

文章编号: 0258-7025(2008)Supplement2-0267-04

激光辅助加工三维功能化零件

郭汝海 郭 劲 郭立红 杨贵龙

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘要 采用激光烧结的原理加工三维(3D)功能化零件,利用高性能的 Nd:YAG 激光器(波长 $1.06\ \mu\text{m}$)和光学系统,通过计算机高精度控制的喷嘴送粉、数控平台配合运动,在光束焦点处烧结粉状颗粒,层状生长,加工生长出由二种金属粉末组成的合金钢管零件。此激光辅助加工系统的主要难点在于激光加工头的设计与加工,给出了激光加工头的机械结构,送粉喷嘴的结构设计和整个激光辅助加工系统的总体布局。整个加工过程通过友好的人机界面,由 UG 软件设计的每个 3D 部分的界面层依次切片,然后在加工平台上一层层的堆砌起来。零件通过金相法观测其金属组成分布,并利用微硬度仪检测钢管垂直方向上的微硬度分布,结果表明钢管的微硬度分布完全取决于材料组分的分布,证明了此激光辅助加工系统制造功能化零件的实用性。

关键词 激光技术;激光加工头;烧结原理;人机界面

中图分类号 TN205 文献标识码 A doi: 10.3788/CJL200835s2.0267

Laser-Assisted Manufacturing of Three-Dimensional Functional Accessory

Guo Ruhai Guo Jin Guo Lihong Yang Guilong

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun, Jilin 130033, China)

Abstract Adopting the principle of sintering of laser for manufacturing three-dimensional (3D) functionally graded accessory in this paper, by using high performance Nd:YAG laser (wavelength $1.06\ \mu\text{m}$) and optical system, through precisely controlled nozzle to deliver metal powder, associated digital controlled substrate and beam scanning by computer, it had been fabricate alloy steel tube accessory consist two metal powder layer by layer in focus of laser. The most difficult problem was the design and the processing of manufacturing head in this system. It had shown the mechanical structure of the manufacturing head, structural design of powder nozzle and the layout of the whole laser-assisted manufacturing system. The whole manufacturing process was through the friendly man-machine interface. Every 3D model designed by UG software was sliced into piece by piece and stacked every layer to form the steel tube on the substrate. The accessory was observed by the metallography to get its metal distribution, and then using micro-hardness instrument to check the microhardness distribution in the vertical direction. The results show that the microhardness distribution of steel tube was fully dependent on material components distribution, which verifying the usefulness of this manufacturing system to fabricate the functionally graded accessory.

Key words laser technique; manufacturing head for laser; principle of sintering; man-machine interface

1 引 言

激光辅助加工技术是快速成型技术的一种,可以加工制作各种三维(3D)形状,是目前世界先进制造工业发展的一个重要方向^[1~5]。首先在计算机上完成符合需要的三维计算机辅助设计(CAD)模型,再用分层软件对其进行分层得到各层截面,采用自动控制技术,使激光有选择地烧结出与计算机内零件截面相对应部分的粉末,使粉末经烧结融化冷却

凝固成型。完成一层烧结后再进行下一层烧结,且两层之间烧结相连。如此层层烧结、堆积,结果烧结部分恰好是与 CAD 原型一致的实体,而未烧结部分则是松散粉末,可以起到支撑的作用,并在最后很容易清理掉。烧结系统的精度受以下因素的影响:激光功率、激光焦斑直径、扫描速度、粉末颗粒直径、粉末的各向异性以及烧结过程中的温度控制等。这种技术进行三维成型时,可以在零件内使用多种材料

而得到一定的物理化学性能。

在快速成型技术中最主要的部分就是功能模具的设计^[6],它可以在激光辅助加工的早期检查设计和提供基本的性能测试,这种早期的测试对于最终形成的产品零件具有重要的作用。显而易见,功能模具必须选用适当的金属材料才能具有指定的功能。一般有几种技术可以产生金属模具:选域激光烧结和一些基于粉末注入到激光束区域的技术^[7]。实际上快速成型模具主要还是来自于单一材料(如光致固化的树脂、塑料、沙子和金属),同时对于指定性质和工程内部结构,由功能化梯度材料制作模具的需求也日益增长。这种功能化梯度材料也是目前制造业优先发展的方向,因为它可以避免由于两种材料的不同相所引起的应力大量出现在接触的界面处(例如衬底和涂层之间),因为它将带来零件的内部裂缝而造成可靠性的降低。

自然界可以找到几种功能化梯度材料,例如牙齿、竹子和贝壳等。2008年,T. Traini等^[8]利用选域激光烧结的技术,采用质量分数为90.08%钛,5.67%Al和4.25%钒粉末,粉末直径在1~10 μm之间,烧结成型人造牙齿,这种牙齿在耐用性上与传统的人造牙齿相比具有明显优势。

本文正是利用激光烧结的原理,设计了一套激光辅助加工系统,并给出此加工系统所制造的零件一些实验结果。

2 实验配置和材料

实验采用高功率的Nd:YAG激光器作为光源,购买各种金属粉末,颗粒度在微米量级,填充入特殊设计加工的机械喷嘴,利用惰性气体吹动均匀达到激光光源聚焦的光斑处,通过人机交互CAD/CAM界面设计的模具,利用高精度数控平台控制其三维

运动,逐渐在激光光源焦点处分层的烧结成所要的微型工件结构。实验配置包括以下几部分:激光源、激光束传输系统、粉末供给系统、共轴喷嘴和数控加工平台。图1为激光加工头原理结构示意图,是本实验的主要技术难点。激光加工头的喷嘴部分和送粉机构如图2所示。这里调节喷速的惰性气体同时可以起到防止加工零件粉末熔融部分发生氧化。

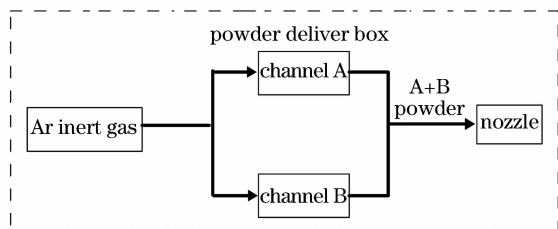


图2 送粉机构结构示意图

Fig. 2 Configuration of powder nozzle

整个激光辅助加工系统包括激光加工头的结构组成与加工方案设计如图3所示。

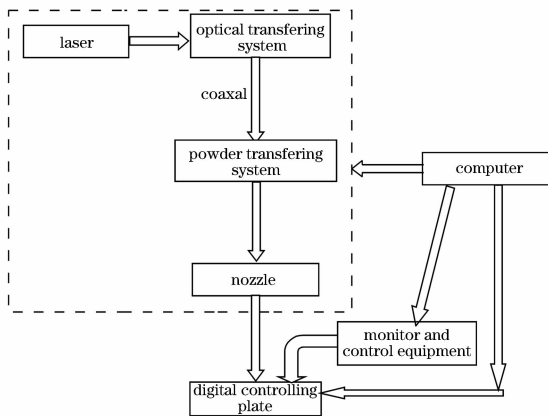


图3 激光辅助加工系统总体组成框图

Fig. 3 Framework of whole laser-assisted manufacturing system

这种激光辅助加工系统可分为五个步骤:

- 1) 利用UG软件建立三维数据模型。
- 2) 根据功能要求和制造目的寻找合适的金属粉末或者陶瓷粉末。
- 3) 激光束和携带粉末的惰性气体喷嘴共轴,在数控平台上烧结零件产品。
- 4) 完成模具或零件的层状堆砌过程。
- 5) 对模具或零件进行后处理,如增加保护涂层等。

为了制造功能化零件,由UG设计的每个3D部分的界面层依次切片,然后在加工平台上一层层地堆砌起来。所生产零件的质量依赖于每一个单层的质量。制造过程中确定激光功率和扫描速度的优化

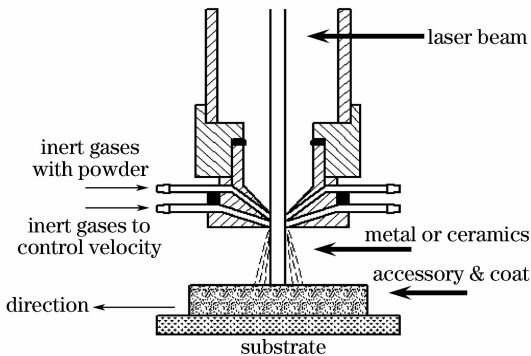


图1 激光加工头实验原理装置

Fig. 1 Experimental setup for manufacturing head of laser

参数对于零件性能的影响非常重要,比如孔隙、硬度还有机械性能等。

其中粉末的联结机制,比如熔融和固态或液相烧结,主要与加工位置的温度有关,因此局部温度场对于加工零件的质量和加工处理的稳定性也很重要。图4给出了一个小涡轮零件的设计加工的工序示意图^[9]。加工过程可以通过可视的人机交互界面

完成,大大节约了设计者的开放周期。

目前市场上有很多金属粉末可供选择,如不锈钢-316L,不锈钢合金-904L,钨铬钴合金 12,镍625,Cu/Sn 和钨等,不锈钢 316L 由于它具有耐化学腐蚀性,钨铬钴合金 12 由于其具有抗磨损性被选用作为加工 3D 功能化零件的粉末材料。表 1 列出了这两种粉末材料的组分^[10]。

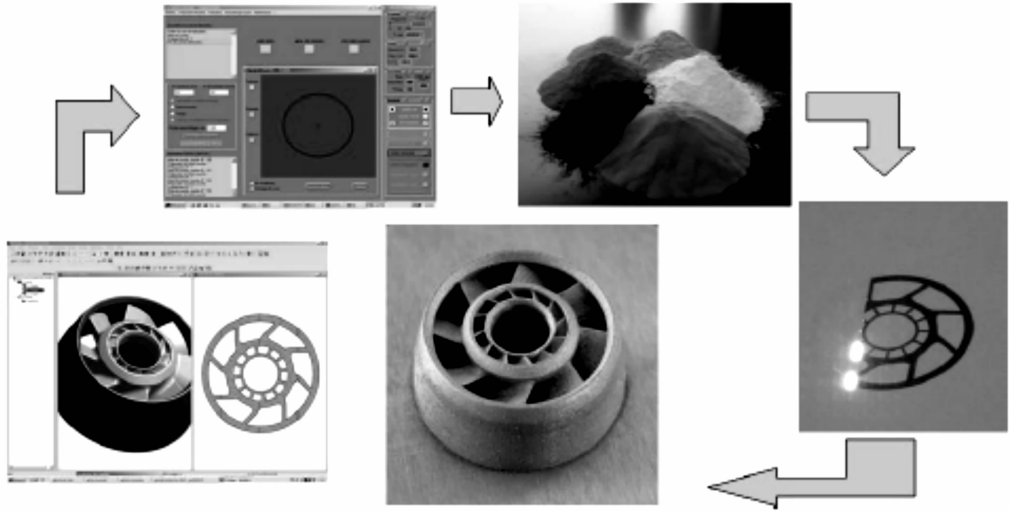


图4 激光辅助加工工序示意图

Fig. 4 Working procedure for laser-assisted manufacturing

表1 不锈钢 316L 和钨铬钴合金的组分(质量分数,%)

Table 1 Components of stainless steel 316L and stellite (mass fraction, %)

| Components | C | Cr | Ni | Mn | Mo | Si | P | S | Fe | B | W | V | Co |
|----------------------|------|----|-----|----|------|----|-------|------|-----|---|------|-----|-----|
| Stainless steel 316L | 0.03 | 17 | 12 | 2 | 2.5 | 1 | 0.045 | 0.03 | Rem | — | — | — | — |
| Stellite grade 12 | 2 | 30 | 3.5 | <1 | <0.8 | <1 | — | — | <5 | 1 | 18.5 | 4.2 | Rem |

3 结果与讨论

激光辅助加工系统可分为数据处理和成型执行两大部分。数据处理部分完成三维 CAD 模型加工轨迹的离散过程,由高性能计算机承担。成型执行

表2 激光辅助加工系统技术参数

Table 2 Technical parameter for laser-assisted manufacturing system

| | |
|--|-----------|
| Laser wavelength /nm | 1060 |
| Pulse width /ms | 0.3 |
| Peak power /W | 60 |
| Focus size / μm | 70 |
| Metal powder particle size / μm | <20 (95%) |
| Metal tube size: | |
| Diameter /mm | 10 |
| Thickness /mm | 1.2 |
| Height /mm | 20 |
| Processing velocity /(mm/min) | 10 |

部分则根据离散化的信息对加工过程进行控制,由数控加工平台来完成。表2给出了激光辅助加工系统激光源和加工金属管零件的技术参数。

利用表1给出的两种金属粉末,层层烧结生长几何外形为圆柱的金属管零件,尺寸在表2中给出。图5所示,同时给出了金属管的外观图和横截面的金相观测图,金属管零件在喷嘴装填不同的金属粉末,重复生长过程就可以得到,组分的分辨率约30 μm 。从图5中可以看到加工零件的表面仍然比较粗糙,面型精度不高,这是由于两种金属材料在激光焦点附近烧结时,具有不同热物理参数造成的。可以进一步通过加入 CCD 相机和高温传感器监控,在数控平台控制中加入反馈来进行补偿。此功能化金属管的微硬度分布如图6所示,可以看到它的微硬度与所采用的材料一一对应,这样完全可以裁减出复杂形状的,可以抗腐蚀、耐高温、抗磨损和抗变

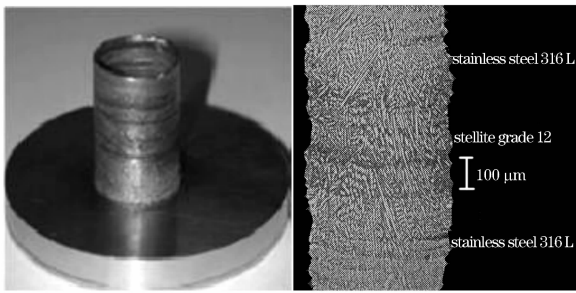


图5 金属管实验观测图

(a) 零件实物图;(b) 金相观测图

Fig. 5 Observed pictures of metal tube

(a) Object picture; (b) metallographic observation

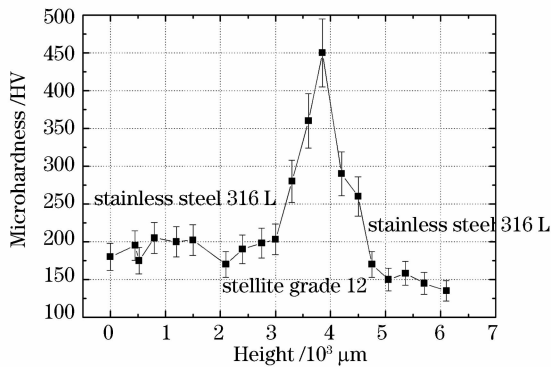


图6 功能化金属管零件的微硬度分布

Fig. 6 Microhardness of functionally graded metal tube accessory

形等等具有优良物理化学性质的零件。

4 结 论

系统地给出了激光辅助加工 3D 功能化零件的完整流程,包括各个系统的工作原理和组成,特别是激光加工头,为本系统的技术难点,是保证制造 3D 功能化零件的关键。实验已经成功设计出激光加工

头的原理结构,并在此基础上提出了整体的加工设计方案,利用 UG 软件设计了加工的零件模型效果图。加工了金属管零件并进行了金相和外硬度测试,实验得出微硬度在零件中完全取决于材料组分的分布,为进一步加工更加复杂的机械零件提供了实验依据。

参 考 文 献

- 1 A. N. Chatterjee. An experimental design approach to selective laser sintering of low carbon steel [J]. *Journal of Materials Processing Technology*, 2003, **136**:151~157
- 2 A. Mukesh Agarwala. Direct selective laser sintering of metals [J]. *Rapid Prototyping Journal*, 1995, **1**(1):26~36
- 3 Zhang Guoshun. Modern Laser Manufacturing Technology [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006. 284~311
张国顺. 现代激光制造技术[M]. 北京:化学工业出版社, 2006. 284~311
- 4 Wang Youliang. New Applications of Laser manufacture [J]. *Applied Laser*, 2005, **25**(5):329~332
王又良. 激光加工的最新应用领域[J]. *应用激光*, 2005, **25**(5):329~332
- 5 Chen Ronggang, Shen Jianhua, Huang Wenhao. Design and manufacture of the intelligent precision platform for a laser processing system [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2002, **10**(3):304~306
陈荣刚,沈建华,黄文浩. 一种用于激光加工系统的智能化精密平台的研制[J]. *光学精密工程*, 2002, **10**(3):304~306
- 6 T. Wohlers. Executive Summary of Rapid Prototyping & Tooling State of the Industry Annual Worldwide Progress Report [M]. 2001, 2~3
- 7 M. Schmidt, D. Pohle, T. Rechtenwald. Selective laser sintering of PEEK [J]. *Annals of the CIRP*, 2007, **56**(1):205~208
- 8 T. Traini, C. Mangano, R. L. Sammons *et al.*. Direct laser metal sintering as a new approach to fabrication of an isoelastic functionally graded material for manufacture of porous titanium dental implants [J]. *Dental Materials*, 2008, **24**(11):1525~1533
- 9 Ph. Bertrand, I. Smurov. Laser assisted direct manufacturing [C]. *SPIE*, 2007, **6732**:67320H
- 10 I. Smurov. Laser cladding and laser assisted direct manufacturing [J]. *Surface & Coating Technology*, 2008, **202**:4496~4502