

# 基于超声波焊接的木塑复合材料分层实体制造技术

赵辉, 刘芬芬, 王天琪, 王清文 (东北林业大学生物质材料科学与技术教育部重点实验室, 黑龙江哈尔滨 150040)

**摘要** 提出了一种新型分层实体制造技术, 以木塑复合薄片材料为原料, 利用数控激光将其切割成特定形状, 再应用超声波将木塑薄片分层累加焊接成型。通过试验验证了超声波分层焊接木塑薄片的可行性, 并分析了该方法的优点及技术参数设置。

**关键词** 分层实体制造; 激光切割; 超声波焊接; 木塑薄片

**中图分类号** S788 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2014)19-06279-02

## LOM Technology of Wood-plastic Composites Based on Ultrasonic Welding

ZHAO Hui et al (Key Lab of Bio-Based Material Science & Technology of Ministry of Education, Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang 150040)

**Abstract** A new kind of laminated object manufacturing (LOM) technology with wood-plastic composite(WPC) sheet as raw material was put forward, in which use the CNC laser to cut WPC sheet into specific shape, then apply the ultrasonic welding to accumulate wood sheets together layer by layer. The feasibility of ultrasonic welding to WPC and its LOM technology was verified, and the advantages and relative technical parameters related were analyzed.

**Key words** LOM; Laser cutting; Ultrasonic welding; Wood-plastic sheet

分层实体制造技术简称 LOM 技术, 即将原材料按照需要的形状一层层叠加成型, 是一种适合薄片原料的快速成型技术。传统的 LOM 系统是将单面涂有热熔胶的纸、陶瓷箔或金属箔等通过加热辊加热黏接成一层, 位于上方的激光器按照 CAD 模型数据, 用激光将材料切割成所需要的轮廓, 然后用热压辊再在上面贴一层材料, 并再次切割, 如此循环往复直至加工完成整个零件造型(需手工剥除边角料)<sup>[1-2]</sup>。现今有很多高等院校、公司以及单位在研究、生产和改进 LOM 系统, 如国外的 Sparx、Helisys、Kira 公司等, 国内有华中科技大学、清华大学等单位。西安交通大学的余国兴等<sup>[3]</sup>人对 LOM 系统进行了改进, 提出用经济适用的刀切法代替激光切割法; 中北大学的郭平英<sup>[4]</sup>提出了一种基于大厚度切片的金属功能零件的 LOM 技术; 北京工商大学的徐明君等<sup>[5]</sup>研究了超声波焊接金属材料在 LOM 中的应用; 北京工业大学的李小明等<sup>[1]</sup>人也利用质量鱼骨图研究了基于超声波焊接的 LOM 技术等。

由于传统方法存在一些不足, 比如热熔胶的可塑性使得焊件不耐高温, 热熔胶不能均匀熔化导致叠层厚度不均匀, 焊件整体强度无法保证; 黏接过程中不停的热压、冷却以及对成型零件剥离废料时的残余热应力等都可能造成制件变形, 从而影响焊件整体精度等。该文根据 LOM 技术的原理, 提出一种新型分层实体制造的实现方法——超声波焊接木塑薄片成型的 LOM 技术。该技术以木塑薄片代替原来的纸作为原材料, 同时用超声波焊接取代现有的热压辊作用在涂有热熔胶的纸上进行分层焊接, 在一定程度上克服了传统 LOM 技术的一些缺陷, 改进了 LOM 成型技术。

## 1 焊接成型原理

材料的可焊性取决于其硬度和晶格结构。超声波焊接是利用超声波的高频振荡对焊件接头进行局部加热和表面

清理, 然后对材料施加压力实现焊接的方法<sup>[6]</sup>。超声波焊接木塑薄片不需要外加热源, 具有不受焊接性的约束, 没有气、液相污染, 能够连接同种或异种金属、半导体、塑料等特点。因其不存在热传导与电阻率的问题, 容易焊接高热导率及高电导率的材料, 目前已经广泛应用于工程塑料的焊接领域<sup>[7]</sup>。

超声波焊接木塑复合薄片实现分层叠加成型的原理与分层实体制造快速成型原理类似。主要是超声波发生器将工频电流(50 Hz)转变为高频振荡电流(15 kHz), 换能器利用逆压电效应将其转换成弹性机械能, 聚能器放大振幅, 并将其通过耦合杆、上声极(焊头)传递至木塑复合薄片<sup>[8]</sup>。该试验使用的焊接模具如图 1 所示, 焊接过程中将已切割好的木塑薄片按要求放置在模具上, 然后启动按钮, 施加能量即可。由于 2 焊件结合处有很大阻力, 超声波能量聚集于此, 2 焊件在高频振动下剧烈地摩擦, 产生的热量使焊件结合处熔化, 实现焊接。在上述基础上, 根据分层实体制造的成型原理, 逐层累加木塑薄片焊接直至完成整个制件的分层焊接。

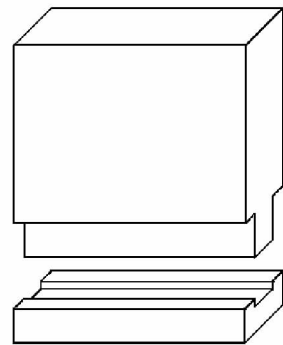


图 1 超声波焊接机模具

## 2 焊接试验

**2.1 试验仪器与设备** 明和 ME-3015KC 型超声波塑料焊接机(上海明和公司), 额定功率 2 200 W, 工作频率 15 kHz; ZS-406E 电动加硫成型机(东莞卓胜机械设备有限公司);

**基金项目** 中央高校基本科研业务费专项(DL12CB02)。

**作者简介** 赵辉(1973-), 男, 黑龙江哈尔滨人, 副教授, 博士, 从事先进制造技术与企业工程、创新设计理论(TRIZ), 生物质材料科学与技术研究。

**收稿日期** 2014-05-30

SJSH30/SJ45 双阶塑料挤出机组(南京橡塑机械厂);SHR-10A 高速混粉机(张家港市通河橡塑有限公司);CLS3500 激光高速切割机(北京神州镭射激光切割有限公司)。

**2.2 试验材料选取和制备** 在美国材料试验协会标准(ASTM)中对木塑复合材料(Wood-Plastic Composites, 缩写为 WPC)给出的定义是“一种主要由木材或者纤维素为基础材料与塑料(也可以是多种塑料)制成的复合材料”<sup>[9]</sup>。试验选用的木塑薄片是木塑复合材料的一种,它兼有木材和塑料的优点,制作原材料简单、来源广,成本也相应较低,且对环境污染小。

试验选用了 PP/木粉和 PE/木粉 2 种木塑薄片,2 种薄

片中木粉含量均为 50%,加上 46% 的 PP 或 HDPE,再加 4% 的其他助剂进行混合。首先,将材料按配比要求进行配料,经高速混料机混合均匀,再由双阶塑料挤出机挤出,挤出的熔融态材料不冷却,直接经过电动加硫成型机压延成 300 mm × 200 mm 块状,厚度在 1.0 ~ 1.5 mm 之间的薄片。为了便于试验的进行,根据超声波焊接机的特性和选用模具的大小,对热压成型后的大块木塑薄片,根据三维 CAD 模型驱动,选取适当的参数,利用激光切割机将大块木塑薄片统一切割为 30 mm × 30 mm 的小块正方形木塑薄片。切割好的原材料 PP/木粉、PE/木粉正侧面样品如图 2a、b 所示。

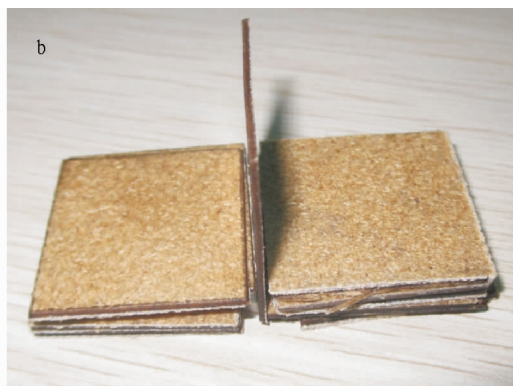


图 2 PP/木粉薄片(a)和 PE/木粉薄片(b)

**2.3 试验方法** 该试验直接采用超声波焊接机对 2 种木塑复合薄片进行逐层累加焊接,发生器的工频电流为 50 Hz,焊接压力 0.5 MPa,延迟时间和固化时间固定,焊机焊头振动时间(以下简称发振时间)根据试验需求进行调整。

**2.3.1 焊接工艺参数对试件性能的影响。** 主要研究焊接机发振时间对试件性能的影响。在焊接压力、延迟时间和固化时间固定的情况下,连续调整发振时间对 2 种材料分别进行焊接,寻找各自的最优化焊接参数。其中焊接压力为 0.5 MPa,延迟时间为 2 s,固化时间 1.5 s,发振时间的调整范围是 0.8 ~ 1.4 s,每间隔 0.15 s 改变 1 次发振时间,重复试验。

**2.3.2 材料厚度和种类对试件性能的影响。** 由于材料的种类会影响焊接的效果,当材料厚度和焊接参数一定时,选取 PP/木粉和 PE/木粉 2 种硬度不同的木塑薄片进行对比试验。受其他外部因素影响,压延材料的厚度不是很均匀,为了便于一层层的累加焊接以达到最佳焊接效果,同时也更符合分层实体制造对材料厚度的要求,选取了厚度在 1.0 ~ 1.5 mm 之间相对均匀的木塑薄片。试验过程中,当材料种类和焊接参数不变时,分别对厚度为 1.0 mm、1.2 mm 和 1.4 mm 3 种规格的材料进行焊接。

### 3 结果与分析

**3.1 焊接工艺参数的影响** 由试验可知,发振时间对焊接的效果有着重要影响。由于超声功率较大,当其他参数固定,焊接材料逐层累加时,发振时间过长,超声振动会波及到已经焊好的材料,导致开焊或者是材料相对错动,影响焊件强度;时间太短,又可能出现焊接不成功的现象,同样影响焊

件整体强度。因此,选取适当的发振时间,有利于焊接过程中各层材料原子间的充分熔化和均匀结合,使焊件整体效果较好,从而提高焊件的强度。

表 1 描述了 PP/木粉和 PE/木粉在延迟时间 2 s 和固化时间 1.5 s 不变时,改变发振时间的焊接情况。对比分析不同发振时间下的焊件效果可知:发振时间太短,木塑薄片不能完成焊接或是焊接面积小于 50%,焊件强度明显不够;发振时间过长,焊接的偶然性很大,而且会导致材料边缘翘起、本体熔化或是变黑,焊件强度同样受到影响。综合各项因素发现:焊接 PP/木粉薄片发振时间为 1.2 s、PE/木粉薄片发振时间为 1.0 s 时焊件达到较佳的效果,且在逐层累加的过程中,薄片间依然能够很好地结合,焊件外形可观且整体具有一定的强度。

表 1 不同发振时间下 PP、PE 薄片的焊接情况对比

发振时间//s	PP/木粉的木塑薄片	PE/木粉的木塑薄片
0.8	材料结合面积小于 50%, 能手动分开	材料结合面积在 50% 左右,效果不明显
0.9	材料结合面积在 50% 左右,效果不明显	材料结合面积在 70% 左右,有一定的强度
1.0	材料结合面积略大于 50%,焊接偶然性较大	结合面积达到 90%,焊件厚度均匀、边缘规整
1.1	材料结合面积在 70% 左右,有一定的强度	材料有相对滑动,结合面积不理想
1.2	结合面积达到 90%,焊件厚度均匀、边缘规整	材料相对错动明显,本体部分变黑
1.3	材料相对错动,本体有变黑趋势	本体变黑,边缘翘皮
1.4	相对滑动明显,本体变黑,边缘翘皮	本体部分振碎,破坏明显

防止劣质笋的发生,影响产量。

**3.2.4 水涝。**芦笋不耐涝,最忌床苗积水造成根系腐烂。采笋期间也是寒亭降水比较集中的时段。特别是7~8月,降水量最多,几乎占年降水量的50%。如遇水涝,造成笋田积水,容易出现烂根现象,同时嫩茎也容易发生锈斑<sup>[4]</sup>。另外,多雨季节还容易产生芦笋茎枯病。因此,在雨季要注意开沟排涝,还要增施磷钾肥。

### 3.3 寒亭区气象条件对芦笋发生病害的影响

**3.3.1 茎枯病。**茎枯病是芦笋易发病,若天气阴雨多湿,病斑会迅速扩大,直至上部的枝茎枯死。一般4月下旬可见病株,7~9月为发病盛期。病菌生长的温度范围为16~36℃,适温为23~26℃。寒亭区4月下旬~10月中旬平均温度在15~26℃,处在茎枯病适温范围内,所以发病几率较高。要以提前预防为主,综合防治,要适当增施钾肥,喷洒药剂,病情严重时要清园,彻底清除并烧毁病株残体。

**3.3.2 褐斑病。**除茎枯病外,褐斑病也是芦笋的主要病害。7~9月高温、高湿的条件下,为褐斑病高发期。褐斑病严重时会造成植株生长不良,降低产量。

**3.3.3 根腐病。**根腐病是由许多病原菌共同引起的,该病繁殖温度为8~35℃,最适温度为27℃。根腐病严重时对导致植株枯死。笋田要做好排水、防涝工作,增加土壤透气性,可预防和减轻病害的发生,必要时喷洒药剂。

**3.3.4 立枯病。**立枯病主要危害幼苗和幼株,该病严重时造成幼苗或幼株萎蔫死亡。立枯病在雨季积水、土壤黏重时,容易发病。不要在前茬为棉花、红麻、甜菜、马铃薯等易传染此病的土地做育苗地。播种前灌足底水,在幼苗出土后20 d内不灌水或少灌水。

(上接第6280页)

**3.2 材料种类和厚度的影响** 由试验可知,对于2种不同的木塑薄片材料,硬度越低的焊接越容易,由于PE/木粉材料的硬度小于PP/木粉材料,试验中当材料厚度和焊接参数一定时,PE/木粉薄片较PP/木粉的薄片更容易被焊接上,焊接后效果也更明显。由于材料的厚度会直接影响焊件的均匀度及强度,而经热压机压出的木塑薄片厚度存在不均匀的现象。试验发现,在材料种类和焊接参数一定时,选用厚度越薄的材料越容易被焊接,焊接熔融结合也更好;对于厚度较大的同一种材料,要达到一定的焊接效果,必须延长其焊接的发振时间。

## 4 结语

该文提出的试验方法中,用木塑薄片代替纸作为成型材料,来源广、成本低且环保;重要的是材料层与层之间的连接不再依靠黏接剂、堆焊材料和自熔合金,而是选取适当的参数直接利用超声波焊接机焊接木塑薄片,在高频振荡下通过材料原子间的相互扩散实现固态连接。

通过试验发现,利用超声波焊接木塑薄片实现分层实体制造的快速成型方法是可行的,且具有较好的外观效果。将

**3.3.5 锈病。**锈病孢子萌芽的适应温度为20~22℃,多雨、重雾和气温较低以及田间通风透气不良等容易引发病害发生和流行。

## 4 应对措施

寒亭气象条件优越,气候温和,四季分明,雨量集中,雨热同期,土地肥沃,污染少,日照充足,满足高产量高质量芦笋生长的需要。但该地区也会出现一些灾害性天气或不利于芦笋生长的气象条件,针对寒亭不利气象条件,如暴雨渍涝、低温冻害、高温干旱等适时地开展芦笋专项气象服务,对芦笋的增产起到重要作用<sup>[4-5]</sup>。

**4.1 开展芦笋生长发育的专项服务** 如春季的低温、霜冻以及有无倒春寒的预报服务;夏季的高温、干旱、强降雨等专项服务,给种植户提供农事指导和建议。

**4.2 制定芦笋种植气象服务周年方案** 进一步细化芦笋生长生育期内各个阶段气象服务内容,建立可操作性强的服务流程。

**4.3 开展技术咨询服务** 定期或不定期开展一些技术咨询服务,为芦笋种植基地提供了高产栽培技术及灾害性天气防御等技术咨询服务。

## 参考文献

- [1] 李书华,刘宝真,李少勇.芦笋高产高效标准化栽培技术教程[J].山东农业科学,2004(4):34-36.
- [2] 李宝树.芦笋栽培技术讲座[J].吉林蔬菜,2003(4):4-5.
- [3] 叶传伟,施国富,王华卿.芦笋种植的气候适应性和气象条件对产量影响[J].上海农业科技,2006(3):71-73.
- [4] 杨林,李霞,李书华.异常芦笋的产生原因与预防对策[J].长江蔬菜,2006(4):34.
- [5] 杨爱华,杨锡亮,扈清明,等.黄河三角洲芦笋产业现状及发展对策[J].农业科技通讯,2008(2):18-19.

分层叠片技术和超声波焊接技术结合起来对木塑薄片进行分层叠片焊接,不仅能保护材料本体不被污染,不产生焊渣、污水、有害气体等废物污染,也能较快地制作出需要的零件(模型),是一种既节能环保又高效的方法。该文提出的成型方法符合当今对产品生产短周期、低成本、高质量的要求,是一种新型的LOM快速成型方法。

## 参考文献

- [1] 李小明,李彦生,韩景芸.基于超声波焊接技术的快速成型方法研究[J].机床与液压,2007,35(3):4-6.
- [2] 王清文,王伟宏.木塑复合材料与制品[M].北京:化学工业出版社,2007.
- [3] 余国兴,李涤尘,刘卫玲.一种新型分层实体制造技术[A].中国机械工程学会.特种加工技术——2001年中国机械工程学会年会暨第九届全国特种加工学术年会论文集[C].中国机械工程学会,2001.
- [4] 郭平英.基于5 mm以上分层板金属功能零件LOM技术[J].山西冶金,2008(5):28-30.
- [5] 徐明君,单忠德,南光熙,等.超声焊接在数字化分层实体制造中的应用研究[J].电加工与模具,2006(4):32-34.
- [6] 王运赣.快速成形技术[M].武汉:华中科技大学出版社,1998.
- [7] 郭池,张超华.快速成型技术[J].家具,2012(6):102-106.
- [8] 李亚江,王娟,夏春智.特种焊接技术及应用[M].北京:化学工业出版社,2008:238-253.
- [9] 弗兰茨·阿贝尔,孟宪知(译).塑料超声波焊接[J].焊接,1999(6):30-33.