

文章编号 1004-924X(2015)增-0000-05

热塑性塑料的光纤半导体激光透射焊接系统

谷 钰¹, 张丽杰^{1*}, 吕翹楚¹, 刘玉娟²

(1. 长春工业大学 计算机科学与工程学院, 长春 吉林 130012;

2. 吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 吉林 130026)

摘要:建立了光纤半导体激光透射焊接系统,以实现热塑性塑料的无缝焊接。研究了该系统的结构、激光光源、光束准直及聚焦实现。根据塑料焊接的特点讨论了激光透射焊接的方法。以光纤半导体激光作为光源,设计了激光透射焊接系统;考虑光纤激光光源的发散特性,设计了光源光束准直聚焦系统。利用设计的光纤半导体激光透射焊接系统对聚丙烯试件进行了焊接实验,并对其进行了拉伸检测。结果表明:在激光功率为40 W,焊接速度为50 mm/s,炭黑含量为0.1%时,利用光纤半导体激光透射焊接系统焊接的试件强度为379 N,且焊接牢固,可满足实际应用需求。

关键词:半导体激光;激光焊接;透射焊接;热塑性塑料;光纤

中图分类号: TG438.4; TN248.4 文献标识码: A doi: 10.3788/OPE.20152313.0000

Fiber-optic semiconductor laser transmission welding system for thermoplastics

GU Yu¹, ZHANG Li-jie^{1*}, LÜ Qiao-chu¹, LIU Yu-juan²

(1. School of Computer Science & Engineering, Changchun University of Technology, Changchun 130012, China;

2. College of Instrumentation and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130026, China)

* Corresponding author, E-mail: zhanglijie@ccut.edu.cn

Abstract: A transmission welding system with an optical fiber laser was established to realize the seamless welding of thermoplastics. The structure, laser source, beam collimation and focusing for the welding system were studied. The method of laser transmission welding was discussed according to the characteristics of plastic welding. Then the laser transmission welding system was designed by using the fiber laser as a source. By considering the divergence of the fiber laser source, the light beam collimation and focusing system was designed. The welding experiment of polypropylene specimen was carried out by using the designed fiber laser transmission welding system, and the tensile test of a welding specimen was performed. The results show that the welding strength of specimen is 379 N by the semiconductor laser transmission welding system, while the laser power is 40 W, the welding speed is 50 mm/s, and the content of carbon black is 0.1%. It satisfies the system requirements of practical applications.

Key words: semiconductor laser; laser welding; transmission welding; thermoplastics; optical fiber

收稿日期: 2015-06-16; 修订日期: 2015-06-30.

基金项目: 吉林省产业技术研究与开发专项资助项目(No. 561202)

1 引 言

塑料原材料由于具有可塑性强、成本低、相对节能环保等优点,在汽车零部件、仪器仪表设备、电路电子元件等加工制造领域得到了广泛应用^[1-2]。近年来,随着科技水平的发展和制造工艺水平的提高,人们对汽车、仪器仪表等的外部形貌、美观度等的要求越来越高,机械连接法、黏合剂粘合法和常规焊接法等传统的塑料连接方法由于存在连接处不光滑、牢固性差、效率低等不足难以满足应用需求,尤其是在汽车塑料零部件连接的应用中,其质量直接影响整个汽车的产品规格^[3-5]。

诞生于 1970 年的塑料激光透射焊接法具有焊缝精密、牢固、密封、焊接速度快、易操作、非接触、无污染等优点。它能有效地弥补传统焊接方法的不足,因而成为目前高质量塑料焊接方法的发展方向之一^[6]。日本、英国、瑞士等在塑料激光透射焊接法的原理及应用方面取得了大量的研究成果,并将这些成果应用到大规模工业生产中,如日本的丰田公司、瑞士的 Leister 公司等^[7-9]。而国内的相关研究起步较晚,2003 年华中科技大学开始研究塑料芯片的激光焊接封装系统^[10],之后台湾国立大学、上海激光技术研究所、大连理工大学、江苏大学、上海交通大学等单位也相继开展了激光焊接封装方法的研究^[11-19]。但这些研究大多为方法研究,并未见相关系统设备报道;而在汽车等塑料零部件激光透射焊接方法方面也未见相关的报道。

本文针对塑料零部件的焊接问题,设计并搭建了用于热塑性塑料聚丙烯的半导体激光透射焊接光学系统,并通过聚丙烯焊接试件的焊接实验和拉伸测试对系统性能行了研究。

2 半导体激光透射焊接光学系统的工作原理

2.1 影像检测系统的硬件构成

塑料激光透射焊接法利用激光技术实现两个

塑料组件的连接,将塑料组件的加热和连接同时进行,其原理如图 1 所示。连接组件 1 与连接组件 2 均为要连接的组件,在两组件的接触面之间加入吸收剂,激光器发出的光束透过连接组件 1 到达吸收剂和连接组件 2 表面,组件 2 在吸收剂影响下吸收激光能量并转化为热能,使两接触面处的材料熔化,两组件在外夹具的夹紧力作用下融合在一起,冷却凝固形成焊缝。

为了实现两塑料组件的高质量连接,连接组件必须满足以下要求:(1)连接组件 1 与连接组件 2 必须都为热塑性塑料材料;(2)连接组件 1 在激光光束波长处具有高透过率特性;(3)连接组件 2 在激光光束波长处具有高吸收率特性。

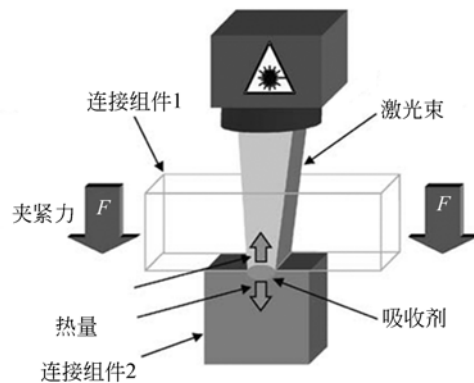


图 1 激光透射焊接法原理

Fig. 1 Principle of laser transmission welding of plastics

为了提高热塑性塑料对激光光波的吸收,向两连接组件的热作用区添加吸收剂,激光光束透过连接组件 1 基本没有能量损失,所有的光能几乎在连接组件 2 上表面的薄层被全部吸收并转化为热能,在分子间作用力、分子扩散运动、外夹紧力的共同作用下达到将两组间表面熔化的目的。

3 半导体激光透射焊接光学系统的设计

3.1 激光光源设计

激光透射焊接系统结构如图 2 所示,激光光源是系统的核心部分,激光光源发出的激光光束波长、孔径、功率以及与塑料作用的穿透深度直接

影响塑料焊接的焊缝质量。常用的激光光源的参数对比如表 1 所示。

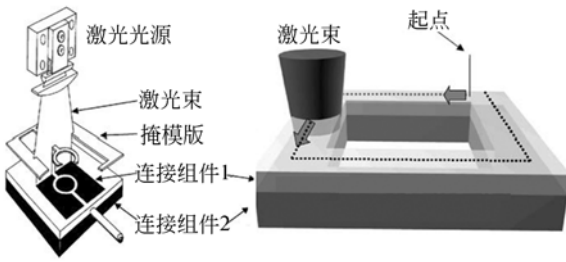


图 2 轮廓激光投射焊接系统结构示意图

Fig. 2 Schematic of contour laser transmission welding system

表 1 常用激光光源的参数对比

Tab. 1 Parameters of common lasers

类型	CO ₂ 激光器	YAG 激光器	光纤激光器	半导体激光器
波长/ μm	10.6	1.06	1.0 ~ 2.0	0.8 ~ 1.0
最大功率/W	60 000	6 000	10 000	6 000
光束直径/mm	0.2 ~ 0.70	0.1 ~ 0.5	0.02	0.5
转化效率/%	10	3	25	40 ~ 50
穿透塑料深度/mm	< 0.5	0.1 ~ 10	0.1 ~ 10	0.1 ~ 10
能量传输	镜片	光纤	光纤	光纤

由表 1 可知, 半导体激光器的光束质量较好、转化效率高、成本低、易于实现小型化, 功率完全满足系统要求, 因此, 本文选择半导体激光器作为激光透射焊接系统的光源。如图 3 所示, 激光器选择长春新产业光电技术有限公司 FC-W-980H 高功率激光器, 其参数如表 2 所示。

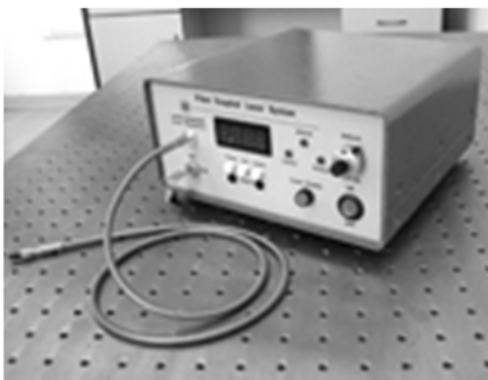


图 3 FC-W-980H 激光器实物图

Fig. 3 Photo of FC-W-980H laser

表 2 激光器参数表

Tab. 2 Parameters of laser

参数	数值
波长/ μm	0.976
最大功率/W	100
光纤芯径/mm	0.4
光纤孔径	0.22
光纤接头	SMA905

3.2 光源准直聚焦系统设计

由于光纤输出端输出的激光光束为发散光束, 而作为激光透射焊接光源的激光光束必须为准直光束, 因此设计光源准直系统是激光光源的核心。根据表 2 可知, 出射光纤芯径为 0.4 mm, 因此激光光束直径为 0.4 mm, 数值孔径为 0.22。根据光线近轴传播理论^[20]设计光学透镜的焦距为 120 mm, 光学透过率高于 95%。在系统无离焦情况下, 光斑直径为 0.4 mm。根据此设计搭建的激光透射焊接系统如图 4 所示。

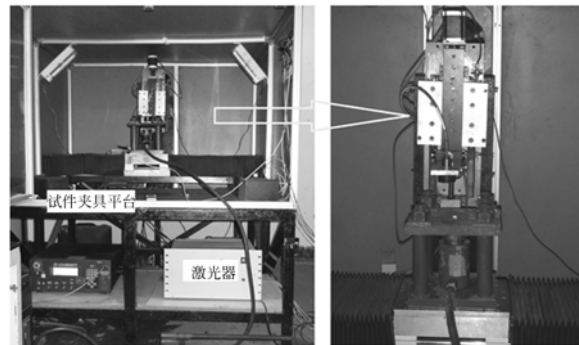


图 4 激光透射焊接系统实物图

Fig. 4 Photo of laser transmission welding system

4 焊接实验与测试结果

利用激光透射焊接系统进行聚丙烯试件的焊接实验。实验中聚丙烯焊件采用如图 5(a) 所示的连接方式, 激光器功率为 40 W, 焊接速度为 50 mm/s, 选择常用的炭黑作为吸收剂, 炭黑含量为 0.1%。

焊接后焊缝在显微镜下的图像局部放大 110 倍, 如图 5(b) 所示。由图可知, 焊接试件的焊缝清晰, 边缘分明。在焊缝中心能观察到相对模糊但是直线度较好的一条细线, 焊缝较深, 焊缝处溢

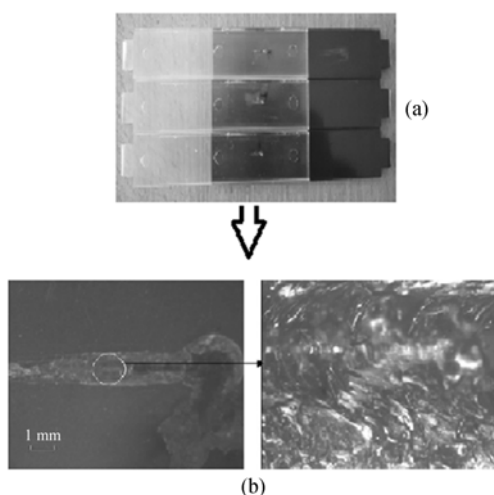


图5 聚丙烯焊接试件实物(a)及其焊缝(b)图

Fig.5 Photos of polypropylene test-piece (a) and its weld joint(b)

出的炭黑等溢料较少,因此焊接结果比较理想。对焊接试件进行拉伸试验,测试结果表明,此时的拉伸力为379 N,焊接牢固,满足实际应用需求。

5 结 论

本文根据现代工业塑料焊接焊缝小、牢固、焊接速度快、无污染的要求,研究了半导体激光透射焊接方法,并设计了光纤半导体激光透射焊接系统。然后利用设计的系统进行了聚丙烯试件焊接实验,最后对焊件进行了拉伸测试。实验结果表明:光纤半导体激光透射焊接系统在激光功率为40 W,焊接速度为50 mm/s,炭黑含量为0.1%时,焊接的试件强度为379 N,能够满足实际应用需求。

参考文献:

- [1] HABERSTROH E, HOFFMANN W M. Laser welding of plastics—a technological overview [J]. *Weld Cut.*, 2006,5:349-354.
- [2] 张胜玉. 塑料激光焊接[J]. *激光与红外*,2000,30(3):169-170.
ZHANG SH Y. Plastic laser welding [J]. *Laser & Infrared*,2000,30(3):169-170. (in Chinese)
- [3] 栾华. 塑料二次加工[M]. 北京:中国轻工业出版社,1999.
LUAN H. *Plastic Two Processing* [M]. Beijing: China Light Industry Press,1999. (in Chinese)
- [4] 刘会霞. 激光焊接塑料的方法及发展现状[J]. *激光技术*,2008,32(2):166-170.
LIU H X. The method and development of laser welding plastics [J]. *Laser Technology*, 2008, 32(2): 166-170. (in Chinese)
- [5] 王家淳. 激光焊接技术的发展与展望[J]. *激光技术*, 2000, 25(1):48-53.
WANG J CH. Development and expectation of laser welding technology [J]. *Laser Technology*, 2000, 25(1):48-53. (in Chinese)
- [6] 王健超, 秦丽明, 李姣. PMMA/ABS 热塑性塑料激光透射焊接工艺研究及微观分析[J]. *应用激光*, 2008(4): 287-291.
WANG J CH, QIN L M, LI J. Technics and microscopic analysis research of PMMA/ABS thermoplastic laser transmission welding [J]. *Applied Laser*, 2008(4): 287-291. (in Chinese)
- [7] 王玉英. 半导体激光器在焊接汽车塑料零件中的应用[J]. *光机电信息*, 2006(1): 27-30.
WANG Y Y. Application of semiconductor laser in plastic parts of welding automobile [J]. *Laser Technology & Applications*, 2006(1): 27-30. (in Chinese)
- [8] JIDOSHA T, K K, Laser beam welding of plastic plates [P]. Patent Application JP85213304, (1985-2-6).
- [9] HABERSTROH E. Laser transmission joining in microtechnology [J]. *Microsystem Technologies*, 2006, 12(7): 632-639.
- [10] POTENTE H, FIEGLER G. Using models to describe the joining process [J]. *Kunststoffe Plast. Europe*, 2004, 94(7): 53-56.
- [11] 陈西曲. 塑料生物芯片的激光焊接封装系统研究[J]. *微纳电子技术*, 2003,40(Z1): 254-256.
CHEN X Q. Study on laser welding packaging system of plastic chip [J]. *Micronanoelectronic Technology*, 2003,40(Z1): 254-256. (in Chinese)
- [12] 赖建军. 塑料芯片的红外激光加热键合研究[J]. *红外技术*, 2004, 26(2): 68-76.
LAI J J. Infrared laser heating bonding of microchip [J]. *Infrared Technology*, 2004, 26(2): 68-76. (in Chinese)
- [13] WANG S. A novel scheme of LPOF by jointing an aspheric plastic lens and a plastic fiber using laser

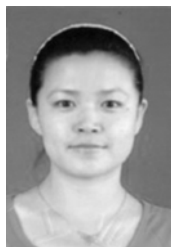
- transmission welding, 2005.
- [14] 王又良. 塑料的激光焊接工艺[J]. 应用激光, 2006, 26(2): 93-96.
WANG Y L. Laser welding process of micro plastics [J]. *Application Laser*, 2006, 26(2): 93-96. (in Chinese)
- [15] 谢龙, 刘黎明. 高分子材料塑料的激光焊接工艺及性能[J]. 焊接学报, 2007, 28(5): 97-100.
XIE L, LIU L M. Laser welding technology and properties of polymer materials plastics [J]. *Journal of Welding*, 2007, 28(5): 97-100. (in Chinese)
- [16] 刘会霞. 聚氯乙烯激光透射焊接温度场的有限元模拟[J]. 中国激光, 2008, 35(11): 1801-1807.
LIU H X. Temperature field simulation on laser transmission welding of polyvinylchloride [J]. *Chinese Journal of Laser*, 2008, 35(11): 1801-1807. (in Chinese)
- [17] 李姣. PMMA-ABS 热塑性塑料激光透射焊接机理和工艺的研究[D]. 上海: 上海交通大学; 2008.
LI J. *Mechanism and Technics Research of PMMA/ABS Thermoplastic Laser Transmission Welding* [D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University; 2008. (in Chinese)
- [18] 张成. 基于响应曲面和遗传算法——人工神经网络的热塑性塑料激光透射连接强度的优化[J]. 中国激光, 2011, 38(11): 110-116.
ZHANG CH. Optimization of laser transmission connection strength of thermoplastic laser transmission based on response surface and genetic algorithm artificial neural network [J]. *Chinese Journal of Laser*, 2011, 38(11): 110-116. (in Chinese)
- [19] 张卫. 激光透射焊接聚碳酸酯接头性能研究[J]. 中国激光, 2012, 39(7): 52-58.
ZHANG W. Study on the properties of the laser transmission welded polycarbonate joints [J]. *Chinese Journal of Laser*, 2012, 39(7): 52-58. (in Chinese)
- [20] 郁道银. 工程光学[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
YUN D Y. *Engineering Optics* [M]. Beijing: China Machine Press, 2007. (in Chinese)

作者简介:



谷 钰(1981 -), 男, 吉林长春人, 硕士, 讲师, 2007 年于长春工业大学获得硕士学位, 主要从事光电混合信息处理技术方面的研究。E-mail: guyu@ccut.edu.cn

通讯作者:



张丽杰(1981 -), 女, 吉林长春人, 硕士, 实验师, 2009 年于长春工业大学获得硕士学位, 主要从事智能控制、模糊逻辑的研究。E-mail: zhanglijie@ccut.edu.cn