

文章编号: 0258-7025(2009)05-1278-04

激光修整青铜金刚石砂轮精度研究

陈根余^{1,2} 陈国桂² 黄孔² 梅丽芳² 余春荣²

(¹ 湖南大学汽车车身先进设计制造国家重点实验室, 湖南长沙 410082; ² 湖南大学激光研究所, 湖南长沙 410082)

摘要 基于三角测量在线检测闭环控制烧蚀系统, 以声光调 Q YAG 脉冲激光径向辐照方式进行青铜金刚石砂轮修整。根据砂轮表面的漫反射和成像情况, 选取柱面透镜作为接收透镜, 改进设计一套比较完善的接收光路系统, 对此激光烧蚀系统进行了标定。依照标定结果调整电路, 选取合理的激光和工艺参数进行砂轮修整试验。试验结果表明, 经激光修整后砂轮精度有了明显的提高。在此基础上研究了激光-机械复合精密修整技术, 即青铜金刚石砂轮通过激光修整后, 再辅以机械法整形。该方法使修整精度进一步得到提高, 同时使砂轮表面地形地貌得到了改善。

关键词 光学制造; 激光烧蚀; 精度; 修整; 青铜金刚石砂轮; 地形地貌

中图分类号 TG74; TN249 文献标识码 A doi: 10.3788/CJL20093605.1278

Study on the Accuracy for Laser Truing and Dressing of Bronze-Bonded Diamond Wheels

Chen Genyu^{1,2} Chen Guogui² Huang Kong² Mei Lifang² Yu Chunrong²

¹ *The State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body, Hunan University, Changsha, Hunan 410082, China*
² *Laser Research Institute, Hunan University, Changsha, Hunan 410082, China*

Abstract Based on triangulation method, the closed loop of the control system was used to control the output of the laser pulse. Acousto-optic Q-switched Nd:YAG pulsed laser was employed to dress bronze-bonded diamond wheels in orthogonal direction. Diffuse and imaging situation of the wheel surface has been studied. Through comparative analysis, the cylindrical lens was selected, A set of fairly complete receive optical system was improved, and the laser ablation system was calibrated. According to the results of calibration, the circuit was adjusted, reasonable laser and technological parameters was selected to carry on the laser truing and dressing experiment for the wheel. The results show that accuracy was significantly improved. Based on those above, the technique of laser-machinery truing and dressing of bronze-bonded grinding wheel has been studied. Namely, the grinding wheel was trued and dressed by mechanical method after trued and dressed by laser. The accuracy was further improved, and the surface topography was improved too.

Key words optical fabrication; laser ablation; accuracy; truing and dressing; bronze-bonded diamond grinding wheel; surface topography

1 引言

机械法修整金刚石砂轮是一种“硬碰硬”的修整方法, 由于金刚石磨粒比修整工具硬, 通过修整工具很难直接去除金刚石。对于小粒度的砂轮, 通过去除结合剂可使磨粒整颗脱落达到整形目的。而对于较大粒度砂轮, 传统机械修整方法的局限性就很大。激光修整作为一种非接触修整法, 避开力的作用和

硬接触, 基于热的熔化和气化机理, 可同时去除磨粒和结合剂, 是一种很有发展前途的修整技术^[1~6]。它最大的困难在于修整精度的控制, 至今为止, 其他学者均未涉及精度方面的研究。基于三角测量在线检测闭环控制烧蚀系统的修整方法可有效地提高修整精度。其影响因素有内部和外部两方面。内部因素主要包括激光的稳定度、光学系统的成像质量、形

收稿日期: 2008-10-28; 收到修改稿日期: 2009-01-20

基金项目: 国家自然科学基金(50005005)资助课题。

作者简介: 陈根余(1965—), 男, 教授, 主要从事激光加工技术方面的研究。E-mail: hdgychen@163.com

状、光电检测器件固有的光敏面范围、检测误差、检测电路的线性度、反应速度等。外部因素主要是指被测表面光泽和粗糙度以及测量速度的影响等。

2 试验装置及光路系统的改进设计

2.1 基于三角测量的激光烧蚀系统

图 1 为三角测量原理图,图中 PSD 为位敏探测器, x 为砂轮表面位移, d 为 PSD 上像移, S 为物距, S' 为像距, β 为入射光与反射光夹角。在激光三角测量中,由光源发出的一束激光照射在待测物体表面,通过反射最后在检测器上成像。当物体表面的位置发生改变时,其所成的像点在检测器上也发生相应的位移变化,通过像移和实际位移之间的关系式,真实的物体位移可以由对像点的检测和计算得到。

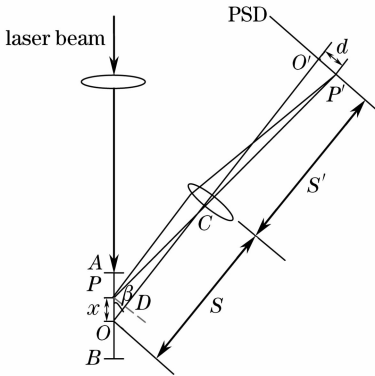


图 1 三角测量原理图

Fig. 1 Principle of triangulation

图 2 为激光修整青铜金刚石砂轮原理示意图。YAG 激光器发出的连续激光用作测量光源,经声光调 Q 之后的脉冲激光用作加工激光,加工和测量光源合二为一。实现了当砂轮待修整表面位置较低时,对应输出高电平,Q 开关关断,无巨脉冲激光输出,不进行烧蚀加工;当待修整表面位置较高时,则

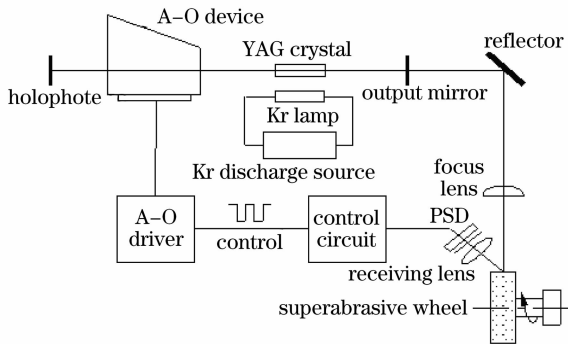


图 2 激光修整青铜金刚石砂轮原理示意图

Fig. 2 Principle of bronze-bonded diamond grinding wheel dressed by laser

对应输出低电平,Q 开关打开,输出巨脉冲激光对砂轮表面进行烧蚀加工^[7]。

2.2 光路系统的改进设计

如图 1 所示,YAG 激光通过聚焦透镜直射到砂轮表面,砂轮表面的反射光通过接收透镜成像于 PSD 上。设计三角测量光路的关键问题在于如何保证散射光良好地成像在 PSD 上。其中影响最大的三个因素为:接收透镜的性能、砂轮表面的漫反射情况、照射到砂轮表面的入射光与反射光之间的夹角取值,即图 1 所示的 β 。

试验先后采用普通球面镜、胶合透镜和柱面透镜。通过测试 PSD 的接收性能发现:普通球面镜成像质量较差,像散、球差、色差问题比较明显。胶合透镜和柱面透镜的成像质量都比普通球面镜好,都能有效地消除球差和色差问题。但胶合透镜的成像形式是点状,而 PSD 的有效光敏面很窄,在脉冲激光强烈烧蚀作用下,像点很容易偏离光敏面。柱面透镜的成像形式是线状,像点不会偏离 PSD 光敏面。所以本试验选择柱面透镜作为接收透镜。

一般情况下,当砂轮表面光泽比较明亮时,会使激光束在产生漫反射的同时发生较强的镜面反射,反射光强常会引起较大的测量误差。试验所用砂轮表面光泽黯淡,有利于 PSD 的正常工作,可以有效地消除漫反射的影响。

β 的选取对成像质量的影响比较大,通过试验分析选取了合理的 β 。经观察发现,当 $\beta < 25^\circ$ 时,容易产生光路干涉现象;当 $\beta > 35^\circ$ 时,PSD 上检测到的信号很弱;当 β 处于 $25^\circ \sim 35^\circ$ 范围内,通过缓慢调节精密角位移台,再观测 PSD 光敏面的成像情况,发现 PSD 在 $\beta = 30^\circ$ 小范围内可接收到光信号,并且成像最为清晰。

3 激光烧蚀系统的标定

为了找到修整砂轮时的临界脉冲点,以便于设置比较电压;同时找到砂轮的圆跳动与输出电压之间的对应关系,以了解其线性度情况,试验进行了激光烧蚀系统的标定。用打表方法测量出试验用砂轮圆跳动范围为: $-18 \sim 22 \mu\text{m}$,即砂轮最大圆跳动误差达到 $40 \mu\text{m}$ 。试验采用千分微位移台进行标定,把砂轮安装在微位移台上,旋转位移台使砂轮径向进给来模拟砂轮表面高低位置的变化,位移台每次进给 $2 \mu\text{m}$,电路输出相应电压值。试验标定曲线如图 3 所示。而砂轮圆跳动与输出电压值之间的理论关系可通过 $X = (L \times U_0) / 20$ 得到,如图 3 直线所示。

式中 L 为 PSD 的有效光敏面长度, 本试验取 3 mm。

从图 3 可以看出, 试验标定曲线线性度较高, 和理论线比较接近。

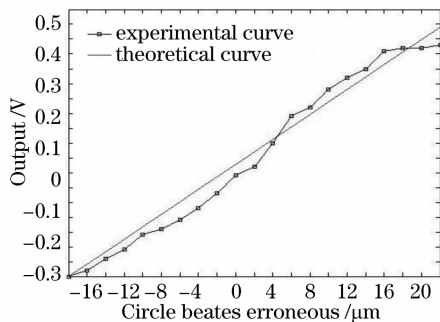


图 3 $X-U_0$ 标定曲线

Fig. 3 $X-U_0$ curve

4 脉冲激光修整

通过观察输出的电压, 找到砂轮的最低点作为基点, 再调整比较电压(即发出脉冲的临界电压值), 然后选取优化激光参数对砂轮进行修整^[8,9]。在激光功率密度 $I = 45 \times 10^7 \text{ W/cm}^2$, 平均功率 $P_m = 55 \text{ W}$, 脉冲重复频率 $f = 1 \text{ kHz}$, 离焦量 $\Delta = 0$ 时, 砂轮最大圆跳动误差从 $40 \mu\text{m}$ 降低到了 $13 \mu\text{m}$ 。图 4 是激光修整后青铜金刚石砂轮表面形貌图。

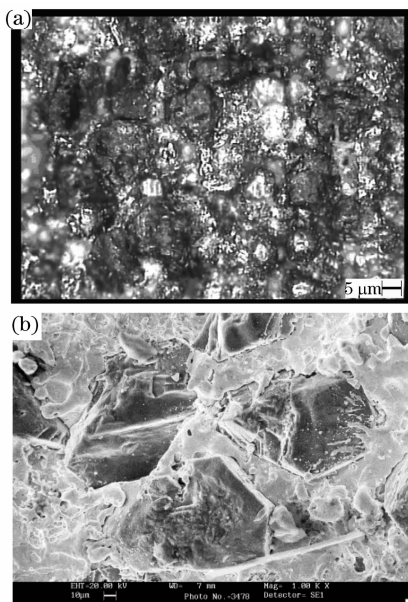


图 4 激光修整后砂轮表面形貌图。(a) 光学显微镜照片;
(b) SEM 照片

Fig. 4 Surface topography of diamond wheel after laser truing and dressing. (a) optical microscope picture;
(b) SEM picture

5 激光-机械复合精密修整

将激光修整后圆跳动误差已经降到 $13 \mu\text{m}$ 的砂轮再辅以机械法整形。把碳化硅滚轮修整器固定在平面磨床矩形磁力吸盘上, 碳化硅滚轮与砂轮相向转动且线速度之比为 $1:10$ ^[10]。试验结果表明, 该方法进一步提高了砂轮的修整精度, 圆跳动误差可控制在 $8 \mu\text{m}$ 内。图 5 为激光-机械复合法修整后从光学显微镜中观察到的形貌图。从图中可以看到个别激光修整后松动磨粒脱落留下的凹坑, 附着在砂轮表面的部分溅出的液相金属形成再结晶的球状物已被去除, 并且地形地貌良好。

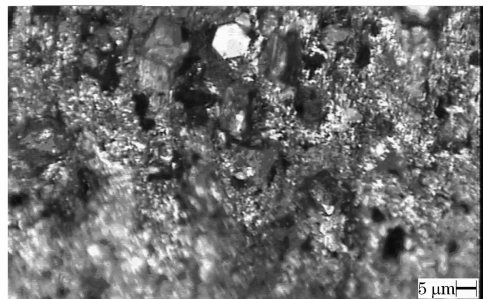


图 5 激光-机械复合修整后砂轮表面形貌图

Fig. 5 Surface topography of diamond wheel after laser-machinery truing and dressing

6 结 论

1) 通过改进三角测量烧蚀系统并对其进行了标定, 得到砂轮圆跳动 X 与输出电压 U_0 之间较理想的线性关系。

2) 当激光参数: $I = 45 \times 10^7 \text{ W/cm}^2$, $P_m = 55 \text{ W}$, $f = 1 \text{ kHz}$, $\Delta = 0 \text{ mm}$ 时, 对 $100/120$ 粒度、圆跳动误差为 $40 \mu\text{m}$ 的砂轮进行修整, 可获得 $13 \mu\text{m}$ 的修整精度和良好的砂轮表面地形地貌。

3) 采用激光-机械复合精密修整技术, 进一步提高了修整精度。

参 考 文 献

- 1 Liu Jinsong, Li Mengqiu. A model and its application of Q-switched laser ablation sublimable materials [J]. *Optics and Precision Engineering*, 1996, 4(4): 75~79
刘劲松, 李孟秋. 调 Q 激光烧蚀具有升华特性物质的模型及应用 [J]. *光学精密工程*, 1996, 4(4): 75~79
- 2 E. Westkämper. Grinding assisted by Nd:YAG lasers [J]. *Annals of the CIRP*, 1995, 44(1): 317~320
- 3 Toshikatsu Nakajima, Kazuhito Ohashi, Daisuke Yagi. Dressing of resinoid bond wheel with moving heat source (3st report)—Improvement of dressing effect with Q-switched YAG laser [J]. *Precision Engineering Institute*, 1997, 63(8): 1153~1157

- 4 Kang Renke, Yuan Jingting, Shi Xngkuan *et al.*. Study on laser dressing of super abrasive grinding wheels[J]. *China Mechanical Engineering*, 2000, **11**(5): 493~496
康仁科, 原京庭, 史兴宽等. 超硬磨料砂轮的激光修整技术研究[J]. *中国机械工程*, 2000, **11**(5): 493~496
- 5 Y. Wu, X. Y. Wang, T. Tachibana *et al.*. Laser truing and dressing of small vitrified CBN grinding wheel[J]. *Key Eng. Mater.*, 2006, **329**: 163~168
- 6 C. Zhang, Y. C. Shin. A novel laser-assisted truing and dressing technique for vitrified CBN wheels[J]. *Int. J. Mach. Tools & Manu.*, 2002, **42**: 825~835
- 7 Chen Genyu, Li Lijun, Ma Honglu *et al.*. Laser truing and dressing of bronze-bonded diamond wheels by a Q-switched YAG pulse laser[J]. *Chinese J. Mechanical Engineering*, 2005, **41**(4): 174~178
陈根余, 李力钧, 马宏路等. 声光调 Q YAG 脉冲激光修锐和整形青铜金刚石砂轮[J]. *机械工程学报*, 2005, **41**(4): 174~178
- 8 Chen Genyu, Mei Lifang, Zhang Bi *et al.*. Numerical simulation study on truing and dressing of bronze-bonded diamond grinding wheel by means of pulsed laser[J]. *Key Eng. Mater.*, 2008, **359**~**360**(1): 166~170
- 9 Chen Genyu, Zhu Dingjun, Peng Kai *et al.*. Ablation mechanism of bronze-bonded diamond wheels dressing by pulsed laser[J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(supple.): 245~249
陈根余, 朱定军, 彭凯等. 脉冲激光修锐青铜金刚石砂轮烧蚀机制研究[J]. *中国激光*, 2007, **34**(增刊): 245~249
- 10 Wang Yan, Hu Dejin, Deng Qilin *et al.*. Analysis of temperature field for laser assisted mechanical dressing and truing of diamond grinding wheel[J]. *Chinese J. Lasers*, 2005, **32**(3): 431~435
王艳, 胡德金, 邓琦林等. 激光辅助机械修整金刚石砂轮的温度场分析[J]. *中国激光*, 2005, **32**(3): 431~435

《中国激光》“激光制造”专题征稿启事

激光制造技术是国家重点支持和推动的一项高新技术,近年来在涉及国家安全、国防建设、高新技术产业化和科技前沿等领域已取得多项重大研究成果。《中国激光》计划于2009年12月正刊(EI核心收录)上推出“激光制造”专题栏目,现特向国内外广大专家学者征集“激光加工”方面原创性的研究论文和综述,旨在集中反映该领域最新的研究成果及研究进展。

征稿范围包括:

- 激光强化与材料制备
- 激光直接制造与微纳加工
- 激光器与激光加工系统
- 激光冲击与强化
- 激光焊接与切割
- 激光烧结与沉积
- 激光新应用与过程模拟
- 其他

特邀组稿专家:

钟敏霖 教授 清华大学机械工程系 E-mail: zhml@tsinghua.edu.cn 010-62772993

截稿日期: 2009年9月30日

投稿方式以及格式:

可直接将稿件电子版发至“激光制造”专题组稿专家、《中国激光》常务编委、清华大学钟敏霖教授邮箱: zhml@tsinghua.edu.cn(主题标明“激光制造专题”投稿),或通过中国光学期刊网网上投稿系统直接上传稿件(主题标明“激光制造专题”投稿),详情请参见 <http://www.opticsjournal.net/zgjj.htm>。本专题投稿文体不限,中英文皆可,其电子版请使用 MS-word 格式,有任何问题请咨询马沂编辑, E-mail: CJL@siom.ac.cn; 电话:021-69918427。