

文章编号: 1001-3806(2009)02-0145-02

激光切割系统功率实时控制研究

贾信庭, 贺昌玉, 王又青*

(华中科技大学 光电子科学与工程学院, 武汉 430074)

摘要: 激光功率对切割质量具有重要的影响, 功率过大容易产生过烧现象。为了保证切割质量, 研究了激光功率与切割速度的关系, 基于可编程多轴运动控制器提出了激光功率实时控制的方法, 使用开放性编写应用程序进行串口通信调整功率的方式实现激光功率的实时控制。采用这种方法进行激光切割试验, 当激光功率能够随切割速度实时变化时, 可以避免烧角现象。结果表明, 此方法可以有效地提高切割质量, 并且保证了激光切割的效率。

关键词: 激光技术; 激光切割; 功率控制; 切割质量

中图分类号: TG485 **文献标识码:** A

Study on real-time power control of laser cutting systems

JIA Xin-ting, HE Chang-yu, WANG You-qing

(College of Optoelectronic Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Laser power has important influence on the cutting quality, and the burning defect is easy to happen if the laser power is too high. In order to guarantee the cutting quality, a real-time power control method based on programmable multiple axes controller was presented to study the relationship between laser power and cutting speed. The analysis of laser cutting test shows that burning defect can be avoided when laser power can change with the cutting speed, the cutting quality can be improved effectively by this method, and efficiency of laser cutting is guaranteed.

Key words: laser technique; laser cutting; power control; cutting quality

引言

在激光切割中, 激光功率对切割质量有显著的影响。对于不同的切割厚度、切割速度和切割材料, 存在相应良好切割激光功率的上限和下限临界值。当激光功率高于上限临界值会发生过烧现象, 而低于下限临界值则会发生粘渣现象^[1-3]。特别是在工件尖角部位进行切割时, 由于切割方向发生突变, 切割速度将发生先减速再加速的过程。如果该过程激光功率保持不变, 尖角部位由于受热不均匀会出现烧角的现象。因此, 要求在激光切割的过程中能够根据材料的不同、切割速度的不同实时改变激光功率。作者提出了一种基于可编程多轴运动控制器实时控制激光功率的方法, 从而有效地提高了切割质量。

1 激光切割系统设计

本文中的激光切割系统采用可编程多轴运动控制器 (programmable multiple axes controller, PMAC) 作为

核心, 通过 PMAC 对激光器和数控机床实时控制, 其原理如图 1 所示。

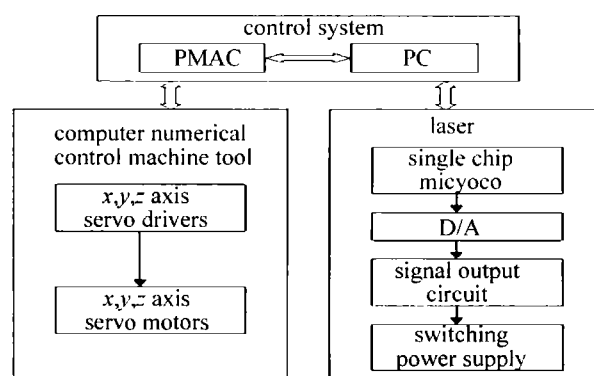


Fig. 1 Schematic diagram of laser cutting system

PMAC 是一种拥有高性能的运动控制器^[4-6], 可以同时控制 8 个轴相互独立运动。它采用 Motorola 的 DSP56001 作为 CPU, 具有强大的数字信号处理功能, 运算速度是当前开放式数控系统中最快的, 适用于大量复杂的加工程序编写与处理。PMAC 可以被看作是一台实时的、多任务的计算机, 它通过存储在内部的程序进行独立的操作和运算, 而且能够进行实时的多任务处理, 减轻主机和编辑器的负担, 提高整个控制系统的运行速度和控制精度。高功率 CO₂ 激光器的功率大小取决于谐振腔内的放电激励电流, 可以通过调制

作者简介: 贾信庭 (1983-), 男, 博士研究生, 现主要从事激光加工以及高功率激光器关键技术的研究。

* 通讯联系人。E-mail: YQWang13@163.com

收稿日期: 2008-02-26; 收到修改稿日期: 2008-05-05

开关电源实现激光功率的控制。PC 机将设置的功率值经串口通信 RS-232 方式传输至 PMAC, PMAC 将得到的功率值输入到单片机上,再经过 D/A 转换、脉宽调制半桥式逆变电路和整流电路输出一个连续的模拟电压,这个电压信号用于调制放电管中激励电流的大小,从而实现激光功率的控制。

2 激光功率实时控制

对尖角部位进行切割时,为了获得良好的切割质量,激光功率需要随切割速度的变化而改变。假设从激光器输出的光束和光学传送系统中因透镜和反射镜等吸收热量所造成的能量损失忽略不计,激光功率与切割速度关系表达式如下^[7]:

$$P = Evd \quad (1)$$

式中, P 为激光功率, E 为激光能量密度, v 为切割速度, d 为激光束聚焦后光斑的直径。由此可得,激光功率与切割速度具有线性关系。切割速度也是影响切割质量的重要因素之一^[8-9],如果切割速度过慢,因氧化反应热在切口前沿的作用时间延长,切口宽度增大;切割速度过快,切割面粗糙度增大。因此,存在良好切割速度的最大值 $v_{\max}$ 和最小值 $v_{\min}$ 。PMAC 支持 S 型曲线加减速的直线插补和圆弧插补,其加速和减速过程的示意图如图 2 所示,从低速到高速所需的加速时间

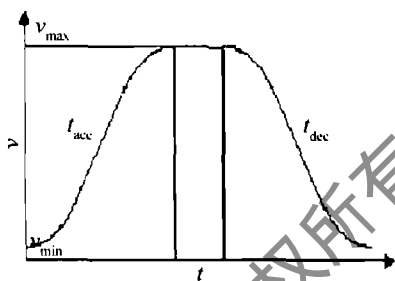


Fig. 2 Schematic diagram of S-curve acceleration and deceleration

为 t_{acc} ,再从高速到低速所需的减速时间为 t_{dec} 。PMAC 中 S 型曲线加减速具有对称结构,因此加速时间 t_{acc} 与减速时间 t_{dec} 保持一致。当加速速率给定时,可以通过设置 PMAC 中 S 型曲线加速时间的变量改变加速时间 t_{acc} 和减速时间 t_{dec} ,从而得到良好切割速度的最大值 $v_{\max}$ 和最小值 $v_{\min}$ 。

定义良好切割激光功率的上限临界值 P_{up} 和下限临界值 P_{down} 。在激光切割过程中,为了保证良好切割质量,激光功率与切割速度具有线性关系^[10],因此可以得到如下表达式:

$$P = [(P_{\text{up}} - P_{\text{down}}) / (v_{\max} - v_{\min})] (v - v_{\max}) + P_{\text{up}} \quad (2)$$

根据(2)式,当切割方向发生突变,特别是在遇到尖角部位时,切割速度必然会减小,同时激光功率也随之变小。此时的切割速度大于或等于良好切割速度的最小值 $v_{\min}$,而此时的激光功率也大于或等于良好切割激

光功率的下限临界值 P_{down} 。实验结果表明,采用(2)式中激光功率与切割速度的随动关系进行激光切割,可以避免过烧现象和粘渣现象。

3 激光切割试验

激光切割试验中使用 1 台 3.5kW 高功率轴快流激光器,其输出模式为 $\text{TEM}_{00} + \text{TEM}_{01}$,切割过程采用氧气作为辅助气体,氧气压力 0.6MPa,激光功率控制在 200W ~ 300W 范围内,切割速度在 10mm/s ~ 60mm/s 的条件下切割 2mm 厚低碳钢板。根据上述激光功率与切割速度的关系表达式,图 3 是激光切割尖角时的对比图。图 3a 没有采用激光功率随切割速度

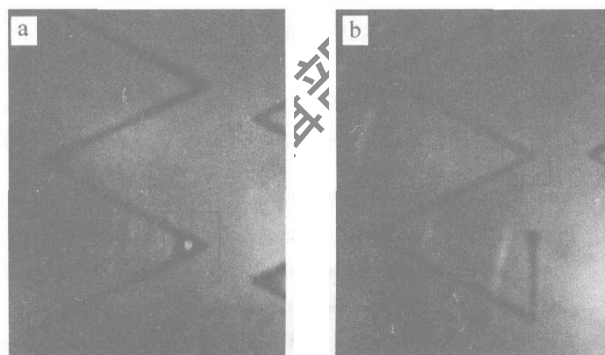


Fig. 3 Comparison of sharp angle by laser cutting

a—burning defect b—free defect

实时变化,切缝明显有烧角的现象,图 3b 使用激光功率实时控制方式进行切割,避免了过烧。

采用激光功率实时控制方式对工件进行完整的切割如图 4a 所示。对图 4a 中区域 1 和区域 2 的尖角部

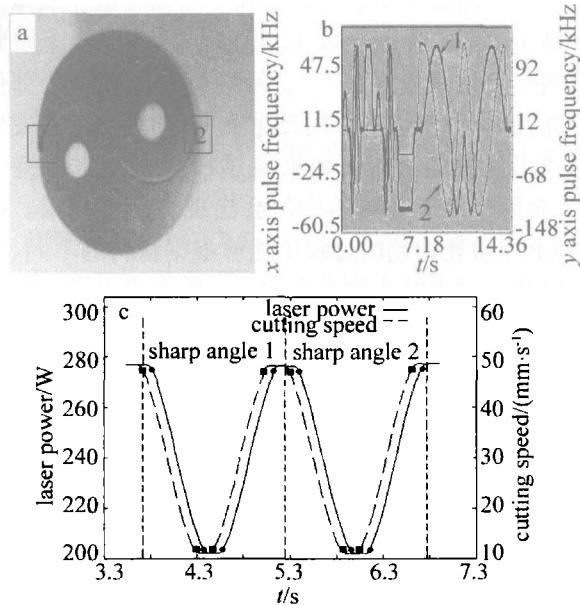


Fig. 4 a—photo of cut workpiece by using method of real-time power control b—pulse signal of cutting speed by using method of real-time power control c—relationship between cutting speed and laser power by using method of real-time power control

(下转第 150 页)

5 结论

提出基于激光加热的微塑性成形方法,即以激光束通过外光路系统对微小工件表面进行加热,利用激光的热作用降低材料的变形抗力,提高其成形性能。首先通过激光加热铝合金实验对加热表面的温度场进行了分析研究,验证了激光加热方法的可行性。然后通过有限元软件 ABAQUS 建立了基于激光加热的微塑性成形模型,模拟得出温度场分布,研究了微型工件激光加热后温度场分布状况。结果显示加热初始状态下热量以卵圆状向周围扩散,通过热流量的形式流向邻近区域。整个工件的温度梯度较小,热量主要集中在加热区域,而加热区域附近的温度梯度很大。加热完成后的温度场梯度明显最大,随着与加热区域距离的增加,热量流动也逐渐趋于水平状。另外通过拟合给出了温度分布与加热时间以及加热距离的关系,验证了激光加热在微塑性成形中的可行性。

通过对常温下和激光加热后微锻粗成形的模拟比较,得到了冷热两种不同成形工艺中的应力分布,结果显示采用激光加热的微塑性成形明显减少成形力。激光技术和微塑性成形技术的结合是一种崭新的设计方法,为微塑性成形设备的研制和生产提供了新的途径。

(上接第 146 页)

位进行切割时,切割速度的脉冲信号变化(脉冲数/秒)如图 4b 所示,其中曲线 1 表示 x 轴的脉冲频率采集,曲线 2 表示 y 轴的脉冲频率采集。切割速度与脉冲频率具有如下关系表达式:

$$v = \left(\frac{f}{n} \right) L \quad (3)$$

式中, v 为切割速度, f 为脉冲频率, n 为电机旋转 1 周所需的脉冲数, L 为丝杠螺距。图 4c 为切割两个尖角时激光功率变化图,由于激光功率和切割速度具有线性关系,因此在区域 1 和区域 2 中激光功率有最小值,随着切割速度增大激光功率逐渐变大。激光器功率变化的响应时间为 0.1s,因此,切割速度的曲线与激光功率的曲线存在时间差。

4 小结

提出了一种激光功率随切割速度变化的方法,并且采用 PMAC 的开放性编写应用程序进行串口通信调整功率的方式实现激光功率的实时控制。通过激光切割试验,证明了这种方法是可行的,有效地提高了激光切割质量,并且保证了激光切割的效率。

参考文献

- [1] LI J T, DONG X H, HUANG J H. Progress in microforming [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2004, 11(4): 1-8 (in Chinese).
- [2] WANG Y, ZHOU J Zh, DAI Y Ch, et al. Application of micro forming technology in plastic processing [J]. Forging & Stamping Technology, 2004, 30(6): 81-86 (in Chinese).
- [3] MAGEE J, WATKINS K G, STEEN W M. Advances in laser forming [J]. Journal of Laser Applications, 1988, 10(6): 235-246.
- [4] KRATKY A, LIEDL G, BIELAK R. Laser assisted deep drawing [J]. Laser Assisted Machining, 2004(4): 1125-1134.
- [5] LIU W K, CAO J, LU H Sh, et al. A multi-scale simulation of micro-forming process with RKEM [J]. Materials Processing and Design: Modeling, Simulation and Application, 2004, 712(34): 103-108.
- [6] XU G L, WANG X M. Engineering heat transfer [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2005: 236-237 (in Chinese).
- [7] LKEUCHIK M F, LIAO J. Weld HAZ toughness and its improvement of low alloy steel SQV-2A for pressure vessels [J]. Transactions of Joining and Welding Research Institute, 1993, 22(2): 215-221.
- [8] TIAN D, KARJALAINEN L P, NETAL Q B. Cleavage fracture model for granular bainite in simulated coarse-grained heat-affected zones of high-strength low-alloyed steels [J]. JSME International Journal Series, 1997, 40(2): 179-188.
- [9] LIU Sh H, JI Q J, YANG J. Numerical simulation on laser bending of steel tubes [J]. Laser Technology, 2006, 30(4): 355-359 (in Chinese).
- [10] WANG Y, TAN J G, YANG L J. The experimental study on laser bending of sheet metals [J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2003, 14(4): 415-418 (in Chinese).

参考文献

- [1] ZHANG Y Q, WU Y H, CHEN W Zh, et al. Study on relationship between radiation and quality for laser cutting [J]. Laser Technology, 2007, 31(4): 397-399 (in Chinese).
- [2] INGO D, HOLGER H, DIR K M. Process monitoring in laser beam cutting on its way to industrial application [J]. SPIE, 1997, 3097: 29-37.
- [3] JORGENSEN H, OISEN F O. Process monitoring during CO₂ laser cutting [J]. Proc SPIE, 1991, 1412: 198-208.
- [4] Delta Tau Data System Inc. PMAC user manual [DB/CD]. Chatsworth, CA: Delta Tau Company, 2004: 280.
- [5] Delta Tau Data System Inc. PMAC software reference manual [DB/CD]. Chatsworth, CA: Delta Tau Company, 2004: 479.
- [6] HUA X H, WANG X Ch, ZHANG Q. The research of the CNC system of the plane milling machine [J]. Proceedings of the 6th World Congress on Intelligent Control and Automation, 2006, 2: 7978-7982 (in Chinese).
- [7] LI Y J. Cutting technology and applications [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004: 277 (in Chinese).
- [8] CAPRINO G. Maximum cutting speed in laser cutting of fibre reinforced plastics [J]. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 1988, 28(4): 389-398.
- [9] HONG L, MI Ch L, LIU D J. Special steel sheet controlled by rotating gas flow [J]. Chinese Journal of Lasers, 2007, 34(4): 543-547 (in Chinese).
- [10] CHEN J M, XIAO R Sh, ZUO T Ch. The self-adapt research on laser cutting [J]. Applied Laser, 2002, 22(3): 317-319 (in Chinese).