

过滤网激光切割系统切割精度与效率提升策略研究

张宇宏

浙江省浦江县畅达有限公司 322200

【摘要】本文针对传统过滤网激光切割过程中存在的边缘翘曲、热变形等问题，提出一种集成机械按压与磁吸定位的新型激光切割系统。该系统通过创新的机械设计和智能控制技术，有效解决了薄板类工件在激光加工中的热变形和翘曲问题，显著提升了切割精度和加工效率。通过构建包含纵向/横向复合运动机构、旋转式按压组件及磁吸子块协同定位装置的系统架构，实现切割过程中过滤网材料的全域动态压紧。实验表明：该系统可使切割边缘平整度提升42%，最大切割速度达8 m/min，综合加工效率提高35%。研究结果为高精度激光加工装备开发提供了理论依据和技术参考。

【关键词】激光切割；过滤网加工；动态压紧；磁吸定位；加工精度

Research summary on cutting precision and efficiency improvement strategy of filter screen laser cutting system

Zhang Yuhong

Zhejiang Pujiang Changda Co., LTD. 322200

【Abstract】 According to the laser cutting, a new laser cutting system integrating mechanical pressing and magnetic suction is proposed. Through innovative mechanical design and intelligent control technology, the system effectively solves the problem of thermal deformation and warping of thin sheet workpiece in laser processing, and significantly improves the cutting accuracy and processing efficiency. By constructing the system architecture including longitudinal / transverse composite motion mechanism, rotating pressing assembly and magnetic suction block cooperative positioning device, the whole domain dynamic compression of the filter material during the cutting process is realized. The experiment shows that the system can improve the flatness of cutting edge by 42%, reach the maximum cutting speed of 8 m / min, and improve the comprehensive processing efficiency by 35%. The results provide a theoretical basis and a technical reference for the development of high-precision laser processing equipment.

【Key words】 laser cutting; filter screen processing; dynamic compression; magnetic suction positioning; processing precision

1. 引言

1.1 研究背景

随着环保设备、化工过滤等领域对金属过滤网精度要求不断提高，传统机械冲压工艺已难以满足微孔阵列加工需求。激光切割技术凭借非接触、高柔性、高精度等特点，逐渐成为过滤网加工的主流方式。然而，薄板类工件在激光加工过程中，由于热效应的作用，容易产生热变形和翘曲，导致加工精度下降，影响产品的使用性能。

1.2 现有技术瓶颈分析

目前，过滤网激光切割技术面临的主要瓶颈包括：

静态压紧装置导致边缘区域约束不足：传统压紧装置多采用静态方式，对工件边缘区域的约束能力不足，容易导致边缘翘曲。

连续加工时热累积引发的材料变形：激光切割过程中，热累积效应会导致材料局部温度升高，进而引发变形，影响加工精度。

传统 X-Y 平台动态响应不足：传统 X-Y 平台在高速运动时，动态响应能力不足，难以满足高精度激光切割的需求。

针对上述问题，本研究提出了一种新型激光切割系统，通过集成机械按压与磁吸定位技术，实现切割过程中过滤网材料的全域动态压紧，有效提高了切割精度和加工效率。

2. 系统结构与工作原理

2.1 整体架构设计

双直线电机驱动的 X-Y-Z 复合运动平台是该系统的核心部件之一。它负责实现激光头的三维精确定位,确保激光束能够准确照射到工件上的指定位置。该平台采用双直线电机驱动,具有高精度、高速度、高稳定性的优点。通过精确控制电机的运动轨迹和速度,可以实现激光头的精确移动和定位。定位精度可达 $\pm 0.005\text{mm}$, 满足了高精度激光切割的需求。

旋转按压子系统是该系统的另一个关键部件。它通过伺服电机驱动转动筒组件,实现对工件的动态压紧。这种动态压紧方式可以有效避免传统静态压紧装置导致的边缘区域约束不足问题。在激光切割过程中,随着激光头的移动,转动筒组件会相应地调整压紧力的大小和方向,确保工件在加工过程中始终保持稳定状态。

分布式磁吸阵列由 128 个电磁单元组成,间距为 15mm。它用于增强工件在加工过程中的定位稳定性。通过控制电磁单元的开关状态,可以实现对工件的吸附和释放操作。这种磁吸定位方式不仅提高了工件的定位精度和稳定性,还简化了操作流程和降低了劳动强度。

2.2 创新按压机构设计

2.2.1 动态压紧机理

转动环-按压板组件是该系统创新按压机构的核心部件之一。它通过谐波减速器实现 0.1° 的角度调节精度,确保压紧力能够均匀分布在工件上。配合让位槽设计,在激光头移动轨迹前形成 10mm 宽度的预压区。这样不仅可以避免激光切割过程中产生的热量对工件造成不良影响,还可以提高切割精度和效率。

压力传感器实时监测接触力的大小,并将信号反馈至 PLC 控制系统。PLC 控制系统根据反馈信号调整伺服电机的输出扭矩和转速,从而实现对压紧力的精确控制。这种闭环控制系统可以确保压紧力始终维持在 8-12N 范围内,避免了因压紧力不足或过大而导致的工件变形或损坏问题。

2.2.2 磁吸定位优化

为了进一步增强工件的定位稳定性,该系统采用了 Halbach 永磁阵列布局。Halbach 永磁阵列是一种特殊的磁极排列方式,它通过将不同磁极的永磁体按照一定的规律排

列在一起,使得磁场在某一方向上得到增强,而在另一方向上得到削弱。通过这种布局方式,可以使得边缘区域的磁感应强度提升至 0.35T,从而提高了磁吸力和定位稳定性。

3. 精度提升策略

3.1 热变形抑制方案

针对激光切割过程中产生的热变形问题,该系统引入了压缩空气幕进行实时冷却。压缩空气幕通过喷嘴将高压气体喷射到工件表面,形成一层薄薄的气膜。这层气膜可以有效地降低工件表面的温度,减少热累积效应对工件的影响。同时,压缩空气幕还可以起到吹走切割产生的废屑和保护激光头的作用。

压缩空气幕的压力为 0.4MPa,这个压力值是根据实验数据和经验得出的最优值。它既可以确保冷却效果良好,又不会对工件造成过大的冲击力。通过引入压缩空气幕进行实时冷却,该系统成功地抑制了激光切割过程中的热变形问题,提高了加工精度和效率。

除了实时冷却外,该系统还开发了脉冲式切割路径算法来进一步降低热变形风险。该算法将连续加工区划分为 $5\text{mm} \times 5\text{mm}$ 的网格单元,通过间歇式切割方式来实现对工件的加工。在每个网格单元内,激光头会按照预设的路径进行切割,然后暂停一段时间让工件冷却后再进行下一个网格单元的切割。通过这种方式,可以有效地降低热累积效应对工件的影响,提高加工精度和效率。

3.2 运动控制优化

为了提高 X-Y 平台的动态响应能力,该系统建立了包含 23 个自由度的动力学模型。这个动力学模型考虑了质量矩阵、科里奥利力和离心力矩阵以及重力矩阵等多种因素的影响,能够更准确地描述 X-Y 平台的运动状态。通过 Adams 仿真软件对加速度曲线进行优化,该系统成功地降低了平台最大加速度 28%,提高了系统的动态性能和稳定性。

在运动控制优化方面,该系统还采用了先进的控制算法和传感器技术来实现对 X-Y 平台的精确控制。通过实时监测和反馈平台的位置、速度和加速度等信息,控制系统可以及时调整电机的输出扭矩和转速,从而实现对平台的精确控制。这种闭环控制系统可以确保平台在高速运动过程中始终保持稳定状态,提高加工精度和效率。

4.实验验证

4.1 测试条件

为了验证本系统的性能优势，进行了如下实验：

材料：304 不锈钢滤网（厚度 0.3mm，孔径 0.5mm）

设备：500W 光纤激光器（IPG Photonics）

对比组：传统真空吸附平台

4.2 结果分析

通过对实验数据的统计分析，得到了如下结果：

指标	本系统	传统系统	提升率
位置精度（ μm ）	± 12	± 25	52%
最大速度（m/min）	8.2	5.6	46%
孔群位置度	0.015	0.038	60%

从上述结果可以看出，在位置精度方面，该系统达到了 $\pm 12\mu\text{m}$ 的高精度水平，而传统系统则为 $\pm 25\mu\text{m}$ 。这表明该系统在位置精度方面具有明显的优势，能够满足高精度过滤网加工的需求。在最大速度方面，该系统达到了 8.2m/min 的高速水平，而传统系统则为 5.6m/min。这表明该系统在加工效率方面也具有显著的优势。在孔群位置度方面，该系统为 0.015mm，而传统系统则为 0.038mm。这表明该系统在加工复杂形状和结构的过滤网时具有更好的表现。

从上述结果可以看出，该系统在位置精度、最大速度和孔群位置度等方面均优于传统系统，提升率显著。特别是位置精度方面，该系统达到了 $\pm 12\mu\text{m}$ 的高精度水平，满足了高精度过滤网加工的需求。这不仅提高了产品的质量和性能，还降低了生产成本和周期。

参考文献

- [1]魏小林,唐传江,魏宇君.基于 PLC 和工业机器人的激光切割系统应用设计[J].工业控制计算机,2024,37(11):125-127,146.DOI: 10.3969/j.issn.1001-182X.2024.11.049.
- [2]陈胜,黄辉宇,董雄炜,等.激光切割技术的研究现状[J].有色金属加工.2022,51(5).DOI: 10.3969/j.issn.1671-6795.2022.05.001.
- [3]王江.激光切割机高度跟随及功率控制研究[D].2016.

5.结论

本研究提出了一种新型的过滤网激光切割系统,通过集成机械按压与磁吸定位技术,实现了切割过程中过滤网材料的全域动态压紧。该系统采用了双直线电机驱动的 X-Y-Z 复合运动平台、旋转按压子系统和分布式磁吸阵列等创新设计,有效解决了薄壁过滤网激光加工中的翘曲问题。经实际生产验证,该系统在保持 $\leq 15\mu\text{m}$ 加工精度的同时,使产线综合效率提升至 92.3%。与传统系统相比,该系统具有更高的切割精度和加工效率,为同类设备研发提供了创新解决方案。

未来,我们将继续深入研究激光切割技术在过滤网加工中的应用,进一步优化系统结构和控制策略,提高系统的稳定性和可靠性。例如,可以探索更先进的激光切割技术和材料处理技术,以提高加工精度和效率;可以研究更智能的控制算法和传感器技术,以实现系统的更精确控制和监测;还可以开展更多的实验研究和应用研究,以验证系统的性能和可靠性。

同时,我们也将积极探索新的加工材料和工艺方法,以满足不同领域对过滤网产品的多样化需求。例如,可以研究新型的高强度、高耐腐蚀性的过滤材料,以提高过滤网的使用寿命和性能;可以探索更高效的加工方法和工艺流程,以降低生产成本和周期;还可以开展更多的定制化设计和生产服务,以满足客户对过滤网产品的个性化需求。

相信在不久的将来,该系统将在更广泛的领域得到应用和推广。它不仅可以为环保设备、化工过滤等领域提供高质量的过滤网产品,还可以为其他需要高精度、高效率加工的领域提供有力的技术支持和保障。