

文章编号: 1001-3806(2008)05-0510-03

## 基于全息技术的激光透射塑料焊接研究

王 霄, 季进清, 张惠中, 刘会霞  
(江苏大学 机械工程学院, 镇江 212013)

**摘要:** 介绍了激光透射塑料焊接及全息技术的基本原理, 提出了一种基于全息原理的激光同步焊接技术。为了达到塑料微小焊缝的同步焊接, 采用干涉方法记录下预知焊缝特征形状, 再利用衍射方法使得焊缝图形特征再现, 同时激光束光斑形状被调制为与预知焊缝形状相同。利用调制完成后的激光束对塑料进行同步焊接, 得到理想焊缝与预知焊缝形状相同的结果。结果表明, 此项技术适用于焊缝图形小且复杂的场合。

**关键词:** 激光技术; 激光透射焊接; 全息; 塑料  
**中图分类号:** TG456.7 **文献标识码:** A

## Study of laser transmission welding of plastics based on holographic technology

WANG Xia, JI Jin-qing, ZHANG Hu-zhong, LIU Hui-xia  
(School of Mechanical Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

**Abstract** The principle of laser transmission welding of plastics and holographic technology, and laser simultaneous welding technology based on laser holographic technology were introduced. In order to achieve simultaneous welding of plastics with small weld joint, the figure of laser beam was modulated the same as the figure of desired weld joint using interferential method to record the figure of desired weld joint and then using diffractive method to make the figure of desired weld joint reappearance. Using the modulated laser beam to weld plastics simultaneously, the figure of ideal weld joint was identical with the desired one. The result shows that this technology is applied when the figure of weld joint is small and complex.

**Key words** laser technique; laser transmission welding; holographic; plastics

### 引 言

随着塑料工业的发展, 塑料产品被广泛地应用到各个领域, 包括: 医疗器械、包装工业、汽车零部件、电子器件产品封装、纺织品等。虽然许多塑料产品可以注塑一次成型, 但是由于塑料产品的多样化, 因此, 焊接是塑料产品制作过程中必不可少的工艺。激光焊接具有深度比大、热影响区小、表面成形好以及生产率高等优点<sup>[1]</sup>。激光焊接与传统的焊接方式如超声波焊接、振动焊接、热平板焊接等相比优势在于: 激光不接触工件, 使损坏降低到最小, 并可焊接 3 维立体工件; 激光更易控制, 因为它们被聚焦定位, 可随时开关; 利用激光焊接的接缝牢固耐用且清洁, 而且可焊接很难连接的改性橡胶及玻纤填充的热塑性塑料<sup>[2]</sup>。激光塑料焊接技术的独特优势推动了此项技术的飞速发展, 研究出一系列的焊接方法如轮廓焊接<sup>[3]</sup>、同步焊

接<sup>[4]</sup>、准同步焊接<sup>[5]</sup>、掩膜焊接<sup>[6]</sup>、放射状焊接<sup>[7]</sup>、球形焊接<sup>[8]</sup>和衍射焊接<sup>[9]</sup>等。其中, 同步焊接不需要激光光源与待焊工件之间相对运动而具有很高的焊接效率, 并且在焊接过程中不易引起工件的翘曲变形。本文中介绍的焊接方式是基于激光全息原理的激光塑料同步焊接技术。

### 1 激光透射塑料焊接原理

激光透射塑料焊接的先决条件是两个塑料工件中至少有 1 个对激光束透明, 而另一个塑料工件能够最大程度上吸收激光。如图 1 所示, 激光透过 1 个塑料

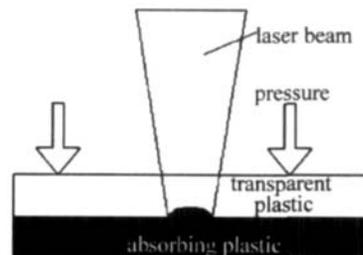


Fig 1 Schematic diagram of laser transmission welding of plastics

工件在两塑料工件接合面被另一个塑料工件吸收产生热量并传入第 1 个塑料工件, 在热集中区域(焊缝区域), 塑料就被融化, 热熔融状态下的塑料大分子在焊接

**作者简介:** 王 霄 (1964-), 男, 副教授, 主要从事激光微细加工及性能数值模拟、CAD/CAE/CAM、虚拟样机技术等方面的研究工作。

E-mail: wx@ujs.edu.cn

收稿日期: 2007-06-13 收到修改稿日期: 2007-07-16

压力的作用下相互扩散,产生范德华力,从而紧密地连接在一起。为了提高焊接效果,可在塑料工件接合面添加吸收剂,常使用的吸收剂为碳黑。由 Gentex 公司推出的 Clearwell<sup>[10]</sup> 技术提供 1 种透明的吸收剂,可以焊接两个对激光都透明的塑料工件,并产生透明的焊缝。

## 2 激光全息塑料焊接

### 2.1 全息基本原理

普通全息技术是一种两步成像技术<sup>[11]</sup>:第 1 步是物体光波的记录;第 2 步是物体光波的再现过程。在第 1 步的过程中,光波的相对相位就被存储在双光束的干涉图中,其中,1 束光称之为物体光束,另一束光称之为参考光束。

根据光波叠加原理,两束光干涉时光波的强度分布可由下式表达:

$$I = H(x, y) \times H^*(x, y) = [R(x, y) + O(x, y)] \times [R^*(x, y) + O^*(x, y)] = R \cdot R^* + O \cdot O^* + R \cdot O^* + O \cdot R^* \quad (1)$$

式中,  $R(x, y)$  代表参考光波,  $O(x, y)$  代表物体光波,  $H(x, y)$  代表物体光波与参考光波的叠加, \* 表示共轭复数。

或者可以写成:

$$I = |R|^2 + |O|^2 + 2RO \cos(\phi_o - \phi_r) \quad (2)$$

式中,  $\phi_o, \phi_r$  分别代表物体光波和参考光波的相位。

物体光波和参考光波可以分别描述为:

$$\begin{cases} O(x, y) = O(x, y) \exp[i\phi_o(x, y)] \\ R(x, y) = R(x, y) \exp[i\phi_r(x, y)] \end{cases} \quad (3)$$

(2) 式中第 3 项代表两束光的相干效应。如果相对相位  $\phi_o - \phi_r$  是  $2\pi$  的整数倍,便是相长干涉,出现亮条纹。从上述公式可以看出,相干条纹的强度分布是正弦形式。当 1 种对光波敏感的介质或者全息底版放置在光相干区,经过曝光和化学处理,就可以得到 1 张全息图。

物体光波的再现是光学全息的第 2 步过程。制作完成的全息图相当于是 1 个衍射光栅。从数学角度分析,光学全息图的成像过程可以解释如下。

曝光后全息底版的振幅透过率是:

$$T = \beta(R \cdot R^* + O \cdot O^* + R \cdot O^* + O \cdot R^*) \quad (4)$$

式中,  $\beta$  为振幅透过系数。

如果照明的光波复振幅是:

$$C(x, y) = C(x, y) e^{i\phi_c} \quad (5)$$

式中,  $\phi_c$  为照明光波的相位。

经过光学全息图衍射后的光波振幅就是:

$$W(x, y) = C(x, y) \times T(x, y) =$$

$$\beta(C|R|^2 + C|O|^2 + C \cdot R \cdot O^* + C \cdot O \cdot R^*) \quad (6)$$

如果照明光波与参考光波相同,即  $C(x, y) = R(x, y)$ ,那么 (6) 式可以改写成以下形式:

$$W(x, y) = \beta(R|R|^2 + R|O|^2 + R^2O^* + |R|^2O) \quad (7)$$

式中,  $R|R|^2 + R|O|^2$  代表零级衍射;  $|R|^2O$  代表原始物体光波的再现;  $R^2O^*$  代表共轭物体光波的再现。即当把原来所用的参考光波照射全息图时,照明光将在组成全息图的干涉条纹上产生衍射,产生彼此分离的 3 束衍射光:第 1 束为直射光,即零级衍射光,也称为晕轮光;第 2 束是重现的物光波,在原物的位置上将观察到原物的虚像;第 3 束是共轭光波,形成原物的 3 维实像。

### 2.2 制作焊接全息图

第 1 步:制作记录焊缝图形模型。在制作全息图前首先制作记录焊缝图形模型,用对激光束透明的材料制成一个长方体,并对长方体的表面进行喷砂处理,在记录焊缝图形模型的表面处,除了焊缝特征图形区域外涂对激光束不透明的油漆,记录焊缝图形模型制作完毕。

第 2 步:制作全息图。全息图的记录材料对全息光学元件的衍射效率有很大影响,常用的全息底版是卤化银全息底版。卤化银全息乳胶材料的特性已有了大量的研究成果。WARD 等人研究过卤化银全息图中衍射效率的受限原因<sup>[12]</sup>, FRIESEM 等人讨论过卤化银全息图的传递函数<sup>[13]</sup>。卤化银乳胶有很高的曝光灵敏度、高分辨率和较宽的光谱范围或者角度选择性。卤化银全息底版是在一块玻璃基板(一般厚度是 1mm ~ 1.5mm)上涂上一薄层卤化银乳胶细颗粒(6 $\mu$ m ~ 15 $\mu$ m),其中,包含 1 种防散射染料和 1 种敏感剂。如图 2 所示,激光器发出的激光束经反射镜调

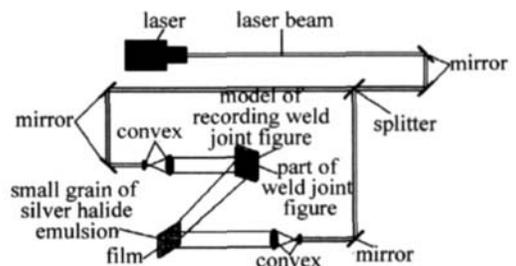


Fig 2 Schematic diagram of producing a holographic film

整光路,再由分束镜分为两束激光:其中 1 束激光经反射镜调整光路,经凸透镜组合扩大光斑尺寸后照射记录焊缝图形模型表面的焊缝特征形状部分,漫反射后得到的激光束为焊缝图形光束;另一束激光经反射镜调整光路,经凸透镜组合扩大激光束的光斑尺寸得到参考光束。焊缝图形光束与参考光束在全息底版表面干涉,全息底版记录下干涉条纹后,再经过理化处理(显影、定影、干燥和密封)后,固定干涉图,全息图制作完毕。

### 2.3 塑料焊接

制作完毕的全息图相当于 1 个衍射光栅,并记录了焊缝图形的全部信息(相位和振幅)。如图 3 所示,

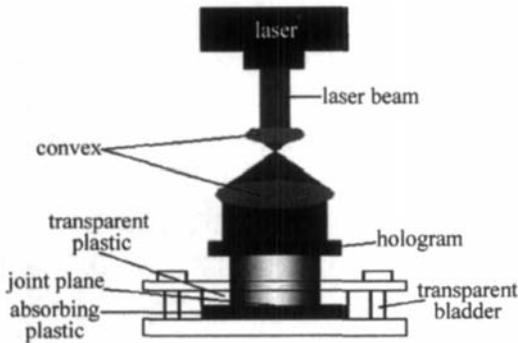


Fig 3 Schematic diagram of laser welding of plastics with hologram

当激光束再次照射全息图衍射后得到共轭光波,形成焊缝图形的实像,即激光束的光斑形状被调制成与预知焊缝图形形状一致。利用调制完的激光束照射两塑料的接合面,激光被下层塑料所吸收产生热量并传入上层塑料,在热集中区域(焊缝区域),塑料就被融化,热熔融状态下的塑料大分子在焊接压力的作用下相互扩散,产生范德华力,在后续压力冷却后紧密地连接在一起,此过程由一个对激光束透明的夹具提供压力。最终理想所得焊缝形状与预知焊缝形状相同。

### 3 小结

由于实验条件限制,作者提出了基于全息技术的激光透射塑料焊接方法,并对其进行了理论研究,详细阐述了该方法的基本原理,为将来进一步的实验研究打下坚实的理论基础。该方法的全息图是通过记录两束激光束的干涉图制成,该方法要求建立一套非常稳定的光学记录平台,从而保证记录光束有一个准确的偏转角。绝大部分全息记录材料仅仅对短波长范围的光敏感,因此,希望记录下波长大于 700nm 的光束相

干涉产生的干涉图就比较困难。将来的研究可以使用计算全息方法记录全息光学元件,就不再受到记录光束波长的限制。在制作计算全息光学元件时,只要给出所希望成像波前的数学描述方式,就可以利用计算机综合出任意的记录波前。

### 参 考 文 献

- [1] WANG J Ch. Development and expectation of laser welding technology [J]. Laser Technology 2001, 25(1): 48-53( in Chinese).
- [2] WANG H M. The application of laser in plastic reprocessing [J]. Modern Plastics Processing and Application 2004 16(4): 28-30( in Chinese).
- [3] Shanghai Institute of Laser Technology Multidimensional equipment of laser welding of plastics China 200420090111. 8 [P]. 2005-10-12 ( in Chinese).
- [4] IAN J Laser welding for plastic components [J]. Assembly Automation 2002, 22(2): 129-135.
- [5] WANG Y L. The latest application of laser processing [EB/OL]. [2005-03-22]. <http://www.see.net.cn/viewNews.asp?id=545>.
- [6] Leister Machining Technology Corporation Laser welding methods and equipment of joining plastics parts or plastics and other materials Switzerland 99101816. 9 [P]. 2000-09-20.
- [7] Leister Company. Radial welding [EB/OL]. [2006-11-01]. <http://www.leister.com/en/radialschweissen.html>
- [8] CHEN J W. The third dimension laser transmission welding [J]. Kunststoff Plast Europe 2004, 94(5): 86-88
- [9] GREWELL D A. Modeling of molecular healing from micro-Laser welding of plastics with diffractive optical elements as spatial modulators [EB/OL]. [2007-01-15]. <http://gradworks.umi.com/31/79/3179681.html>
- [10] Gentex Corporation. Clearweld [EB/OL]. [2007-05-05]. <http://www.clearweld.com>.
- [11] ZHOU H X, CHENG Y F. Holographic optics [M]. Beijing Chemical Industry Press 2006: 22-23( in Chinese).
- [12] WARD A A, SOLYMAN L D. Diffraction efficiency limitations of hologram recorded in silver-halide emulsions [J]. Appl Opt 1989, 28(10): 1850-1855
- [13] FRIESEM A A, KOZMA A, ADAM S F G. Recording parameters of spatially modulated coherent wavefronts [J]. Appl Opt 1967, 6(5): 851-856
- [6] ZHU Zh H, YE W M, JI J R, *et al* Analysis of photonic crystal filter [J]. Acta Photonica Sinica 2004 33(6): 700-703( in Chinese).
- [7] NODA S, YOKOYAMA M, MADA M, *et al* Polarization mode control of two-dimensional photonic crystal laser by unit cell structure design [J]. Science, 2001, 293(5532): 1123-1125.
- [8] FANG Y T, SHEN T G, LIN G H. Photo wave propagation in one dimension random photonic crystal [J]. Laser Technology, 2004 28(2): 153-155( in Chinese).

(上接第 509 页)

- [3] DUAN X F, NIU Y X, ZHANG Ch *et al* Light propagation characteristics of one dimensional photonic crystal [J]. Acta Photonica Sinica 2003 32(9): 1086-1089( in Chinese).
- [4] PAN Y Zh, ZHANG J, HU G J *et al* Photonic crystal fiber and laser [J]. Laser Technology, 2004, 28(1): 48-51( in Chinese).
- [5] YAR W A. Coupled resonator optical waveguide a proposal and analysis [J]. Opt Lett 1999, 24(11): 711-713