

文章编号: 0258-7025(2010)10-2638-04

# 激光功率的微观波动对加工质量的影响

钟如涛<sup>1</sup> 秦应雄<sup>2</sup> 唐霞辉<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> 武汉钢铁(集团)公司研究院, 湖北 武汉 430080; <sup>2</sup> 华中科技大学光电子科学与工程学院, 湖北 武汉 430074)

**摘要** 利用高功率横流 CO<sub>2</sub> 激光器,研究了高速激光加工条件下,激光功率的微观波动对材料加工质量的影响,分析了加工质量与加工速度的关系,讨论了高速加工条件下激光束质量的评价指标。结果表明,高功率横流 CO<sub>2</sub> 激光器采用直流激励,由于直流激励主、副电源的整流、叠加效应,使电压、电流产生 300 Hz 波动,导致激光功率产生 300 Hz 的波动。低速加工时对加工质量的影响可忽略不计,但当高速加工时,将产生 300 Hz 的深浅、宽窄变化。因此应针对高速、高质量加工的需要,提出“时间光束质量”评价指标。

**关键词** 激光技术;高速激光加工;功率微观波动;加工质量;时间光束质量

**中图分类号** TN249 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL20103710.2638

## Influence of Micro-Fluctuation of Laser Power to Processing Quality

Zhong Rutao<sup>1</sup> Qin Yingxiong<sup>2</sup> Tang Xiahui<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Research and Development Center of Wuhan Iron & Steel (Group) Co., Wuhan, Hubei 430080, China*  
<sup>2</sup> *Opto-Electron Science and Technology School, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, Hubei 430074, China*

**Abstract** Utilizing transverse flow CO<sub>2</sub> laser, the influence of micro-fluctuation of laser power to processing quality is studied under high speed laser processing. The relationship between processing quality and processing velocity is analyzed, and evaluation of laser beam quality is discussed. The result indicates that the fluctuation frequency of voltage/current of high power transverse-flow CO<sub>2</sub> laser is 300 Hz when stimulated by direct current power supply, which resulted in laser power fluctuation of 300 Hz. The influence of the fluctuation to processing quality can be ignored under lower speed processing, but the fluctuation will affect processing quality under high speed processing. Aiming at the processing of high quality and high speed, the evaluation standard of time-beam-quality should be brought up.

**Key words** laser technique; high speed laser processing; laser power micro-fluctuation, processing quality; time-beam-quality

## 1 引言

高功率 CO<sub>2</sub> 激光在切割、焊接、表面熔覆与合金化、表面热处理、新材料制备等方面应用广泛,其激光功率、光束模式和焦点特性等对激光加工质量具有重要影响,因此得到了广泛的研究<sup>[1~5]</sup>。随着激光加工的发展,特别是高速、高质量的激光加工的发展应用,对激光的功率波动和模式稳定性提出了越来越高的要求。

激光器的放电电流和放电电压的波动、光学谐振腔的机械振动、放电气体密度的不均匀性和波动、

增益的波动以及饱和密度的变化都将影响输出光束的动态特性以及模式的稳定性<sup>[6~8]</sup>。左铁钊<sup>[9]</sup>在研究 CO<sub>2</sub> 激光焊接铝合金时,发现由于激光器的输出功率的快速涨落,焊接过程不稳定,焊缝不同截面处的焊接深度起伏变化。G. Rabczuk 等<sup>[6]</sup>研究了横流 CO<sub>2</sub> 激光器的稳定性,认为输出激光的模式和功率快速变化,微观上稳定性较差。本文针对高速激光加工条件下,利用高功率横流 CO<sub>2</sub> 激光器,研究激光功率的微观波动对材料表面加工质量的影响,探讨高速加工条件下的激光束质量。

收稿日期: 2009-12-24; 收到修改稿日期: 2010-03-08

作者简介: 钟如涛(1967—),男,博士,高级工程师,主要从事高功率激光器和激光加工技术等方面的研究。

E-mail: zrt67@sina.com

## 2 实验条件

### 2.1 实验设备

实验采用 5000 W 横流 CO<sub>2</sub> 激光器, 光束直径 20 mm, 光束模式如图 1 所示, 图 1(a) 为采用德国 UFF100 激光模式分析仪器测定的光强分布图, 图 1(b) 为有机玻璃激光烧蚀图, TEM<sub>01</sub> 模, 额定输出功率 3000 W。采用能量式功率计检测激光功率, 采用示波器检测激光器放电电压和电流, 图 2 为激光功率与放电电流、电压的关系。

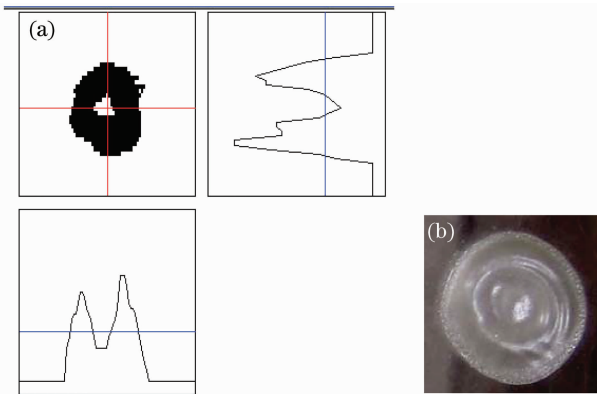


图 1 光束模式

Fig. 1 Laser beam mode

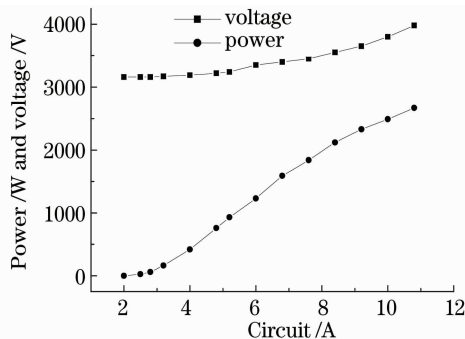


图 2 激光功率与电流、电压的关系

Fig. 2 Relationship of power/voltage and circuit

### 2.2 实验方案

对木地板进行表面高速刻槽, 尺寸为 1.5 mm × 1.5 mm, 透射式聚焦镜的焦距为 125 mm。由于一般直线运动工作台的速度不能达到要求, 所以采用步进电机直接驱动旋转工作台, 通过调整步进电机的旋转速度获得实验所要求的各种线速度, 实验方案如图 3 所示。

## 3 实验结果及分析

图 4 为功率计显示激光功率为 1230 W 时, 改变加工速度  $v$  时的刻槽变化, 其中  $\Delta S$  表示相邻凹槽的距离,  $W_1$  为宽槽宽度,  $W_2$  为窄槽的宽度。可

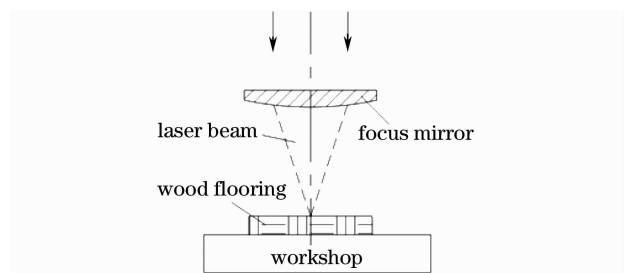


图 3 木地板表面刻槽实验方案

见, 高速时刻槽深浅、宽窄发生周期性变化, 槽口有较大倒角; 低速时刻槽较均匀, 外观平整, 槽口的倒角较小。这说明虽然表面上看激光功率、光束模式没有发生变化, 但实际上却变化很大, 对于这种变化, 当加工速度足够低时, 并不影响加工质量, 但当提高加工速度时, 加工质量逐渐降低。分析图中刻槽的宽、窄变化, 可知刻槽的宽、窄变化频率为 300 Hz。

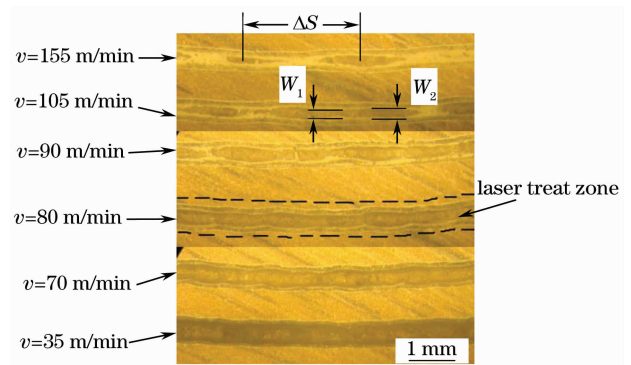


图 4 不同速度时的加工质量

Fig. 4 Processing quality with changing velocity

采用示波器检测此时激光器的放电电压和放电电流, 如图 5 所示, 图中上部、下部分别为瞬时电流、瞬时电压随时间的变化曲线。可知电流有两种波动频率, 分别为 50 Hz 和 300 Hz, 而 50 Hz 的波动被

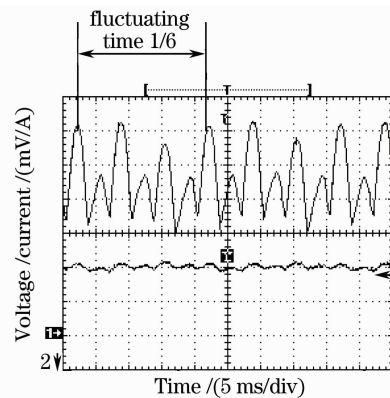


图 5 电流、电压示波器检测曲线

Fig. 5 Changing of voltage/current

包含在 300 Hz 的波动中,且表现不明显,因此刻槽宽、窄变化频率仅能观察到 300 Hz。

分析原因,5000 W 连续/脉冲横流 CO<sub>2</sub> 激光器采用直流激励电源,由主、副两个电源叠加而成,其中主电源通过主变压器、整流将三相交流 380 V 转换成直流 2800 V;副电源通过调整可控硅导通角、副变压器、整流产生可调的直流高压与主电源产生的直流高压串联。图 6 为激励电源原理图,可见主、副电源的输出电压波形以及主、副电源叠加后的电压波形,在每个输入电源周期中,电源整流后的脉动为 6 次,对于 50 Hz 的输入电压,输出电压的脉动频

率为 300 Hz。因此,由于直流激励主、副电源的整流、叠加效应,使电压、电流产生 300 Hz 剧烈波动,将导致输出激光功率的波动。

根据图 2,5,在激光器显示的放电电流为 6 A 时,激光功率显示为 1230 W,此时瞬时电流波动引起的激光功率随时间的变化趋势如图 7 所示,可见,功率波动频率为 300 Hz 时,最高、最低功率分别为 1990 W 和 730 W,波动幅度超过了 50%。显然这种功率波动使刻槽产生深浅、宽窄的变化。设刻槽宽窄尺寸差为  $\Delta W = W_2 - W_1$ ,如图 4 所示。

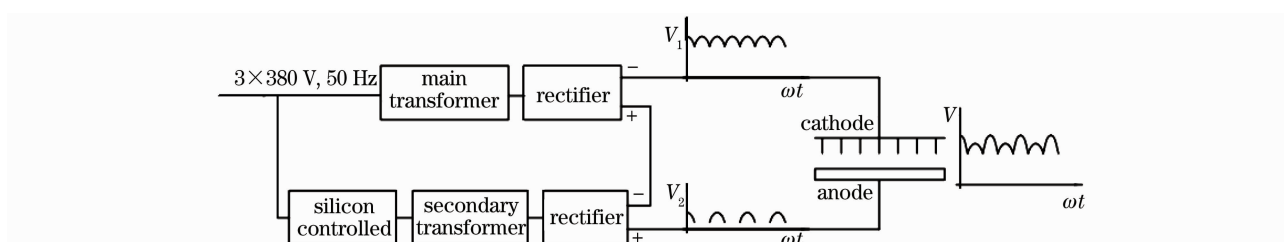


图 6 电源叠加原理

Fig. 6 Power compose principle

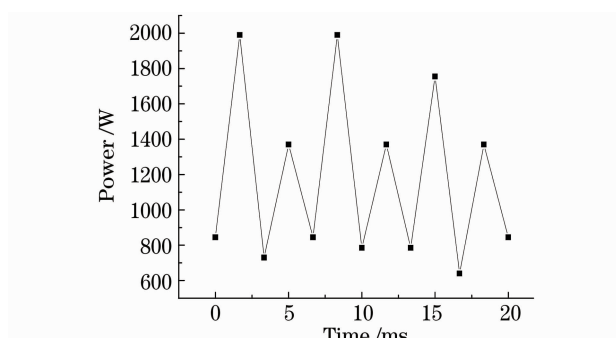


图 7 1 个周期内功率随时间的变化曲线

Fig. 7 Changing of laser power in a circle

图 8,9 分别为扫描速度与刻槽宽窄尺寸差  $\Delta W$  及相邻凹槽间距  $\Delta S$  的关系图,可知扫描速度越高,凹槽间距越大,扫描速度越低,凹槽间距越小。当扫描速度为 35 m/min 时,凹槽间距  $\Delta S = 1.94$  mm,刻槽宽窄尺寸差  $\Delta W$  已经很小,宏观上观察无明显凹槽现象,槽口均匀,外观平整。这是由于当扫描速度较低时,作用于地板上的激光峰值功率的距离较近,热传导效应使凹槽之间的凸起充分熔化;其次宏观上观察分辨率较低,有一定的近似效果。因此可以预见,材料的热传导系数越大,扫描速度可以相应提高。

对于采用直流电源激励的激光器,虽然改进滤波电路设计能够起到降低激光功率波动幅值的效果,但不能从根本上杜绝激光功率 300 Hz 的波动。

采用开关电源或射频电源激励,由于电源频率更高,一般在几千赫兹以上,且波动幅值较小,对于现有加工速度和精度,几乎不构成影响。

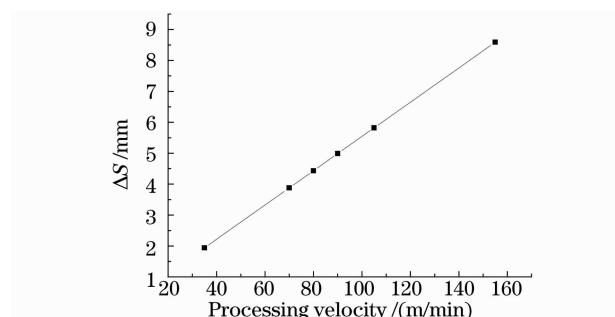


图 8 加工速度与  $\Delta S$  的关系

Fig. 8 Relationship of processing velocity and  $\Delta S$

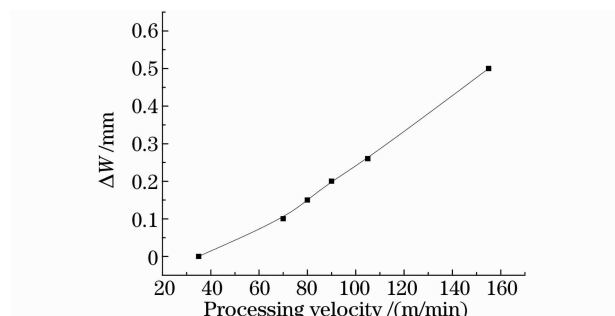


图 9 加工速度与  $\Delta W$  的关系

Fig. 9 Relationship of processing velocity and  $\Delta W$

## 4 讨 论

当前,常用评价激光器质量好坏的指标有激光的稳定性、光束质量因子、模式、发散角等,其中后 3 项主要反映的是空间光束质量。

激光稳定性包括激光功率稳定性、光束指向稳定性等,其中激光功率稳定性指标可反映激光功率随时间的变化。大功率激光器工作时,由于外部影响及激光器内部设计等原因,如放电电流、放电电压的波动、光学谐振腔的机械振动、放电气体密度的变化等一些高频变量,导致激光器的输出功率和光束横截面功率密度分布产生高频波动,使激光焊缝的几何形状和机械性能产生变化,造成不良影响,如图 10 所示<sup>[9]</sup>。



图 10 激光焊缝断面

Fig. 10 Cross-section of laser welding

常规加工时(速度、精度要求不高情况下)这种波动对加工质量的影响可忽略不计。但在高速、高精度加工时,这些高频变量引起的激光功率快速变化将对加工质量有较大影响。目前的激光功率计对于这种功率的快速波动显示为平均功率,无法显示激光功率的波动,当然,对常规加工而言这种检测意义并不是很大。

针对高速、高质量加工的需要,应提出“时间光束质量”评价指标。对功率的稳定性按不同频率范围给出其在 98% 的运动时间内所出现的最大波动<sup>[9]</sup>。

此现象虽然是在横流 CO<sub>2</sub> 激光器实验基础上发现的,但由于放电电流、放电电压的波动、光学谐振腔的机械振动、放电气体密度的不均匀性和波动是普遍存在的现象,因此对于其他类型的激光器应用于高速加工同样有借鉴意义。

## 5 结 论

用高功率横流 CO<sub>2</sub> 激光器,研究了高速激光加工条件下,激光功率的微观波动对材料加工质量的影响。结果表明:

1) 由于直流激励主、副电源的整流、叠加效应,使电压、电流产生 300 Hz 的剧烈波动,导致输出激光功率产生 300 Hz 的波动。

2) 激光功率 300 Hz 的波动不易检测,常规加工时(速度、精度要求不高)这种波动对加工质量的影响可忽略不计,但当高速加工时,将产生 300 Hz 的深浅、宽窄变化。

3) 由于放电电流、放电电压的波动、光学谐振腔的机械振动、放电气体密度的不均匀性和波动是普遍存在的现象,应针对高速、高质量加工的需要,提出“时间光束质量”评价指标。

## 参 考 文 献

- 1 D. Maischner, A. Drenker, B. Seidel. Process control during laser beam welding[C]. ICALOE'91, 1992. 150~155
- 2 E. D. Brandon. Characterization of focusing lenses for CO<sub>2</sub> laser beam welding[J]. *Welding Journal*, 1992, **71**(4): 55~63
- 3 Seiji Katayama, Yousuke Kawahito. Interpretation of laser weld penetration and welding phenomena[J]. *Chinese J. Lasers*, 2009, **36**(12): 3160~3166
- 4 Chen Shuhai, Li Liqun, Chen Yanbin. Laser welding-brazing of Ti/Al dissimilar alloys joint with rectangle spot[J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(12): 2036~2041  
陈树海, 李俐群, 陈彦宾. 矩形光斑钛/铝异种合金激光熔钎焊[J]. *中国激光*, 2008, **35**(12): 2036~2041
- 5 Mei Lifang, Chen Genyu, Liu Xufei *et al.*. Three-dimensional laser cutting technology in auto-body panel [J]. *Chinese J. Lasers*, 2009, **36**(12): 3308~3312  
梅丽芳, 陈根余, 刘旭飞 等. 车身覆盖件的三维激光切割工艺[J]. *中国激光*, 2009, **36**(12): 3308~3312
- 6 G. Rabczuk, S. Labuda, M. Sawczak. Experimental study of the high power CO<sub>2</sub> laser beam stability [C]. *SPIE*, 2000, **4237**: 206~211
- 7 V. S. Golubev, F. V. Lebedev. Stability of the emission from fast-glow industrial CO<sub>2</sub> laser [J]. *Kwantowaja Elektronika*, 1985, **12**(4): 663~670
- 8 J. L. Neira, J. Delgado, G. Calvo *et al.*. Influence of active medium fluctuations on high power laser amplifier performance [C]. *SPIE*, 1990, **1276**: 879~885
- 9 Zuo Tiechuan. *Laser Materials Processing of High Strength Aluminum Alloys*[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2002. 10  
左铁钊. 高强铝合金的激光加工[M]. 北京: 国防工业出版社, 2002. 10