

文章编号: 1001-3806(2009)03-0246-03

吸收剂对热塑性塑料激光透射焊接质量的影响

杨昆,王霄*,张惠中,邢安,刘会霞
(江苏大学机械工程学院,镇江 212013)

摘要: 为了研究吸收剂对激光透射焊接热塑性塑料的影响,设计了热塑性材料的激光透射焊接实验方案,对透明聚苯乙烯、聚氯乙烯两种塑料成功地进行了激光透射焊接,运用正交实验方法对焊接工艺进行了分析,并对焊接样品进行了剪切强度测试;讨论了黑漆和 clearweld 两种不同吸收剂对焊接强度和外观质量的影响,对实验中出现的黑色焦黄色焊缝、焊缝凸起和焊接断裂等现象进行了分析。结果表明,clearweld 吸收剂优于黑漆吸收剂。

关键词: 激光技术;激光焊接;热塑性塑料;吸收剂;透射焊接

中图分类号: TG156.99 **文献标识码:** A

Influence of additive on welding quality of laser transmission welding plastics

YANG Kun, WANG Xiao, ZHANG Hui-zhong, XING An, LIU Hui-xia
(School of Mechanical Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: In order to study the influence of additive on laser transmission welding thermoplastic material, the experimental scheme of laser transmission welding thermoplastic material was designed. Laser transmission welding transparent polystyrene and polyvinyl chloride was successful with this method. The welding process was analyzed with orthogonal method. The shear strength was tested on the workpiece. The influence of two kinds of additive: black lacquer and clearweld on welding strength and appearance quality was discussed. Finally, the phenomenon of black and brown welding line, welding line heave, jointing rupture was analyzed. Experiment results showed that clearweld additive was better than black lacquer additive.

Key words: laser technique; laser welding; thermoplastic; additive; transmission welding

引言

激光透射焊接是近几年发展起来的一种新型塑料焊接工艺,与表面加热的焊接方式相比,其优点在于焊接时间短、效率高,适合自动化程度高、大批量生产的场合^[1-2],属于非接触式焊接,自由灵活、适应性强,可以焊接任意复杂的零件,并减少零件设计上的限制。激光透射焊接工艺相对简单^[3],焊接过程中无振动、无创伤,通过设计合理的夹具^[4],可以产生完美的焊缝,且具有较高的焊接强度,焊接精度高。另外,焊接过程中没有震动和加热模板,熔接部分以外的区域不发热,热影响区域小。

基于激光透射焊接的机理,吸收剂在激光透射焊接过程中有着举足轻重的作用^[5-7]。吸收剂的主要作用是吸收激光器所发出的辐射能量,将辐射能转化为热能,使塑料融化。一般来说,碳黑是最常用的吸收剂,基本上所有近红外区域的光波都可以被碳黑吸收。

国外许多研究者在进行激光透射焊接时都是以碳黑作为吸收剂^[6,8-9],但是在某些特殊情况下,为了增加材料吸收辐射能的能力,就需要特殊的吸收剂,如利用 clearweld 吸收剂就可以产生透明的焊缝^[10]。本文中讨论了含有碳黑的黑漆和 clearweld 两种不同吸收剂对热塑性塑料激光透射焊接质量的影响。

1 实验

1.1 实验设备

实验中所用激光器为 LD802M 型 Nd:YAG 激光器,其主要的技术参量为:波长 1064nm;最大单脉冲输出能量 60J;最大平均输出功率 200W;最高重复频率 100Hz;最大发散角 10mrad;脉冲宽度最小 0.3ms,最大 20ms;功率不稳定性小于 $\pm 5\%$ 。

1.2 实验材料

实验中所采用的材料是透明聚氯乙烯 (polyvinyl chloride, PVC)、聚苯乙烯 (polystyrene, PS),样品尺寸均为 40mm × 30mm × 2.0mm。为了保证实验材料的可行性,利用 Perkin Elmer 公司生产的 Lambda900 分光光度计(仪器透射率测量精度 $\pm 0.08\%$)对上述两种样品进行了透射率测试,如图 1 所示。可以看出,两种

作者简介:杨昆(1983-),男,硕士研究生,主要从事激光加工方面的研究。

* 通讯联系人。E-mail: wx@ujs.edu.cn

收稿日期:2008-05-30;收到修改稿日期:2008-11-04

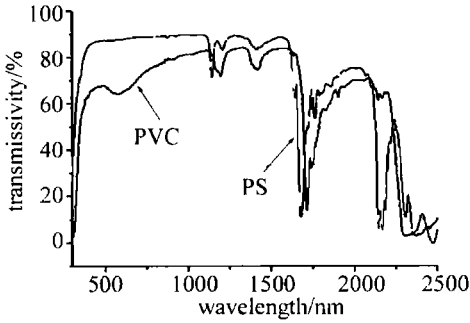


Fig. 1 Transmissivity of PVC and PS at different wavelengths

塑料在波长 1064nm 处的透射率分别为: 82. 24% , 89. 63% , 非常适合于激光透射焊接。实验中采用的是含有碳黑的黑漆和 clearweld 两种不同吸收剂, 如图 2 ~ 图 4 所示。

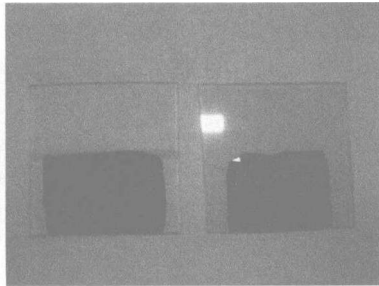


Fig. 2 The PVC and PS samples coated with black lacquer

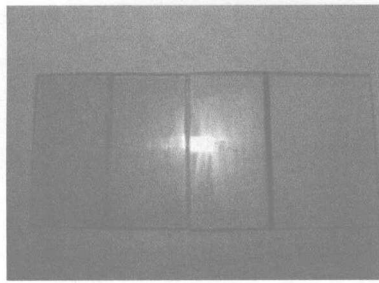


Fig. 3 The PVC and PS samples coated with clearweld additive

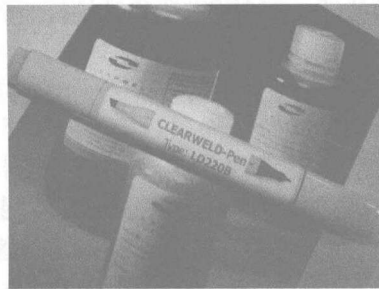


Fig. 4 Pen of clearweld additive

1.3 实验方法

实验具有 6 个影响因素, 分别为激光器平均功率、光斑直径、焊接速度、夹具夹紧力、激光器频率、焊后保压时间。作者利用正交实验法, 对透明 PVC, PS 两种材料分别进行了 25 组正交焊接实验和焊后拉伸实验, 然后对两种吸收剂焊接的样品从焊接强度和外观质量上进行对比分析, 并分析了实验中出现的黑色焦黄色焊缝、焊缝凸起和焊接断裂等现象。

2 实验结果

2.1 焊接强度对比

作者利用正交实验法分别得出了两种塑料在两种不同吸收剂下的最大拉断力, 如图 5、图 6 所示。可以

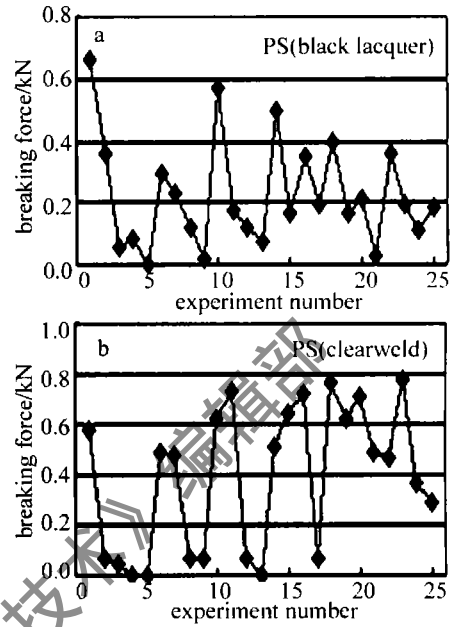


Fig. 5 Break force of PS coated with black lacquer and clearweld additive

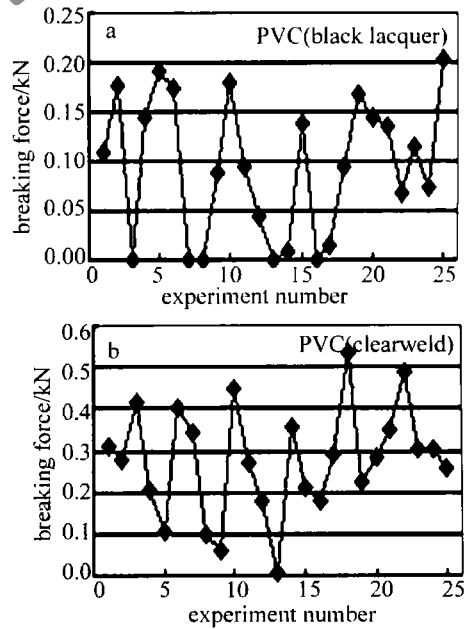


Fig. 6 Break force of PVC coated with black lacquer and clearweld additive 看出: PS 样品在 clearweld 吸收剂下拉断力超过 0. 6kN 的有 8 组, 最大拉断力达到 0. 774kN; 而 PS 样品在黑漆吸收剂下拉断力超过 0. 6kN 的只有 1 组, 最大拉断力为 0. 664kN。PVC 样品在 clearweld 吸收剂下拉断力超过 0. 3kN 的有 11 组, 最大拉断力达到 0. 533kN; 而 PVC 样品在黑漆吸收剂下的最大拉断力仅为 0. 203kN。从焊接强度上来看, clearweld 吸收剂的效果远远好于黑漆。

2.2 外观质量对比

一个样品的焊接质量好,不仅要求它的焊接强度高,而且对它的外观质量也应该有较高的要求。作者对 PS 和 PVC 两种塑料分别在黑漆和 clearweld 吸收剂下焊接的样品照片进行了对比,如图 7、图 8 所示。可

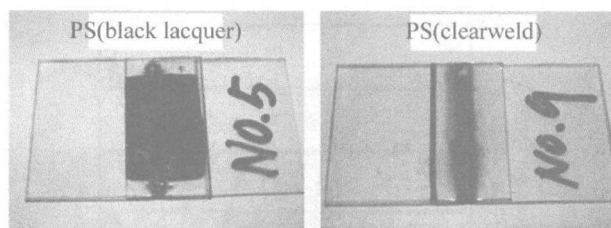


Fig. 7 Appearance of PS coated with black lacquer and clearweld additive after welding

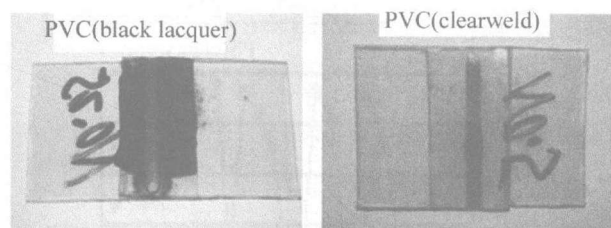


Fig. 8 Appearance of PVC coated with black lacquer and clearweld additive after welding

以看出:使用 clearweld 吸收剂焊接的样品除焊缝区域外,其它区域依然透明、美观;而使用黑漆吸收剂焊接的样品,在整个焊接接触面都呈黑色,直接影响了透明塑料件的美观性。因此,从外观质量上来看,clearweld 吸收剂要好于黑漆吸收剂。

2.3 黑色焦黄色焊缝

实验中,PS 塑料的部分样品出现了黑色焊缝,PVC 塑料的部分样品出现了焦黄色焊缝,如图 9 所示。

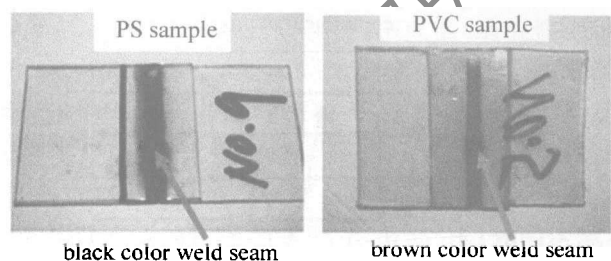


Fig. 9 The weld seam in black and brown color on the sample

产生这种现象的主要原因是激光能量密度太高,已经超出了使材料熔化所需要的能量,材料被碳化、分解,所以在焊接接触面出现了黑色焦黄色焊缝。

2.4 焊缝凸起现象

实验中部分样品出现了焊缝凸起现象,如图 10 所示。产生这种现象的主要原因是激光能量密度太高、焊接速度过慢,使得焊接接触面材料被快速分解、汽化,致使焊缝处的上层材料被顶起,冷却后即形成凸起。这种样品的强度普遍不高,例如图 10 中的样品拉伸力只有 0.068kN(最大拉伸力 0.203kN),因为凸起

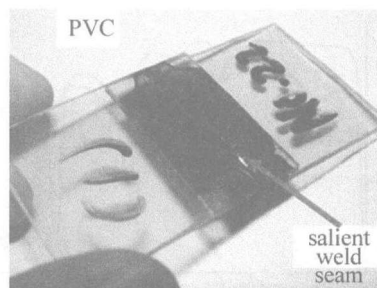


Fig. 10 The salient weld seam on the sample

处的焊缝内部实际是空的,上下两层塑料并没有很好的熔合在一起,所以拉伸强度不高。

2.5 焊接断裂现象

样品拉伸实验中出现了两种断裂现象:(1)样品在焊缝处被拉断,如图 11 所示;(2)样品在焊缝边缘处被拉断,如图 12 所示。在焊缝处被拉断的样品大多

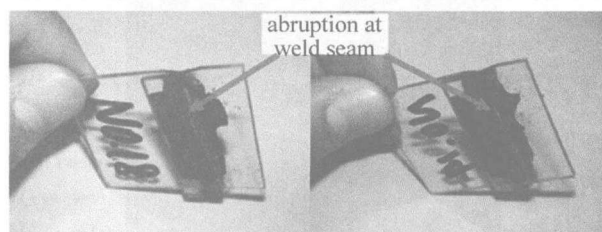


Fig. 11 The sample was broken at the weld seam

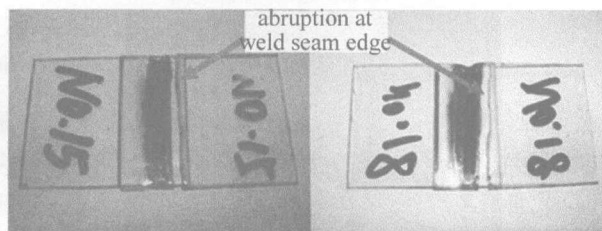


Fig. 12 The sample was broken at the edge of the weld seam

都是焊缝处具有凸起,此处两材料熔合不足,强度往往不够,极易被拉断。而在焊缝边缘处被拉断的样品是由于焊缝处在短时间内产生了巨大的热量,焊缝旁边热影响区域中的材料会产生较大的热应力,因此易被拉断。

3 结论

利用黑漆和 clearweld 两种不同吸收剂分别对透明 PVC,PS 两种塑料成功地进行了激光透射焊接,通过对比发现,clearweld 吸收剂的焊接效果在焊接强度和外观质量上都好于黑漆吸收剂的焊接效果。焊接过程中要避免激光能量密度过高,否则会出现黑色焦黄色焊缝、焊缝凸起和焊接断裂等现象。

参考文献

- [1] LIU H X, ZHANG H Zh, JI J Q, *et al.* Methods and present status of laser welding of plastics [J]. *Laser Technology*, 2008, 32(2): 166-170(in Chinese).
- [2] WANG X, DING G M, LIU H X. Investigation on laser welding plastics technology [J]. *Laser Journal*, 2007, 28(4): 68-69(in Chinese).

(下转第 272 页)

两个明显的脉冲声信号,第1个脉冲为激光击穿水形成等离子体膨胀辐射的声信号,第2个脉冲为空泡膨胀到最大位置处溃灭辐射的声信号。从波形展开图来

看,两次辐射的脉冲持续时间都约为 $20\mu\text{s}$ 。

在不同的聚焦位置处,根据水听器输出电压信号及灵敏度,可计算出水听器的声压强度,见表1。

Table1 The relation of laser energy and bubble energy

the distance of focusing and surface/mm	0	2	5	10	15	20	25	30	35	40	50
acoustic peak value/Pa	31598	71739	112090	119360	117870	114740	111610	108780	101520	87954	79379

从实验统计数据中可以看出,在激光及光学系统参量不变情况下,随着激光聚焦点与水面距离的增加,激光击穿水介质辐射声信号的峰值强度先增大,后降低。激光声信号强度随着激光聚焦点与水面距离增大而增强原因是激光等离子体空泡具有一定的尺寸,等离子体辐射的冲击波信号全部向水中辐射。当激光聚焦点与水面之间的距离超过一定值时,激光到达聚焦点的距离增加,水对激光的吸收增大,进而使辐射的声波信号峰值降低。因而在相同激光参量情况下,为获取最大的激光击穿水介质辐射的声信号强度,激光聚焦点入水深度存在一最优值,该距离与激光空泡尺寸及光学聚焦系统的参量相关。

4 结论

研究了激光与水介质相互作用时,在不同激光聚焦位置条件下,激光击穿辐射声信号的波形、强度等特征。利用设计的激光声实验系统,对激光声信号进行了测量,通过研究可得出以下结论:(1)激光声信号脉冲宽度主要与激光脉冲宽度相关,与激光聚焦位置无关,采用脉冲宽度 8ns , $1.06\mu\text{m}$ 的Nd:YAG激光击穿水辐射的声信号宽度为 $20\mu\text{s}$ 左右。(2)激光在水面上空气中击穿时,激光声信号穿过水-空气界面时,声压损失约为 65dB ,为在水下产生强的声压信号,应避免激光在空气中聚焦击穿。(3)激光聚焦水面时,只能得到激光等离子体膨胀辐射的声信号,激光聚焦于

水面以下时,可得到激光等离子体膨胀及空泡溃灭辐射的双声压脉冲信号。(4)在相同激光及光学系统参量情况下,激光击穿水辐射声信号的强度与激光聚焦点入水距离相关。

参考文献

- [1] LI R F, CUI G H, TIAN Z X. Laser-acoustic remote sensing technique [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2003: 3-11 (in Chinese).
- [2] ZOU B. Acoustic measurement of parameters of laser induced plasma on the target [J]. Laser Technology, 2000, 24(6): 366-369 (in Chinese).
- [3] BERTHELOT Y. Laser generation of sound by nonlinear thermal expansion [M]. Austin: Texas University, 1994: 87-90.
- [4] OSTROVSKAYA G V. Efficiency of optical-to-acoustic energy conversion upon the interaction of a pulsed laser radiation with a liquid [J]. Technical Physics, 2002, 47(10): 1299-1300.
- [5] HE D M. High-power Nd:YAG-generated underwater sound source for air-submarine communication [J]. SPIE, 1999, 3613: 83-93.
- [6] BLACKMON F, ANTONELLI L. Remote, aerial, opto-acoustic communication and sonar [J]. SPIE, 2005, 5778: 800-808.
- [7] ANTONELLI L, BLACKMON F. Experimental investigation of optical, remote, aerial sonar [C]//Oceans'02 MTS/IEEE. New York: IEEE, 2002: 1949-1955.
- [8] NI X W, CHEN X, LU J. Study on the mechanism of interaction between laser and liquid material [J]. Laser Technology, 2002, 26(4): 258-261 (in Chinese).
- [9] VOGEL N, BUSCH S. Shock wave emission and cavitation bubble generation by picosecond and nanosecond optical breakdown in water [J]. Journal of the Acoustical Society of America, 1996, 100(1): 148-165.

(上接第248页)

- [3] WANG X, ZHANG H Zh, DING G M, et al. Laser transmission welding polypropylene plastics [J]. Chinese Journal of Lasers, 2008, 35(3): 466-471 (in Chinese).
- [4] ZHANG H Zh, DING G M, JI J Q, et al. Fixture design of laser transmission welding plastics [J]. Welding Technology, 2007, 36(5): 37-39 (in Chinese).
- [5] HABERSTROH E, HOFFMANN W M, POPRAWA R, et al. Laser transmission joining in micro-technology [J]. Microsystem Technology, 2006, 12(7): 632-639.
- [6] PRABHAKARAN R, KONTOPOULOU M. Contour laser-laser transmission welding of glass reinforced nylon 6 [J]. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 2006, 19(4): 427-439.
- [7] COELHO J M P, ABREU M A, RODRIGUES F C. Thermal modeling CO₂ laser radiation transmission welding of superposed thermoplastic films [J]. Opt Engng, 2003, 42(11): 1-9.
- [8] BECKER F, POTENTE H. A step towards understanding the heating phase of laser transmission welding in polymers [J]. Polymer Engineering and Science, 2004, 42(2): 365-374.
- [9] RUSSEK U A, PALMEN A, STAUB H, et al. Laser beam welding of thermoplastics [J]. Proc SPIE, 2003, 4977: 458-472.
- [10] HARTLEY S, SALLAVANTI R A. Clearweld laser transmission welding of thermoplastic polymers; light transmission and color considerations [J]. Proc SPIE, 2002, 4830: 63-68.