

激光塑料焊接设备的现状及发展前景

程亚婷¹, 王瑛玮¹, 王耀民², 刘 臻³

(1. 吉林大学材料科学与工程学院, 吉林 长春 130020; 2. 吉林省激光工程中心, 吉林 长春 130012;
3. 吉林省科学技术信息研究所, 吉林 长春 130021)

摘要: 简要叙述了激光透射焊接塑料的基本原理及特点, 重点总结介绍了近几年来激光焊接塑料设备的国内外发展状况, 特别是专利文献中涉及的较为先进、新颖且具有一定代表性的激光焊接塑料设备的研究成果, 通过对现有设备的应用性能、特点进行讨论, 最后提出用一系列新颖的气流施压的方法对塑料进行焊接加工。

关键词: 激光; 塑料焊接; 焊接设备

中图分类号: TN249 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-5078.2012.11.003

Status and prospect of laser plastic welding equipment

CHENG Ya-ting¹, WANG Ying-wei¹, WANG Yao-min², LIU Zhen³

(1. College of Material Science and Engineering, Jilin University, Changchun 130020, China;
2. Laser Engineering Institution of Jilin Province, Changchun 130012, China;
3. Science and Technology Information Institute of Jilin Province, Changchun 130021, China)

Abstract: The paper firstly introduces the basic principle of laser transmission welding and its characteristics. Then the present status of both domestic and foreign laser plastics welding equipments is summarized. Focus is put on the advanced, state of art, innovative laser plastic welding equipments which are introduced in the newly issued patents. By analyzing and discussing the performance and characteristics of the existing equipments, we put forward a series of novel plastic welding processes.

Key words: laser; plastics welding; welding equipment

1 引言

激光焊接塑料技术作为近年来已经公开的一项新技术发展迅速, 特别是激光透射焊接塑料的方法, 特点鲜明、优势明显。

随着对激光焊接塑料技术理论及方法研究的深入, 焊接设备作为连接技术与生产的载体, 也越来越受到重视。越来越多的研究人员把目光转向了这一领域, 尤其是激光加工企业, 如瑞士 Leister 公司, 欧洲的 Rofin 公司, Bielomatik 公司等。这些激光加工企业, 在激光焊接塑料设备方面有很多发明专利。

通过现有理论知识, 实验结论设计出更好的激光加工设备, 可以达到最大限度地降低焊接成本、提高产品焊接质量的目的, 可使塑料激光焊接技术得

到推广普及, 从而降低制造业生产成本, 提高能源利用率。

2 激光透射焊接塑料基本原理及特点

2.1 激光透射焊接基本原理

激光透射焊接主要用于焊接热塑性塑料零件, 其基本原理已经公开。如图 1^[1] 所示两焊接件, 要求上层塑料焊接件对激光具有较高透过率, 下层焊接件对激光有较高吸收率。两焊接件被夹具夹紧, 以保证焊接质量。激光束穿过上层塑料照射到下层

基金项目: 国家自然科学基金项目 (No. 2011DFR70280) 资助。

作者简介: 程亚婷 (1989 -), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为激光塑料焊接。E-mail: chengyatingmm@163.com

收稿日期: 2012-03-28; **修订日期:** 2012-04-25

焊接件表面,下层塑料吸收激光能量,并转化为热能,继而在两塑料的接触面上熔融加热上层材料,冷却后二者结合在一起,完成焊接过程。

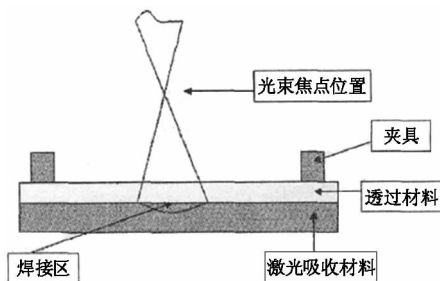


图1 激光焊接原理示意图

经研究表明,当上层对激光可透过激光材料对近红外激光的透过率高于50%,下层热作用区材料透过率低于20%时,激光塑料焊接会获得较好结果^[2]。

2.2 激光透射焊接特点

与传统的热板焊接、摩擦焊接、超声波焊接等塑料焊接技术相比,激光透射焊接技术具有以下特点:①非接触式焊接。无加工器械的磨损,无污染;②焊接质量好,精度高;③加工过程清洁,无菌,特别适于连接一些对卫生要求较高的医药制品如医用芯片、医疗注射器等;④抑制凹陷的产生,加工制品外观良好;⑤焊接速度快,效率高,易实现自动化生产;⑥激光容易传输,并且便于计算控制,可灵活的焊接零件的各微小部分,能够到达其他焊接方法焊接不到的区域;⑦对需要焊接的零件没有形状尺寸的限制,为产品的设计带来了很大空间;⑧利用高能量密度的激光热源,实现塑料接合面温度的最佳化,保证焊接过程的高速和高精度化^[3];⑨影响范围小,产生的震动应力和热应力小,制品装置的内部组织老化速度更慢,使用寿命长。

正是基于以上特点,使得激光透射焊接塑料技术在汽车、医疗、船舶、电子产业等众多领域得到越来越广泛的应用。

3 塑料激光焊接设备国内外发展状况

3.1 国外塑料激光焊接设备现状

在激光焊接塑料设备方面,欧洲起步较早,一些加工企业如 Leister, Rofin, Bielomatik 等公司相继推出专门用于塑料焊接的激光设备,并不断进行新产品的开发。

瑞士的 Leister 公司推出 Novolas 生产线。此生产线使用高功率的二极管激光器,每个激光器的功率为 25W 或更高^[4]。Novolas C 型焊接机产生圆形的激光点,焊接时采用周线焊接技术。Novolas S 型

焊接机则将激光点整形为一条直线或者曲线,可同时照射整个结合处,即采用同步焊接。Novolas M 系统采用掩膜覆盖技术,焊缝细,精度高,特别适用于医药设备的微连接。该公司最新的带有旋转工作台的 NOVOLAS WS - AT 系统如图 2 所示,其可选配的旋转工作台(RTT)可以提高 NOVOLAS WS - AT 塑料激光焊接系统的产量。WS - AT 的旋转工作台设计非常方便客户的使用,同时符合机械指令规范要求。最新开发的人机界面(HMI)可以方便地使得用户设定焊接参数,设备操作工可以很方便地将焊接参数应用到不同的焊接过程中。根据客户需求,在线良品一次品监测也可以方便地集成进该系统^[5]。



图2 NOVOLAS WS - AT 塑料激光焊接系统

Rofin 公司也是目前欧洲致力于开发焊接塑料激光焊接系统的几家公司之一。Rofin 公司提供半导体激光器^[6]、固体激光器和 CO₂ 激光器及各种激光器系统。Rofin 公司还向用户提供支持服务,帮助用户提高加工技能和设计适于激光焊接的产品^[7]。

美国相干公司是美国仅有几家能制造焊接塑料用激光器的公司之一,而在欧洲这种技术早已开始投入使用,其主要原因是欧洲汽车工业比美国同行在加工生产中更多地使用激光器,因而有更多的机遇使用激光焊接塑料。美国相干公司还在其实验室进行塑料激光焊接应用方面的研究,与 Gluco 公司一同开发了 Laser Bond 的层间材料,这种材料能连接两种具有不同结构或者具有低表面能的基质材料和热塑材料^[8]。

目前,塑料激光焊接主要是在欧洲流行。如瑞士、德国等国的企业对塑料激光焊接设备的开发已经达到较高的水平^[9]。随着激光器成本的不断降低,复合材料的不断开发,塑料激光焊接将以其明显的成本和质量优势逐步取代传统的塑料连接方式。

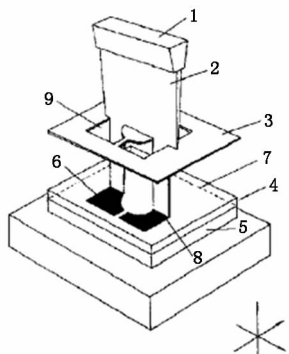
3.2 国内塑料激光焊接设备现状

目前,国内塑料激光焊接的理论研究大多还在高校,而设备的研发还处于起步阶段。各加工企业很少有专门开发塑料焊接设备的部门,大多处于探索阶段,如国内较早生产焊接机的武汉华工激光工程有限责任公司推出的采用半导体激光器为光源的塑料焊接机。根据客户的工件形态,分别有:基于振镜运动方式的塑料激光焊接机。主要用于平面焊接;基于电动工作台三维运动的塑料激光焊接机,主要用于三维曲线的焊接。同时结合客户产品特点定制各种工装夹具,选择合适的激光添加剂配方,为客户提供交钥匙工程^[10]。

4 激光塑料焊接设备技术典型代表

现有的焊接设备,大多是来源于发明专利,其中具有代表性的专利中涉及的焊接设备在各方面不断的进行着改进、创新,目的就是在保证焊接质量的前提下,通过设计更合理的结构,更加可行的焊接方法,降低设备成本,提高焊接设备的自动化程度,机械化程度,高效快速的完成各种可能的塑料制品的焊接。下面对部分已经公开的具有代表性的发明专利进行简单介绍。

公开号为 CN 1266776A 的专利^[11]公开了一种焊接塑料工件或塑料与其他材料的激光焊接装置,如图 3 所示。



1 - 激光光源;2 - 激光束;3 - 掩膜;4,5 - 焊接件;6 - 焊接区域
7 - 焊接件间接触区;8 - 激光线;9 - 掩膜开口

图3 一种焊接塑料工件或塑料与其他材料的激光焊接装置

该装置有三个主要特点:

特点一:线状激光束。

以往通过点光源激光束二维扫描焊接整个表面的方法存在着几个问题。首先是焊缝质量。因为焊接质量受激光束扫描间距和扫描速率控制,扫描间距越小,扫描时间越长则焊缝强度越好,因此当进行高速扫描时,焊接质量不能够保证。尤其是在转折

点处更为明显。其次精细扫描处理时间大大延长。还有一个问题是,光束的强度分布不均匀^[11]。该装置可根据希望的线长度,使用一个或者几个二极管激光器并排设置成一排。通过激光光源与接触面之间的距离来调整线长度。通过调整激光功率来调整希望的线宽。

特点二:采用掩膜焊接,提高焊接质量和精度。

为了在某一焊接区域焊接工件,把一个其材料对激光束不透明的掩膜设置在激光光源与要焊接的工件之间,所述掩膜的结构大于所使用的激光束的波长。由于掩膜的形状尺寸是可设计的,因此,焊接区域也是可控的,这就给微焊接带来了方便,只要精细结构的尺寸是使用波长的5~10倍即可^[11]。

特点三:通过附加结构,引导或停止液态熔融体的扩散。

实现过程如图4所示。

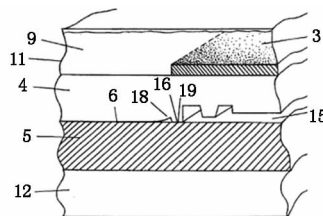


图4 引导或停止液态熔融体的扩散的示意图

实现过程:利用夹板 11,12 把要焊接的塑料片 4,5 紧紧地压在一起,掩膜 3 一体形成在顶夹板 11 内,这样在临近凸起 16 处形成薄空气分缝隙 18。一旦用激光束处理焊接区 6,液态熔融体被转移至 18,因为这里的压力比凸起 16 与塑料片 5 上部之间的接触面 19 的压力小得多。因此,可以控制方式防止熔融体渗透到不希望的自由空间 15 中^[11]。

Leister 公司还推出了世界上首个无需夹持装置的 3D 塑料制件球形焊接系统——Globo 这套系统最先进之处在于采用一个的旋转滚动玻璃球空气轴承进行聚焦。该玻璃球形透镜即可聚焦激光能量,也可以在黏结面的每个点上直接施加机械压力,具有双重作用。如图 5 所示。

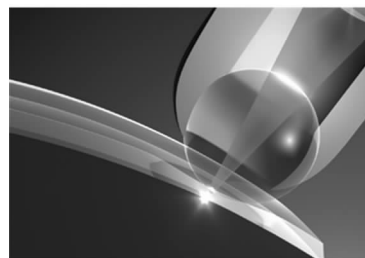


图5 3D塑料制件球形焊接系统 - Globo

瑞士莱丹公司的很多专利中都有类似上面提及的 Globlo 装置。如公开号 CN1590077A 的专利^[12], 再如公开号 CN1616218A 的专利^[13], 还有公开号 CN1496817A 的专利^[14]。这些装置中, 都有一个透明球体, 一般为玻璃制。通过它能够实现沿着几乎任意轮廓的加热和焊接。

公开号 CN1616218A 的专利公开的装置, 有三个主要特点:

特点一: 可以进行预热。

预热的目的是为了达到一定的焊接速度同时又保证良好焊接质量。该装置通过光学装置建立一个预热过程, 通过多个激光射线逐点的先后引导, 使之先预热再焊接。实施例如图 6 所示。

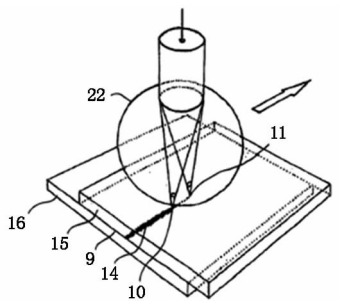


图 6 先预热再焊接的实施例

特点二: 可以获得焊接产品的检验组织。

为了焊接由层合织物, 薄膜和密封袋制成的的平面在焊接后必须一个检验组织, 以检验焊缝的强度。通过激光透射焊接, 同样要求在焊接过程期间产生一个相应的检验组织。该装置通过双焊线产生^[13]。如图 7 所示。

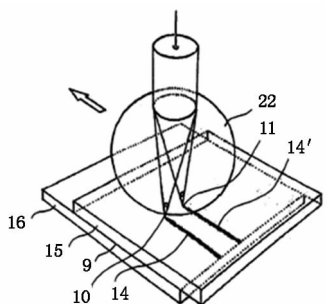


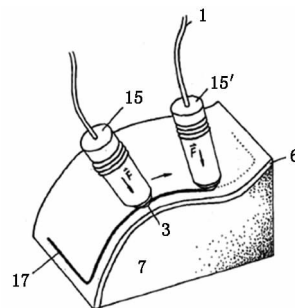
图 7 获得双焊接线的实施例

特点三: 任意轮廓的透射焊接。

该装置通过在加工头中安装一个对激光透明的 (最好是玻璃的) 球体, 在球体移动时, 使激光射线相应的在聚焦面上导引, 同时该球体还充当夹紧装置。

公开号 CN 1496817A 的发明专利公开了一种用激光束连接三维形状的塑料工件的装置^[14]。该

装置最大的特点就是无需额外的夹持装置, 玻璃球在聚焦激光的同时也充当夹具。该加工头可灵活的焊接有起伏的三维焊接件如图 8 所示。

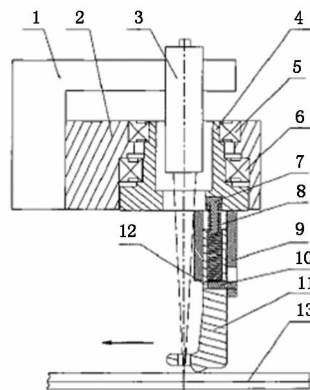


1 - 光导纤维; 3 - 玻璃球; 6 - 上层透明焊接件
7 - 下层吸收焊接件; 15 - 加工头; 17 - 焊缝

图 8 焊接有起伏的三维焊接件

现有的塑料焊接夹具普遍采用的是手动式塑料焊接夹具, 通过手动调节丝杆机构来调节施加在工件上的压力大小。由于手动式塑料焊接夹具在调节压力时需要到激光加工平台现场去操作, 不仅存在效率低, 调节不方便的问题, 而且还有可能伤害到工人的身体。

授权公告号 CN 201619249U 的专利^[15]公开了一种激光塑料焊接的压紧装置, 如图 9 所示。这种激光塑料焊接的压紧装置, 包括移动机头、固定座、激光头和可以绕其中心轴线旋转的回转装置以及弹性压紧装置, 该装置尤其适合于顺序型周线焊接, 减少焊接中的漏焊情况^[15]。且设备运行效率高, 节省开支。



1 - 移动机头; 2 - 固定座; 3 - 激光头; 4 - 旋转轴套
5 - 轴承一; 6 - 轴承二; 7 - 弹簧导杆; 8 - 弹簧; 9 - 导套
10 - 销轴; 11 - 压杆; 12 - 压杆孔; 13 - 焊接件

图 9 一种激光塑料焊接的压紧装置

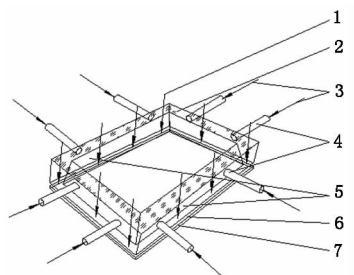
5 塑料激光焊接设备施压装置发展现状及气流压紧透射加工装置

正如以上介绍的专利中所示, 现有的所有公

开的专利技术的共同特点就是必须要通过直接接触的方式施压,以使待连接的上下两层材料紧密压合在一起,从而保证上下两层材料有效熔接。这将带来以下问题:首先,压紧力必须通过刚性直接接触由起到压紧作用的零件传递给上层材料,然后上层材料与下层材料紧密压合。由于两次接触(尤其是起压紧作用的零件把压紧力传递给上层材料的接触)都是刚性接触,难以实现面接触,从而难以保证上下两层材料有效熔接。长期运行可能导致灰尘、油污等黏附于起到压紧作用的零件上,影响到运行的平稳和压紧力的均匀分布。还可能带来磨损,导致起到压紧作用的零件和上层材料表面留下划痕。

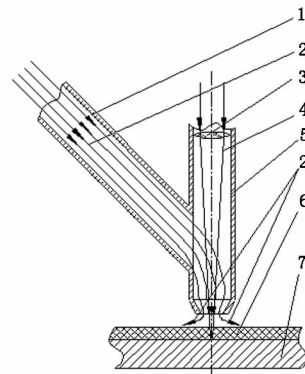
为了克服现有此类技术必须采用刚性压紧带来的问题,最近公开的 201210028152.3 专利^[16]气流压紧透射加工装置提出了一种解决方案,即采用气流压紧的方法来压紧被焊接材料。

该发明中,气流压紧透射加工装置由进气管、壳体等部分组成,如图 10 所示,一根或多根进气管沿同一个壳体周围布置,出气口的开设位置在壳体下沿,形成一个按设计需要的或方形、或圆形、或其他形状的出气口。气流压紧透射加工装置工作时,出气口从正上方对准上层被加工材料的待加工区域表面,从出气口流出的气流垂直或接近垂直作用于上层被加工材料的待加工区域上表面,从而对上层被加工材料的待加工区域上表面产生一个压力,这一压力使上层被加工材料与下层被加工材料之间的待加工区域紧密压合在一起,这种具有压紧力的区域,其形状可以是由预先设计的壳体所带来直线、曲线、方框、环形或其他任意形状的区域,这种区域可以是二维的,亦可以是三维的。该发明实现的是一种柔性接触,能够从根本上解决刚性直接接触施压所带来的多种弊端。



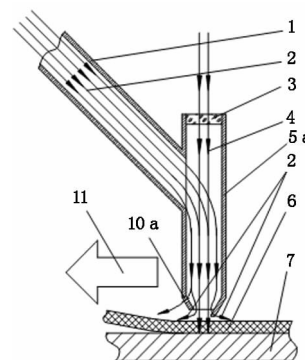
1 - 射线; 2 - 窗口; 3 - 气流; 4 - 进气管
5 - 壳体; 6 - 上层焊接件; 7 - 下层焊接件
图 10 气流压紧透射加工装置

经过对加工头进行适当的改进设计,本发明的基础上发展出了若干改进型,改进型可以进行二维平面及三维曲面的加工。如专利号 201210028153.8 专利^[17]气流压合线形轨迹透射加工装置中设有筒形加工头,所述筒形加工头能够提供投向上层被加工材料表面的气流和射线束。如图 11 所示,在此基础上,还设计了更加适应对曲面材料的加工的衍生型。



1 - 进气管; 2 - 气流; 3 - 透镜; 4 - 射线束
5 - 筒形加工头; 6 - 上层焊接件; 7 - 下层焊接件
图 11 气流压合带状轨迹透射加工装置

当被加工的两层材料中上层材料厚度较大时,专利号 201210028117.1^[18]热气流软化、压合透射加工装置提出了一种解决方案:即将热气流作用于上层被加工材料上,此时因热气流的加温作用软化,随后在热气流的气流压力作用下,软化后的上层被加工材料与下层被加工材料更容易地紧密压合在一起。利用该解决方案能够保证使上下两层材料间获得均匀的压紧力,即使下层被加工材料为有一定起伏的三维曲面,加工时上层被加工材料仍能紧密压合到下层被加工材料上。如图 12 所示。



1 - 进气管; 2 - 热气流; 3 - 镜片; 4 - 射线束; 5a - 加工头
6 - 上层焊接件; 7 - 下层焊接件; 10a - 喷气孔; 11 - 加工头前进方向
图 12 热气流软化、压合透射加工装置

6 结 语

塑料激光焊接设备日趋完善,在以下几个方面有较突出的体现。

(1) 激光器部分

现有的塑料激光焊接设备中最常用的激光器是半导体或二极管激光器和 Nd:YAG 激光器,不同的激光器可以用于焊接各种不同的塑料制品,再通过光学部件的合理优化设计可以调整设定合适的焊接参数如:激光输出功率,激光输出形状等。

(2) 焊接装置中的施压方式

塑料焊接设备中的施压方式正从传统的机械夹具不断的朝着更加可靠,适用范围更广,更加适于自动化生产的方向发展。

(3) 二维焊接到三维焊接的转变

在二维焊接技术设备已经较成熟的基础上,焊接设备在处理三维焊接的能力上也不断的提高。

虽然现有塑料焊接设备已经能够满足一部分生产上的要求,在某些领域已经投入使用,但设备成本普遍偏高,且能源利用率低,特别是大型加工设备上问题更加突出,工业化生产能力不高也是确实存在的问题,亟待解决。随着这些技术上的问题不断解决,激光塑料焊接会越来越普遍,应用范围也一定会越来越广。

参考文献:

- [1] Wang Youliang, Cui Ying, Wang Jianchao, et al. Technology of laser welding plastic [J]. Applied Laser, 2006, (2):93-96. (in Chinese)
王又良,崔瑛,王健超,等.塑料的激光焊接工艺[J].应用激光,2006,(2):93-96.
- [2] Pang Zhenhua, Yang Shaokui, Song Jie, et al. Laser plastics welding technology and typical applications[J]. Mechanical & Electrical Engineering Technology, 2010, 39(4):17-19. (in Chinese)
庞振华,杨绍奎,宋杰,等.激光塑料焊接技术及其典型应用[J].机电工程技术,2010,39(4):17-19.
- [3] Hang Zhengxiang, Chang Lili, Gan Hongyan, et al. Principle and characteristics of laser welding of plastics[J]. Welding Technology, 2010, 39(8):4-8. (in Chinese)
杭争翔,唱丽丽,甘洪岩,等.激光焊接塑料的原理及特性[J].焊接技术,2010,39(8):4-8.
- [4] Li Jiao. Mechanism and technics research of PMMA/ABS thermoplastic laser transmission [D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2008. (in Chinese)
李皎. 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.
- [5] <http://leister.com/cn/highlight-lasersystems.html>.
- [6] Bachmann F G, Russek U A. Laser welding of polymers using high power diode lasers [J]. Proceedings of SPIE, 2002, 4637:505-518.
- [7] <http://www.rofin.com/index-e.htm82>.
- [8] Yu Fei. Laser welding technology into the plastic processing market [J]. Optics Mechanics & Electronics Information, 2005, (2):9-12. (in Chinese)
宇飞.激光焊接技术进入塑料加工市场[J].激光技术与应用,2005,(2):9-12.
- [9] Nonhof C J. Laser welding of polymers [J]. Polymer Engineering and Science, 1994, 34(20):1547.
- [10] Yan Lairong. Laser welding of plastics [J]. Shanghai Plastics, 2010, (3):26-31. (in Chinese)
燕来荣.塑料激光焊接加工技术[J].上海塑料,2010,(3):26-31.
- [11] Chen Jiewei. Plastic welding workpiece with other material or plastic laser welding method and the device; China, 00101924.4 [P]. 2000-1-28. (in Chinese)
陈杰伟.焊接塑料工件或塑料与其他材料的激光焊接方法及装置;中国,00101924.4 [P]. 2000-1-28.
- [12] Chen Jiewei, Pelonado M. Used in connection with the plastic material device flat; China, 200410057597. X [P]. 2004-8-23. (in Chinese)
陈杰伟, M.皮罗纳托.用于连接扁平的塑料材料的装置;中国,200410057597. X [P]. 2004-8-23.
- [13] Chen Jiewei. For through the laser ray heating plastic methods and devices; China, 200410086945. 6 [P]. 2004-10-20. (in Chinese)
陈杰伟.用于通过激光射线加热塑料的方法和装置;中国,200410086945. 6 [P]. 2004-10-20.
- [14] Chen Jiewei, Nedel Spielberg. A, 3d laser beam connections with the shape of the method and the device plastic; China, 03132665. X [P]. 2003-9-30. (in Chinese)
陈杰伟, A.尼德尔伯格.用激光束连接三维形状的塑料工件的方法和装置;中国,03132665. X [P]. 2003-9-30.
- [15] Wang Feng, Song Ping. A laser plastic welding pressure device; China, 200920289635. 2 [P]. 2009-12-29. (in Chinese)

- Chinese)
王峰,宋平. 一种激光塑料焊接的压紧装置:中国, 200920289635. 2[P]. 2009-12-29.
- [16] Wang Yaomin, Wang Yingwei. Air pressure transmission processing device; China, 201210028152. 3[P]. 2012-02-09. (in Chinese)
王耀民,王瑛玮. 气流压紧透射加工装置:中国, 201210028152. 3[P]. 2012-02-09.
- [17] Wang Yaomin, Wang Yingwei. Air pressure and linear track transmission device to process; China, 201210028153. 8[P]. 2012-02-09. (in Chinese)
王耀民,王瑛玮. 气流压合线形轨迹透射加工装置:中国, 201210028153. 8[P]. 2012-02-09.
- [18] Wang Yaomin, Wang Yingwei. Heat flow pressure and soften the transmission device to process; China, 201210028117. 1[P]. 2012-02-09. (in Chinese)
王耀民,王瑛玮. 热气流软化压合透射加工装置:中国, 201210028117. 1[P]. 2012-02-09.