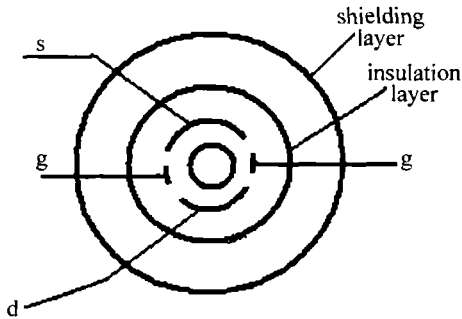


Fig. 2 Capacitance electrode

极板 s, 检测极板 d, 对称两边保护极板 g, 它们同时沿管道方向扭转 180°。检测场发生了扭转,其灵敏度的分布特性发生了很大变化,具有相对均匀的灵敏度分布。作者选用内径为 6mm、外径为 10mm、长度为 900mm 的橡胶管作为实验段;电容传感器电极选用 0.03mm 的铜箔,电极紧贴在橡胶管的外壁上,电极外缠绕着硅胶片作为绝缘层,绝缘层外是由金属壳体作为屏蔽层。

### 1.2 测量电路设计

测量电路基于一款 CMOS 二元调宽式信号拾取专用集成电路——BH5001。BH5001 的内部结构图 3 所示。图中虚线框内为外接差动式电容传感器的两个可

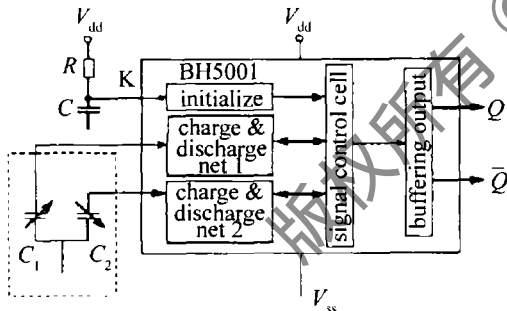


Fig. 3 The internal frame of BH5001

变电容 C<sub>1</sub> 和 C<sub>2</sub>。BH5001 工作原理如下:设直流电源接通时(例如 V<sub>dd</sub> = 6V),Q 端为高电平,Q̄ 端为低电平,则信号控制单元使充放电网络 1 向电容 C<sub>1</sub> 充电, C<sub>1</sub> 上电压渐升,一旦达到电路控制电平值,信号处理单元使 Q 端立即变为低电平,而 Q̄ 端为高电平;此时,电容 C<sub>1</sub> 上的电压经充放电网络 1 迅速放电至 0,同时信号控制单元使充放电网络 2 向电容 C<sub>2</sub> 充电, C<sub>2</sub> 上电压渐升,一旦达到电路控制电平值,信号处理单元再次使 Q 端为高电平, Q̄ 端为低电平;于是又开始下一周期的 C<sub>1</sub> 充电 C<sub>2</sub> 放电……如此周而复始,在 BH5001 电路的输出端(即 Q 与 Q̄)各产生一串其宽度受 C<sub>1</sub> 和

C<sub>2</sub> 电容变化量控制的矩形方波。当被检测的物理量使电容 C<sub>1</sub> > C<sub>2</sub> 时,两端出端的电压平均值之差为:

$$\Delta U = \frac{T_1 - T_2}{T_1 + T_2} U_1$$

其中  $T_1 = RC_1 \ln \frac{U_1}{U_1 - U_2}$ ,  $T_2 = RC_2 \ln \frac{U_1}{U_1 - U_2}$ , U<sub>1</sub> 即为 V<sub>dd</sub>, 而 U<sub>2</sub> 则为信号控制处理单元所设定的控制电平值, T<sub>1</sub> 和 T<sub>2</sub> 分别是 Q 端与 Q̄ 端高电平所占的周期时间。

### 1.3 信号输出

信号的输出和数据的保存由 TDS2012B 数字存储示波器来完成。当 C<sub>1</sub> 为固定电容(20pF), C<sub>2</sub> 为检测电容的情况下,图 4 和图 5 分别是送粉速度为 0g/min 和 48.5g/min 时的 Q̄ 端输出的波形图。

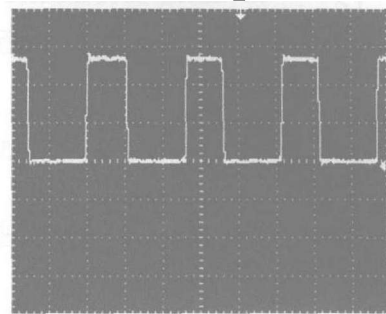


Fig. 4 The output chart when the powder deliver velocity is 0g/min

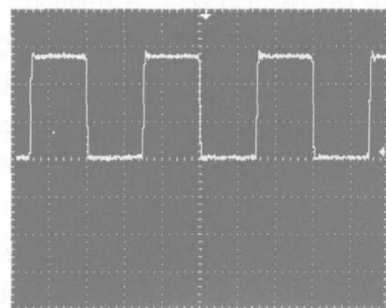


Fig. 5 The output chart when the powder deliver velocity is 48.5g/min

## 2 粉末流量检测系统

如图 6 所示,粉末检测系统由控制电机、送粉器、

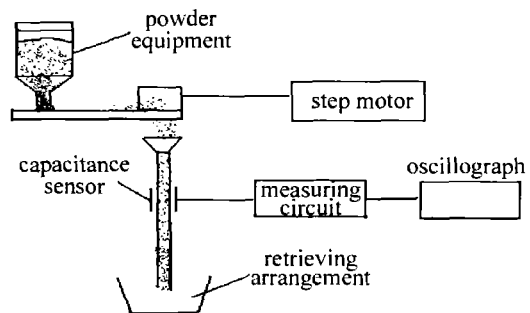


Fig. 6 Powder flow measurement system

粉末浓度测量系统及收集装置组成。通过调节控制电机的档位来调节送粉器的送粉速度,从而大致控制了导管中粉末的浓度(送粉器采用刮板结构送粉装置,

通过调节电机的转速控制粉末输送数量)。粉末的浓度经浓度测量系统转化为数字输出。粉末收集装置用来收集金属粉末。

### 3 实验结果与讨论

实验中采用 2Cr13 和 H13 金属粉末作为输送介质进行测试,如图 7 所示,本次实验选取了控制电机档

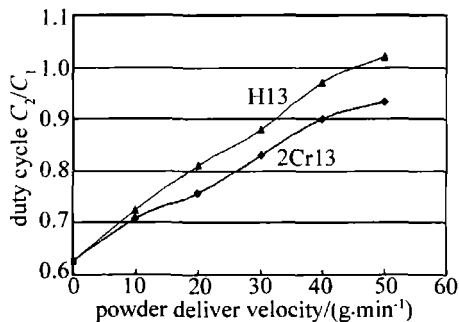


Fig. 7 The relation of duty cycle and powder deliver velocity

位为 10g/min, 20g/min, 30g/min, 40g/min, 50g/min 作为测试点,所得到的占空比  $T_2/T_1$  即  $C_2/C_1$  与送粉速度之间的关系,从图中可以看出,随着送粉速度的增加  $C_2/C_1$  也随之呈较线性的增大,这就为进一步研究整个粉末的闭环系统,从而进行精确地送粉提供了一个检测方法。从图中还可以看出,在相同的送粉速度下,输送介质为 H13 金属粉末时占空比的变化较输送介质为 2Cr13 金属粉末时大些,说明当以 H13 金属粉末为输送介质的情况下能获得较好的检测效果。这主要是因为 H13 金属粉末的磁性较好,在相同的送粉速度下具有较大的介电常数。

但是在实验中也发现当送粉速度变化较小时(不大于  $10^{-1}$ g/min)占空比变化不是很明显,这也就是说当粉末浓度变化较小时本电路的分辨率不够,有待进一步研究。

### 4 结论

介绍了一种激光再制造输送系统粉末流量检测方

法,并以 2Cr13 和 H13 金属粉末作为输送介质进行测试试验,为进一步研究粉末流在输送导管里的浓度变化并进行在线检测提供了基础。实验表明:输送介质为 H13 金属粉末的情况下获得较好的检测效果;此检测系统对于粉末的浓度变化大于  $10^{-1}$ g/min 时具有较好的分辨率,可以用于送粉系统粉末流的检测。

### 参考文献

- [1] ZHENG G Q. Laser advanced manufacture [M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2002: 121-150 (in Chinese).
- [2] PENG D F, WANG Y Q, LI B. Real-time power measurement and control system of high power CO<sub>2</sub> lasers [J]. Laser Technology, 2006, 30(5): 483-485 (in Chinese).
- [3] XU D P, ZHOU J Z, GUO H F, et al. Quality prediction of laser cladding layer based on improved neural network [J]. Laser Technology, 2007, 31(5): 511-514 (in Chinese).
- [4] VERRET P A, ENGEL T H, FONTAINE J. Laser cladding: the relevant parameters for process control [J]. SPIE, 1994, 2207: 452-462.
- [5] LI I, STEEN W M. Sensing, modeling and closed loop control of powder feeder for laser surface modification [C]//Proceedings of ICALEO, Orlando, ICALEO, 1993: 965-974.
- [6] GRUNENWALD B, NOWOTNY S T, HENNING W, et al. New technology developments in laser cladding [C]//Proceedings of ICALEO, Orlando, ICALEO, 1993: 934-944.
- [7] JENG J Y, QUAYLE B, MODERN P J, et al. computer control of laser multi-powder feeder cladding system for optimal alloy scan of corrosion and wear resistance [C]//Proceedings of Japan Laser Processing Society. Nagaoka, Japan: Japan Laser Processing Society, 1992: 819-824.
- [8] WANG X M, WANG H. Research on measurement of gas/solid two phase flow rate based on the principle of differential auto-correlation [J]. Process Automation Instrumentation, 2004, 25(9): 4-7 (in Chinese).
- [9] BECK M S, GREEN R, THORNR C. Non-intrusive measurement of solid mass flow in pneumatic conveying [J]. Journal of Physics, 1987, 20(5): 835-840.
- [10] JIN F, XU H, YAN H, et al. Gas/solid two phase flow capacitance sensor [J]. Journal of Northeastern University (Natural Science), 1999, 20(1): 25-28 (in Chinese).
- [11] HU H L, ZHOU Q L, XU T M, et al. Capacitance-based system for solid concentration measurement in gas/solid two-phase flow [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2007, 28(11): 1947-1950 (in Chinese).