

文章编号: 1001-3806(2010)05-0584-03

工艺参量对同轴送粉喷嘴气体保护效果的影响

易德先, 胡芳友*, 徐成伟, 崔爱永, 卢长亮

(海军航空工程学院青岛分院 航空机械系, 青岛 266041)

摘要: 为了解决激光直接制造金属零件中同轴送粉喷嘴气体保护效果不佳的问题, 采用烟雾流动显示技术对喷嘴保护气体流场进行了研究。系统研究了喷嘴保护气流速率、喷嘴出口距零件表面距离、喷嘴移动速率和侧风速率对气体保护效果的影响。结果表明, 随着喷嘴保护气流速率的增加, 保护范围先增加后减小; 随着侧风速率和喷嘴移动速率的增大, 气流轴线偏离喷嘴轴线距离增大; 当侧风速率超过喷嘴气流速率 50%, 距喷嘴出口 10mm 处, 气流完全偏离喷嘴轴线, 完全失去对金属熔池的保护。这一结果为选择合适的喷嘴气流参量提供了依据。

关键词: 激光技术; 工艺参量; 烟雾流动显示; 同轴送粉喷嘴

中图分类号: TN249 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1001-3806.2010.05.003

Effect of process parameters on gas shield of coaxial powder feeder nozzles

YI De-xian, HU Fang-you, XU Cheng-wei, CUI Ai-yong, LU Chang-liang

(Department of Mechanical Mechanism, Qingdao Branch of Naval Aeronautical Engineering Institute, Qingdao 266041, China)

Abstract: In order to improve the shielding effect of gas flow field in laser direct manufacturing, the shielding gas flow field of coaxial powder feeder nozzles was studied by means of smoke flow visualization technology. The influence of gas velocity from nozzle, distance between parts and nozzle exit, moving velocity of nozzle and crosswind velocity on shielding gas field was investigated systematically. The results show that with the increase of gas velocity from nozzle, shielding effect increases at first and then gets worse; with the increase of velocity of crosswind and nozzle, the axis of shielding field and nozzle get apart; when the velocity of crosswind surpasses 50% of velocity of gas from nozzle, shielding field fails to protect molten pool totally at the place 10mm below the nozzle. The information can be used to select appropriate nozzle flow parameters.

Key words: laser technique; process parameter; smoke flow visualization; coaxial powder feeder nozzle

引言

同轴送粉喷嘴是激光直接制造金属零件系统的关键部件之一, 是保证激光制造金属零件质量的重要环节之一^[1-3]。惰性保护气体在激光直接制造过程中起着非常重要的作用, 一是保护聚焦透镜免受飞溅物和熔化金属颗粒的污染; 二是输送金属粉末, 为激光金属熔池提供稳定、连续和精确的粉末流; 三是隔绝激光金属熔池区域的空气, 使熔化的金属免受空气中有害气体的影响, 保证金属零件的制造质量^[4-5]。从同轴送粉喷嘴喷出的保护气体是一种柔性的保护气套, 保护效果容易受工艺参量(如喷嘴保护气流速率、喷嘴出口距零件表面距离、激光扫描速率等因素)的影响^[6]。激光金属零件直接制造过程中, 应选择合适的保护气体参量, 保护好金属熔池及附近区域, 否则空气中的活

性气体氧容易与金属零件高温区域反应生成氧化物, 影响零件的制造质量。国内外学者对激光同轴送粉喷嘴气固两相流动进行了深入研究^[7-12], 主要关注喷嘴的结构参量、送粉参量对粉末流浓度、速度分布、粉末汇集性能的影响规律, 至于工艺参量对喷嘴气体保护效果的影响研究较少。本文中采用烟雾流动显示技术研究不同工艺参量条件下, 气体保护效果的变化规律, 为选择合适的保护气流参量提供依据。

1 实验测量装置

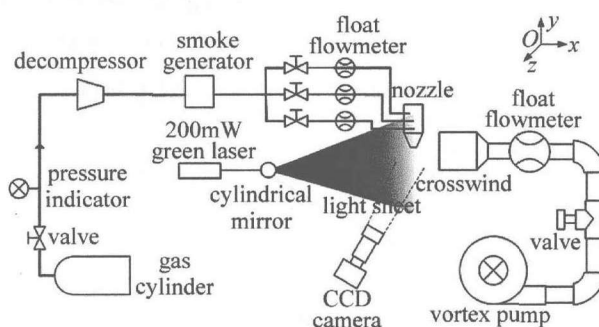


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental apparatus

作者简介: 易德先(1974-), 男, 博士研究生, 工程师, 现主要从事激光加工技术在航空飞行器维修领域中的应用研究。

* 通讯联系人。E-mail: fyh1960@sina.com

收稿日期: 2009-11-26; 收到修改稿日期: 2009-12-20

实验测量装置包括喷嘴气体射流流动系统、流动显示系统、侧吹气流系统,实验装置原理图如图1所示。

1.1 气体射流流动系统

高压气瓶出来的空气经减压器(型号:YQAR-731L)、烟雾发生器,分3路通过流量计,从喷嘴喷出。选用香燃烧产生的烟作为流动显示的粒子,烟粒子浓度比较容易调节,可以满足实验需要^[13]。同轴送粉喷嘴为轴对称结构,喷嘴结构及喷嘴出口尺寸如图2所示。

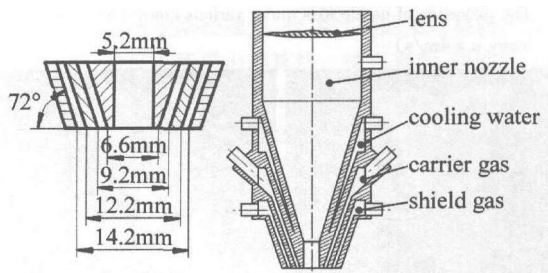


Fig. 2 Coaxial powder feeder nozzle structure

示,由内喷嘴、内环喷嘴和外环喷嘴和冷却水套组成。内喷嘴是激光束通道,通惰性气体保护聚焦镜头,内环喷嘴是载气粉末流通道,外环喷嘴接保护气体。

1.2 流动显示系统

激光器(型号:200-GC200,额定功率200mW,波长 $\lambda = 532\text{nm}$,光束发散角小于 1mrad)发出的激光束经柱面镜(焦距 $f = 20\text{mm}$)转换为片光,经 0.8mm 宽的狭缝后,照亮测试的流场区域,用CCD数码相机拍摄并记录,经计算机分析处理,得到喷嘴喷出气体流动图像。

1.3 侧吹气流系统

旋涡气泵(型号:HG1100B)流出的气体经阀门、玻璃转子流量计(型号:LZB-50),直径 100mm 侧风管吹向喷嘴的侧面,模拟激光金属零件直接制造过程中外界气流对气体保护区域的影响。侧吹管内安装有气筛,抑制气流的径向速度分量,减小侧吹气流的紊流速度。

1.4 实验方法

激光片光平面与喷嘴气体射流中心轴线重合,并照亮所测量的流场区域,CCD相机光轴与片光平面垂直,侧风管轴线与片光在同一平面内并垂直喷嘴轴线。拍摄聚焦平面为喷嘴射流轴对称面,每次拍摄物理区域大小为 $90\text{mm} \times 68\text{mm}$,图像为 2272 像素 $\times 1704$ 像素。调节阀门可以控制流入内喷嘴、内环喷嘴、外环喷嘴的气体流量。通过下式可以计算出内喷嘴气流速率 u_1 、内环喷嘴气流速率 u_2 、外环喷嘴气流速率 u_3 :

$$u = V/S \quad (1)$$

式中, u 为气流速率(m/s), V 为喷嘴喷出的气体流量(m^3/s), S 为气流通过的面积(m^2)。

为减少一些其它因素的干扰,实验时调节阀门,使得喷嘴气流速率 $u = u_1 = u_2 = u_3$ 。实验喷嘴气流速率 u 、喷嘴出口距工件表面距离 L 、侧风速率 u_c 对气体保护效果的影响在下一节中讨论,实验测量系统见图3。



Fig. 3 Flow visualization measurement experiment

2 结果与讨论

观测喷嘴气流烟雾流动显示图像时,如果气流呈层流流态,气流与周围空气相临的边界非常清晰;如果气流呈紊流流态,周围空气卷入其中,气流与周围空气边界相当模糊。气体保护效果的判断和比较,可用气流从喷嘴喷出后呈层流状态运动长度来衡量,层流段长度越长,保护效果越好^[14]。

2.1 喷嘴气流速率 u

图4为喷嘴气流速率 u 与层流段长度 H 之间关系。从图4中可以看出,气流速率有一个最佳值,在该

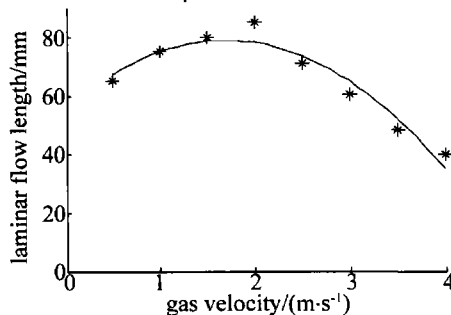


Fig. 4 Effect of gas velocity on laminar flow length

气流速率下,气流层流段长度最长,保护效果最好。气流速率 u 从 0.5m/s 增加到 2m/s ,随着气流速率增加,气流刚性增加,抗干扰能力增强,层流段长度逐渐增加。当气流速率超过 2m/s 后,随着气流速率进一步增大,气体流态逐渐由层流转变为紊流,周围的空气卷入保护区域,层流段长度减小,保护效果反而降低。在图4中的峰值左端可以获得良好的流态,保护效果好,但气流速率小,挺度差,容易受外界干扰,导致层流保护层破坏,失去保护作用。所以,在实际的激光制造金属零件过程中,一般取图4峰值右端流态较好的气流参量。图5a和图5b分别是气流速率为 2m/s 和 5m/s 时的气流流动图像,由图中可以看出,气流速率为 2m/s 时的层流长度大于气流速率为 5m/s 时的层流长度。

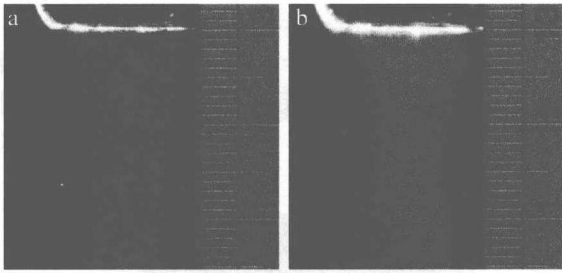


Fig. 5 Gas flow picture under various gas velocity
a—gas velocity 2m/s b—gas velocity 5m/s

2.2 喷嘴出口距零件表面距离 L

喷嘴喷出的保护气体的有效保护范围呈倒锥形,离喷嘴端面距离越远,空气的混入程度增加,有效保护范围减小。如果喷嘴出口端面 L 增大到超过有效保护范围,保护气体对零件将完全失去保护作用。因此,激光制造时应合理选定 L 值,尽可能获得较大的气体保护范围,得到优良的保护效果,保证零件的制造质量。图 6 为距离喷嘴出口不同距离、气流速率 $u = 4\text{m/s}$ 时

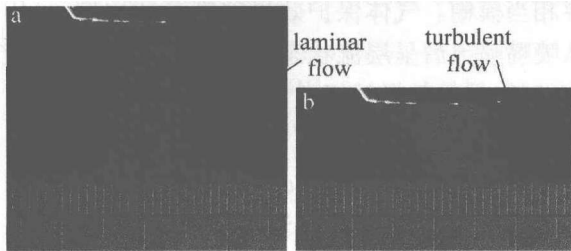


Fig. 6 Gas flow picture under various standoff distance
a— $L = 20\text{mm}$ b— $L = 10\text{mm}$

气流流动图像。从图中可以看出, $L = 20\text{mm}$ 时,气流呈现良好的层流状态,当 L 减小到 10mm 时,气流冲击零件表面后,出现了紊流,降低了保护效果。

所以在激光制造过程中, L 值不能取得过小,否则将会带来一些不利的因素。 L 过小,保护气流从喷嘴喷出后冲击金属熔池及工件表面,会产生强烈的反流,干扰破坏保护气流的层流流态,使保护气流中混入大量空气,降低保护效果。另外,输送金属粉末时,容易使喷嘴上粘附的金属飞溅物增多,影响保护气流的均匀喷出,影响粉末的输送,降低零件的制造质量,同时损害保护效果。粘附的金属飞溅物,甚至有可能堵塞送粉通道,影响零件制造的正常进行。

2.3 喷嘴移动速率和外界侧风速率

激光制造金属零件过程中,喷嘴喷出柔性保护气套,受到外界侧风(自然风或强迫通风)吹动而产生变形和弯曲,当侧风速率增加时,保护气流变形和弯曲越严重,会缩小有效的保护范围,甚至会使金属熔池完全暴露在空气中而失去保护作用。图 7 为喷嘴气体速率 $u = 4\text{m/s}$ 、不同侧风速率时,气流轴线偏离喷嘴轴线的距离曲线。图 8 为有侧风的情况下,喷嘴气流流动图像。从图中可以看出,随着距喷嘴出口的距离和侧

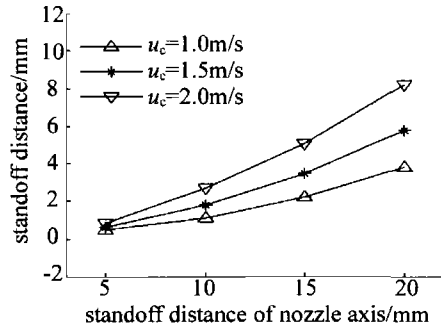


Fig. 7 The distortion of nozzle axis under various crosswind velocity (gas velocity $u = 4\text{m/s}$)

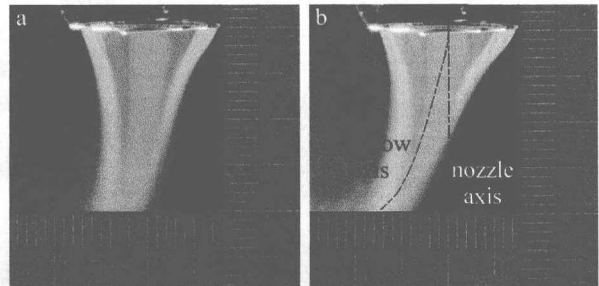


Fig. 8 Gas flow picture under crosswind velocity (gas velocity $u = 4\text{m/s}$)
a— $u_c = 1\text{m/s}$ b— $u_c = 2\text{m/s}$

风速率增加,气流弯曲程度加大。当距喷嘴出口 10mm 处,侧风速率超过喷嘴气体喷出速率约 50% 时,保护气流基本偏离喷嘴轴线,金属熔池完全暴露在空气中。

喷嘴移动时,情况与上面类似。喷嘴移动速率较小时,对保护气体保护作用的影响不明显。随着喷嘴移动速率增加,喷嘴喷出的气流受到前方静止空气的阻滞作用,产生变形和弯曲。移动速率越快,保护气流变形越严重,保护效果越差。

所以,当喷嘴移动速率增加或有侧风影响时,可适当增加保护气体喷出速率,以提高气流刚性,抵制外界气流干扰。

3 结论

利用烟雾流动显示技术对同轴送粉喷嘴保护气体流场进行了研究,得到如下结论:(1)随着喷嘴喷出气体速率增加,喷出气体层流段先增加后减小;(2)应选择合适的喷嘴出口距工件的距离;(3)喷嘴移动或有侧风时,会引起喷嘴气流变形和弯曲,减小气体的有效保护范围。当侧风速率超过喷嘴气流速率 50% ,距喷嘴出口 10mm 处,气流完全偏离喷嘴轴线,完全失去对金属熔池的保护。

参考文献

- [1] ZHANG H J, ZHONG M L, LIU W J, *et al.* Develop of high convergent coaxial feeding nozzle with temperature display for laser rapid manufacturing [J]. Applied Laser, 2004, 24(6): 380-382 (in Chinese).

(下转第 623 页)

形成非相干耦合亮-暗混合屏蔽光伏孤子族。

参 考 文 献

- [1] SEGEV M, CROSIGNANI B, YARIV A, *et al.* Spatial solitons in photorefractive media[J]. *Phys Rev Lett*, 1992, 68(7): 923-926.
- [2] DUREE G C, SHULTZ J L, SALAMO G J, *et al.* Observation of self-trapping of an optical beam due to the photorefractive effect[J]. *Phys Rev Lett*, 1993, 71(4): 533-536.
- [3] CHRISTODOULIDES D N, CARVALHO M I. Bright, dark and gray spatial soliton states in photorefractive media[J]. *J O S A*, 1995, B12(9): 1628-1633.
- [4] SEGEV M, VALLEY G C, BASHAW M C, *et al.* Photovoltaic spatial solitons[J]. *J O S A*, 1997, B14(7): 1772-1781.
- [5] ZHANG G Y, LIU J S. Self-deflection characteristics of dark photovoltaic spatial solitons in closed circuit[J]. *Acta Optica Sinica*, 2006, 26(10): 1559-1561 (in Chinese).
- [6] LIU J S, LU K Q. Spatial solitaire wave in biased photovoltaic-photorefractive crystals [J]. *Acta Physica Sinica*, 1998, 47(9): 1509-1515 (in Chinese).
- [7] CHRISTODOULIDES D N, SINGH S R, CARVALHO M I. Incoherently coupled soliton pairs in biased photorefractive crystals[J]. *A P L*, 1996, 68(13): 1763-1765.
- [8] CHEN Z, SEGEV M, COSKUN T H, *et al.* Coupled photorefractive spatial-soliton pairs[J]. *J O S A*, 1997, B14(11): 3066-3077.
- [9] HOU Ch F, YUAN B H, SUN X D. Incoherently coupled screening-photovoltaic soliton pairs[J]. *Acta Physica Sinica*, 2000, 49(10): 1969-1971 (in Chinese).
- [10] JI X M, WANG J L, LIU J S, *et al.* The temperature dependence of incoherently coupled bright-dark screening photovoltaic soliton pairs [J]. *Laser Technology*, 2004, 28(4): 386-389 (in Chinese).
- [11] CASTRO-CAMUS E, MAGANA L F. Prediction of the physical response for the two-photon photorefractive effect [J]. *Opt Lett*, 2003, 28(13): 1129-1131.
- [12] HOU Ch F, PEI Y B, ZHOU Z X, *et al.* Spatial solitons in two-photon photorefractive media [J]. *Phys Rev*, 2005, A71(5): 053817. 1-053817. 6.
- [13] HOU Ch F, ZHANG Y, JIANG Y Y, *et al.* Photovoltaic solitons in two-photon photorefractive materials under open-circuit conditions [J]. *Opt Commun*, 2007, 273(2): 544-548.
- [14] ZHANG Y, HOU Ch F, SUN X D. Grey spatial solitons due to two-photon photorefractive effect [J]. *Chinese Physics*, 2007, 16(1): 159-164.
- [15] ZHANG Y, HOU Ch F, SUN X D. Incoherently coupled spatial soliton pairs in two-photon photorefractive media [J]. *Acta Physica Sinica*, 2007, 56(6): 3261-3265 (in Chinese).
- [16] ZHANG G Y, LIU J S. Screening-photovoltaic spatial solitons in biased two-photon photovoltaic photorefractive crystals[J]. *J O S A*, 2009, B26(1): 113-120.
- (上接第 586 页)
- [2] ZHONG M L, NING G Q, LIU W J. Research and development on laser direct manufacturing metallic components [J]. *Laser Technology*, 2002, 26(5): 388-391 (in Chinese).
- [3] LIN J, STEEN W M. Powder flow and catchment during coaxial laser cladding [J]. *Proc SPIE*, 1997, 3097: 517-528.
- [4] ANCONA A, TERESA S, PIETRO M L, *et al.* An analysis of the shielding gas flow from a coaxial conical nozzle during high power CO₂ laser welding[J]. *J Phys*, 2006, D39(3): 563-574.
- [5] JIN X Sh, YANG X Ch, WANG Y Sh, *et al.* Research on the coaxial powder feeder nozzle in 3-D direct manufacturing and re-manufacturing [J]. *Applied Laser*, 2008, 28(4): 266-270 (in Chinese).
- [6] ZHANG L J, ZHANG J X, WANG R, *et al.* Effects of side assist gas on the CO₂ laser welding process of thin stainless plate [J]. *Applied Laser*, 2005, 25(4): 217-221 (in Chinese).
- [7] LI L. Modelling powder concentration distribution from a coaxial deposition nozzle for laser-based rapid tooling [J]. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 2004, 126(1): 33-41.
- [8] LIN J. Numerical simulation of the focused powder streams in coaxial laser cladding [J]. *Journal of Materials Processing Technology*, 2000, 105(1/2): 17-23.
- [9] LI H Sh, WANG Ch X, FU J Ch, *et al.* Research on the coaxial carrier-gas powder feed laser cladding [J]. *Applied Laser*, 2006, 26(4): 223-226 (in Chinese).
- [10] YANG N, YANG X Ch. Numerical simulation of flow field of nozzle in laser cladding [J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2008, 35(3): 452-455 (in Chinese).
- [11] YANG X Ch. Momentum and mass transferances of coaxial powder stream in laser manufacturing [J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2008, 35(11): 1664-1679 (in Chinese).
- [12] YANG X Ch, LEI J B, LIU Y W, *et al.* Experimental measurement of metal powder stream concentration field in laser manufacturing [J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2006, 33(7): 993-997 (in Chinese).
- [13] GU Y S, MING X. Investigation on the characteristics and structures of unsteady flow field near the zero-mass flux jet with PIV [J]. *Journal of Experiments in Fluid Mechanics*, 2005, 19(1): 83-86 (in Chinese).
- [14] HUANG R, HU Zh H, CHEN K. The study of laser welding shielded gas by schlieren [J]. *Welding Technology*, 2007, 36(2): 8-11 (in Chinese).