

文章编号: 0258-7025(2007)01-0135-04

光纤激光精密切割系统的研制及其应用

廖健宏¹, 蒙红云¹, 王红卫², 官邦贵¹, 周永恒¹, 张庆茂¹, 何 炜²

(¹ 华南师范大学光子信息技术实验室, 广东 广州 510631; ² 广州瑞通千里激光设备有限公司, 广东 广州 510380)

摘要 采用光纤激光器作为光源, 配合自行设计的光学系统和控制系统, 研制开发了光纤激光精密切割系统。该系统具有精度高、速度快、性能稳定等优点。并初步探讨了该系统在电子行业的一些应用, 研究了手机面板和线路网板的切割工艺。通过优化输出功率、脉冲频率、脉冲宽度和辅助气压等参数, 切割的手机面板和线路网板具有线条平滑、均匀、不挂渣等特点。

关键词 激光器; 光纤激光器; 激光加工; 激光切割; 精密切割

中图分类号 V 261.8 **文献标识码** A

Investigation and Applications of Fiber Laser Precision Cutting System

LIAO Jian-hong¹, MENG Hong-yun¹, WANG Hong-wei², GUAN Bang-gui¹,
ZHOU Yong-heng¹, ZHANG Qing-mao¹, HE Wei²

(¹Laboratory of Photon Information Technology, South China Normal University, Guangzhou, Guangdong 510631, China)
²Guangzhou Ruitong Kilometer Laser Equipment Co., Ltd, Guangzhou, Guangdong 510380, China)

Abstract A fiber laser precision cutting system was designed with allodial optics system and control software. The cutting system has many advantages such as high precision, high cutting speed, good stabilization and so on. With this system, the cutting experiments of stainless steel mobile telephone panel and leaking stannum board have been carried. The results indicate that there are many good characteristics, such as smoothness, uniformity, without residue and so on, through optimizing output power, frequency, pulse width, and assistant air pressure.

Key words lasers; fiber laser; laser processing; laser cutting; precision cutting

1 引言

激光加工具有非接触、无工具磨损、速度快、精度高、自动化、无环境污染、加工范围广等优点。目前, 激光加工作为先进制造技术已广泛应用于汽车、电子、电器、航空、冶金、机械制造、军事等行业^[1], 对经济发展起着愈来愈重要的作用。随着激光加工技术及其应用的发展, 近年来激光微加工发展迅速, 特别是在电子、医疗器械等行业激光微加工有非常广泛的应用和前景; 同时这些行业也对激光加工精度提出了更高的要求, 普通的 CO₂ 和 YAG 激光器光束质量相对较差, 聚焦光斑大, 难以满足精密加工的要求。

光纤激光器——作为第四代激光器的代表, 近年得到了非常迅速的发展^[2~7]。输出功率从几年前

的几十毫瓦, 发展到现在的几十瓦、几千瓦甚至几万瓦。应用范围也越来越广泛, 市场需求逐年增加, 增长速度迅速。与传统的激光加工光源 CO₂ 激光器和 YAG 激光器相比, 光纤激光器具有光束质量好 (1 kW 以内 M^2 接近于 1, 准单模高达 2 kW^[8])、效率高、性能稳定、寿命长、体积小、运行费用低等显著优点。把光纤激光器应用到激光加工设备中, 具有众多的优点: 可以获得更小的聚焦光斑, 提高加工精度; 光纤传导激光, 容易实现在线加工和复杂加工; 减小加工设备的重量和体积, 场地面积要求小; 提高加工效率和质量, 降低运行成本。因此, 光纤激光器在激光加工成套设备领域中, 有非常好的应用前景和经济价值。本文采用输出功率为 50 W 的光纤激光器作为光源, 配合自行设计的光学系统、控制系统

收稿日期: 2006-04-22; 收到修改稿日期: 2006-07-19

基金项目: 广东省科技计划 (2004B10201002) 和广州市科技计划 (2005Z3-D0241) 资助项目。

作者简介: 廖健宏 (1965—), 男, 副研究员, 主要从事激光技术的应用及工业激光设备的开发。E-mail: liaojh@scnu.edu.cn

以及切割软件,研制开发了一套光纤激光精密切割系统,并初步探讨了该系统在电子行业的应用。

2 原理与组成

2.1 激光切割原理

聚焦后的高强度激光束照射在被切割工件的表面,光能转换为热能。在极短的时间内,光斑照射区的温度迅速升高到工件材料的熔点甚至沸点,这样激光照射的工件材料被熔化和气化,在辅助气体的作用下,熔融物被吹除,形成小孔。随激光束与工件的相对移动,激光与工件材料不断相互作用,熔融物的不断被吹除,便在工件表面形成切缝^[9],如图1所示。

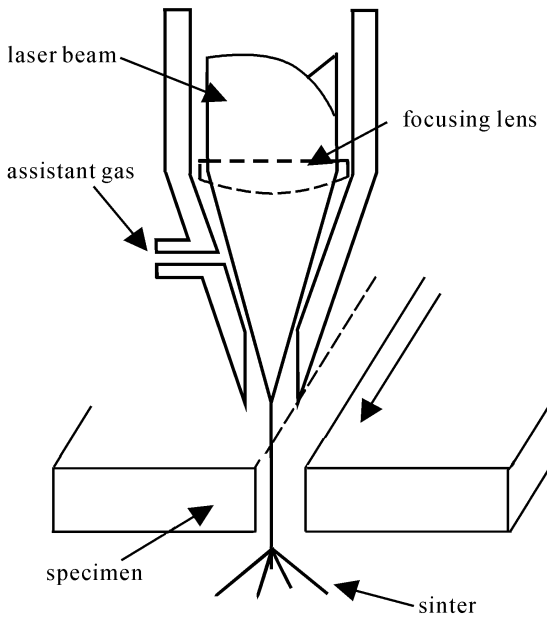


图1 激光切割原理示意图

Fig. 1 Schematic of laser cutting principle

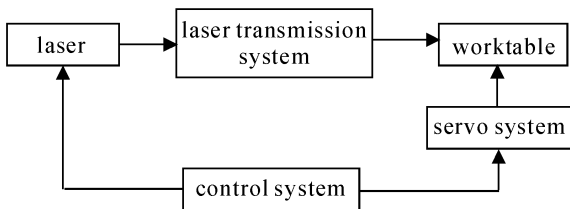


图2 光纤激光精密切割系统结构框图

Fig. 2 Structure of fiber laser precision cutting system

2.2 系统组成

光纤激光精密切割系统主要由工控机(工业控制计算机)、光纤激光器、工作台、伺服系统、导光系统等几部分组成,如图2所示。其工作原理是通过工控机对激光器、伺服机构和移动平台的控制,使工件精确移动,激光器周期性发出的脉冲激光经过聚

焦系统对运动着的工件进行快速、非接触式切割。

2.2.1 光纤激光器

加工系统选用IPG公司50W连续输出光纤激光器为光源,其主要性能参数如表1所示。

表1 光纤激光器主要性能参数

Table 1 Typical parameters of fiber laser

Power / W	50
Wavelength / nm	1074
Power stability / %	±2
Beam emanative angle / mrad	0.3
Beam quality (M^2)	1.05

一般激光切割要利用高峰值功率,而所采用的光纤激光器是连续输出模式,峰值功率不高,经过调制后,激光器重复频率最大为3000 Hz,脉宽在0.1~1.0 ms之间可调,峰值功率大大提高。

2.2.2 导光系统

1) 聚焦透镜

聚焦的作用有两点:一是提高光束在工件表面的能量密度,在瞬间有效地利用激光的高能量密度对工件进行加工;二是压缩光斑尺寸,提高加工精度。

聚焦透镜一般采用短焦距透镜($R \gg f$),则入射光束经过透镜变换后,可求得 $S' \approx f$,即出射光束的束腰大约处在透镜的焦点上,且焦点上的光斑尺寸为^[10]

$$\omega'_0 = \frac{\lambda f}{\pi \omega_0}, \tag{1}$$

从(1)式可以看出,减小透镜焦距 f 有利于缩小光斑直径,但是 f 减小,焦深缩短,对于切割较厚工件,就不利于获得上部 and 下部等宽的切口,影响切缝质量;同时, f 减小,透镜与工件的间距也缩小,切割时熔渣会飞溅黏附在透镜表面,影响切割的正常进行和透镜的使用寿命。该切割系统采用焦距为30 mm的复合聚焦透镜,通过实验,测得聚焦光斑为12 μm 。

2) 隔离器

激光聚焦到工件表面,不同材料会出现不同程度的反射,这些反射光(回程光)会沿原光路返回激光器。当回程光达到一定强度时,会造成激光器无法稳定工作,甚至损坏激光器。特别地,该切割系统主要应用于金属材料的加工,反射非常强。为了避免反射的不利影响,必须对回程光进行抑制,以确保系统的安全和加工的正常进行。因此在光束聚焦之前,增加了一个光隔离器,以阻挡回程光。

光隔离器是一种正向传输方向有较低插入损耗,而对反向传输光有很大衰减作用的光无源器件,是一种非互易性器件,如图3所示,图中→表示激光传播方向,↔表示激光偏振方向。

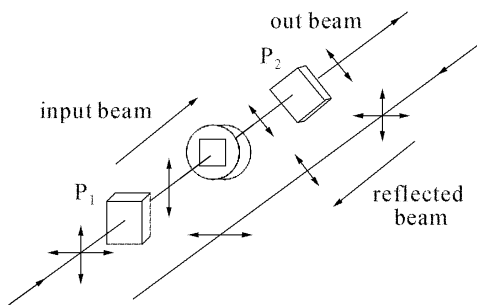


图3 光隔离器结构示意图

Fig. 3 Structure of the beam isolator

整个光隔离器中包括两个偏振器和一个法拉第旋转器。偏振器分别置于法拉第旋转器的前后两边,其透光方向彼此呈 45° 关系。当入射平行光经过第一个偏振器 P_1 时,变成线偏振光,然后经过法拉第旋转器,其偏振面被旋转 45° ,刚好与第二个偏振器 P_2 的偏振方向一致,于是激光进入光路中。反过来,光路引起的反射光首先进入第二个偏振器 P_2 ,变成与第一个偏振器 P_1 偏振方向呈 45° 夹角的线偏振光,再经过法拉第旋转器时,由于法拉第旋转器效应的非互易性,被法拉第旋转器旋转 45° ,其偏振夹角变成了 90° ,即与起偏器 P_1 的偏振方向正交,而不能通过起偏器 P_1 ,起到了反向隔离的作用。根据上述原理设计制作了高功率光隔离器,隔离效果良好,但是平均输出功率减小到 24.5 W ,损耗主要是由其结构引起的。

2.2.3 控制系统

控制系统由计算机、激光器控制卡、伺服控制卡和相应的控制软件组成,它是本切割系统的一个重要单元,其作用主要是对激光器、工作台、辅助气体等各个部分单元进行控制,保证整个切割机能够协调一致地运转。原理框图如图4所示。

其工作原理为,控制指令通过控制软件输入计

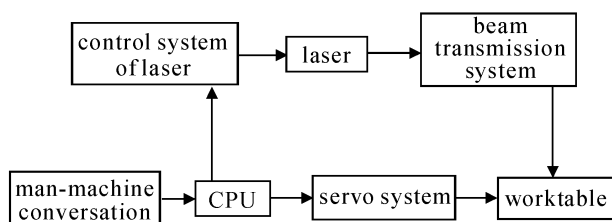


图4 控制系统结构框图

Fig. 4 Structure of the control system

算机,计算机将接收到的控制指令经过运算,产生两路控制信号:一路送给伺服控制卡,并通过伺服控制卡控制激光器的工作状态,包括激光器的启动与停止、输出功率大小、输出频率大小、辅助气体的开启等;第二路伺服系统,控制工作台在 x 和 y 轴方向的移动、移动速度等。通过调节激光器的输出功率、脉冲频率和平台移动速度,就可以保证切割质量。

2.2.4 整机性能

把激光器、导光系统、控制系统、工控机和工作台集成整机,装备成光纤激光精密切割系统,整体性能指标如表2所示。

表2 整体性能指标

Table 2 Typical parameters of the cutting system

Maximum cutting area /mm	200×200
Maximum cutting thickness /mm	2
Minimum cutting slot / μm	15
Cutting precision /($\mu\text{m}/\text{mm}$)	8/30
Maximum cutting speed /(mm/s)	40

从表2可以看出,该系统与以 CO_2 激光器和YAG激光器为光源的切割系统相比,最小切缝宽度、切割精度和切割速度都得到大大提高,可以应用于光电子行业、机械行业、医疗行业等领域的金属切割,特别是在精密切割方面有更大的优势。

3 应用实例

3.1 手机按键面板的切割

目前,诺基亚、西门子、摩托罗拉等众多手机厂商都在市场上相继推出了不锈钢按键面板的手机,其具有按键亮度高、清晰等优点,深受用户喜爱。采用光纤激光精密切割系统,在 0.2 mm 厚不锈钢板上进行了手机面板的切割。实验发现,切缝宽度随加工速度的增大而减小;随脉冲宽度和重复频率的增大而增大。这时由于激光切割是利用激光的高能量密度使材料在瞬间熔化和气化而去除材料。在脉冲宽度和重复频率一定时,改变加工速度,意味着改变激光的能量密度。加工速度越快,辐射面的激光能量密度越小,反之激光能量密度越大。当加工速度增大到一定值的时候,辐射面的激光能量密度不足以使材料完全熔化或者气化,所以不能完全切割材料;而当速度减小到某一范围时,激光能量密度足够大,可以使被照射材料完全熔化或气化,在辅助气体的作用下去除材料,形成光滑均匀的切缝;当速度继

续下降时,激光能量密度太大,使得切缝周围的材料也被熔化或气化,导致熔渣多,切缝粗糙,切割质量下降。因此,在脉冲宽度和重复频率一定时,存在最佳的切割速度。同理,也存在最佳的脉冲宽度和重复频率。通过多次实验,采用参数:激光器输出功率 20 W;激光频率 2000 Hz;脉冲宽度 0.3ms;辅助气体氧压 0.2 MPa。切割的手机面板曲线平滑、切面没有毛刺、不挂渣等优点,而且切割速度快,完全符合应用要求,如图 5 所示。

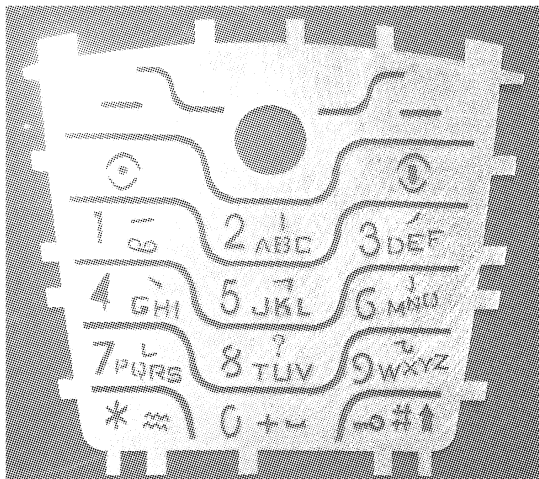


图 5 手机按键面板的切割

Fig. 5 Cutting of mobile telephone panel

3.2 漏锡板的切割

随着电子产业的发展,布线精度要求越来越高,线路板上各个零件的焊接要求也越来越高。线路网板(俗称漏锡板)以前一般采用腐蚀的方法,但是这种方法精度不高,且缝呈锯齿状,不能满足精密电路的要求。激光切割具有精度高,速度快的优点,目前很多高精度线路网板都利用激光切割的方法来制作的,市场前景好。利用光纤激光精密切割系统,通过不同参数实验,在 0.2 mm 厚不锈钢板上切割了如图 6 所示的网板,其中最小缝宽度为 80 μm 。具有切缝光滑、均匀、不挂渣等优点,完全符合应用要求。

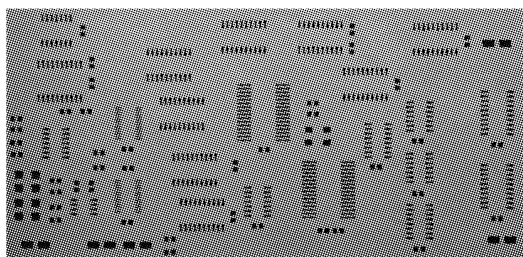


图 6 线路网板的切割

Fig. 6 Cutting of circuit board

4 结 论

采用光纤激光器作为光源,配合自行设计的光学系统和控制系统,研制开发了光纤激光精密切割系统。该系统具有精度高、速度快、性能稳定等优点,在电子、机械、医疗器械等行业的精密加工中有广泛应用,市场潜力大。

参 考 文 献

- Chen Miaohai. Development prospect and present situation on laser processing industry in China [J]. *Laser & Infrared*, 2004, **34**(1):73~77
陈苗海. 中国激光加工产业现状和发展前景[J]. *激光与红外*, 2004, **34**(1):73~77
- Liu Songhao. New development of fiber laser [J]. *Optoelectronic Technology & Information*, 2003, **16**(1):1~8
刘颂豪. 光纤激光器的新进展[J]. *光电子技术与信息*, 2003, **16**(1):1~8
- Lou Qihong, Zhu Jianqiang, Zhou Jun *et al.*. Double cladding fiber laser and it's application in military [J]. *Journal of the Academy of Equipment Command & Technology*, 2003, **14**(5):28~32
楼祺洪,朱健强,周军等. 双包层光纤激光器及其在军事中的应用[J]. *装备指挥技术学院学报*, 2003, **14**(5):28~32
- Ji Hanshan. High power fiber laser and it's application prospect in military [J]. *Land-Based Air Defence Weapons*, 2005, (3):29~32
姬寒珊. 高功率光纤激光器及其在激光武器中的应用前景分析[J]. *地面防空武器*, 2005, (3):29~32
- Fang Fang. Fiber laser and it's application in the medicine [J]. *OME Information*, 2006, (2):36~39
芳芳. 光纤激光器在医疗应用领域寻求商机[J]. *光机电信息*, 2006, (2):36~39
- Xi Congling, Qiao Xueguang, Jia Zhen'an. The study and application propect of the fiber laser [J]. *Optical Communication Technology*, 2006, (1):52~54
习聪玲,乔学光,贾振安. 光纤激光器的研究与发展前景[J]. *光通信技术*, 2006, (1):52~54
- Liu Qiang, Yang Shiping, Lei Jing. Cladding pumped fiber laser and it's application r [J]. *Optical Communication Technology*, 2005, (6):54~56
刘强,杨仕平,雷菁. 包层泵浦光纤激光器及其应用[J]. *光通信技术*, 2005, (6):54~56
- Fu Ensheng. The 2 kW quasi single mode fiber laser [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2006, **43**(1):75
傅恩生. 准单模光纤激光器高质量光束输出近 2 kW[J]. *激光与光电子学进展*, 2006, **43**(1):75
- Zheng Qiguang. *Laser Advanced Fabrication Technology* [M]. Wuhan: Publishing House of Huazhong University of Science and Technology, 2002
郑启光 编著. *激光先进制造技术* [M]. 武汉:华中科技大学出版社, 2002
- Zou Yinghua, Sun Juheng. *Laser Physics* [M]. Beijing: Publishing House of Peking University, 1991
邹英华,孙駒亨 编著. *激光物理学* [M]. 北京:北京大学出版社, 1991