

文章编号: 0258-7025(2007)Supplement-0330-04

一种用于激光烧结陶瓷的大功率 CO₂ 激光均束装置

黄雅峥¹, 季凌飞¹, 谢启明², 蒋毅坚¹

(¹北京工业大学国家产学研激光技术中心, 北京 100022; ²云南省昆明物理所, 云南 昆明 650223)

摘要 理论设计了一种反射型正交双带式积分镜均束装置, 委托加工出实物, 并搭建了实验装置。通过观察, 该装置对实验用大功率 CO₂ 激光器光束达到了一定的均束效果, 但同时均束得到的光斑光强分布出现了分裂现象, 对其产生原因进行了分析。最后用均束后得到的光束对 Ta₂O₅ 陶瓷进行了激光烧结实验, 证明烧结效果得到了改善。

关键词 激光技术; 均束; 大功率激光; 激光烧结陶瓷

中图分类号 TG665 **文献标识码** A

A Set of High Power CO₂ Laser Homogenizing System for Laser Ceramics Sintering

HUANG Ya-zheng¹, JI Ling-fei¹, XIE Qi-ming², JIANG Yi-jian¹

(¹ National Center of Laser Technology, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)
(² Kunming Institute of Physics, Kunming, Yunnan 650223, China)

Abstract A set of laser beam homogenizing system, called crossed double strip integrators has been setup in the light of the thesis. The homogenizing result is achieved using this system for a high power CO₂ laser, while there are also some limitations. The causation is analyzed in this paper. In the end, the laser sintering Ta₂O₅ ceramics experiment is done using the homogenized laser beam, proving sintering techniques is improved.

Key words laser technique; beam homogenizing; high power laser; laser sintering ceramics

1 引 言

诸多研究发现, 利用高能激光束烧结陶瓷可获得其他方法无法达到的物理性能^[1,2]。陶瓷烧结工艺主要是通过温度的控制来实现的。相比金属材料, 陶瓷激光烧结具有高温急冷的快速热处理工艺特征。当一束光强不均匀分布的原始激光束对陶瓷进行辐照时, 陶瓷各区域还没有导热均匀, 激光烧结就已经完成了升温、保温、以及降温的整个工艺过程, 影响了陶瓷改性的一致性。所以对原始激光束的均束研究是激光烧结陶瓷工艺的一项关键技术。

根据实验用大功率 CO₂ 激光器的特点以及陶瓷烧结对光斑尺寸的要求^[3,4], 我们设计了一种激

光均束装置, 称之为反射型正交双带式积分镜均束装置^[5]。采用金刚石切削技术加工出该装置中的两块反射型带式积分镜, 并装配光路系统。通过对可见激光束和 CO₂ 激光束的观察发现, 该装置初步实现了均束效果^[6]; 对均束前后激光烧结得到的陶瓷进行了比较, 证明烧结工艺得到了改善。

2 光路搭建以及均束效果分析

根据这套均束装置的理论设计所搭建的 CO₂ 激光光路架构图如图 1 所示。图中原始激光束扩束后直径为 25 mm, 经两块积分镜反射后形成一系列沿不同方向传播的方形平行光束, 球面反射镜 IM

基金项目: 国家自然科学基金(10674041)、北京市自然科学基金(2052003)、北京市属市管高等学校人才强教计划和北京市科技新星计划(2006B11)资助课题。

作者简介: 黄雅峥(1982—), 男, 浙江永康人, 硕士研究生, 主要从事激光光束整形技术的研究。
E-mail: huangyachai2002@163.com

导师简介: 蒋毅坚(1962—), 男, 北京人, 教授, 博士生导师, 主要从事激光材料制备技术和激光拉曼光谱研究。
E-mail: yjjiang@bjut.edu.cn

需要足够大以保证所有光束都能投射在它上面。*IM* 离靶面的理论距离为 1027 mm, 考虑到距离比较长, 这里采用了两块平面铜反射镜实现光路折叠。陶瓷材料置于靶面上, 可随转台转动。

可见激光束来反映 CO₂ 激光束的传输情况, 方便了光路的调节。不同的是两块反射型积分镜各反射镜面对两种波长的衍射和干涉效应是不一样的。

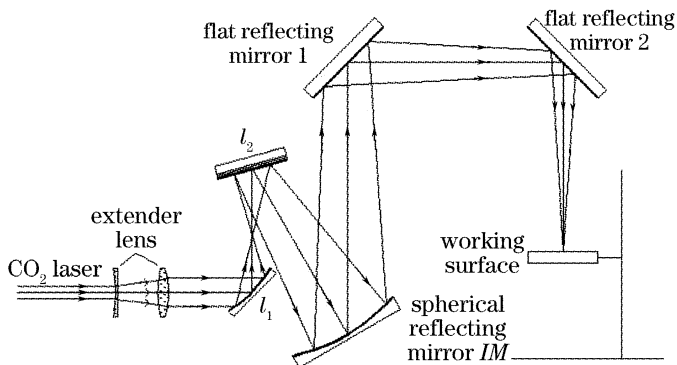


图 1 CO₂ 激光光路图

Fig. 1 Light path of CO₂ laser beam

考虑到 CO₂ 激光的不可见性, 实验从侧面引入一条可见激光光路, 拍摄实物照片如图 2 所示。所用可见激光光源为半导体抽运全固态激光器, 激光束经扩束后光斑直径与扩束后的 CO₂ 激光束的直径一致, 两路光路分别经一块 GaAs 双平镜片反射、透射后实现同轴, 这样在一定程度上, 可以通过观察

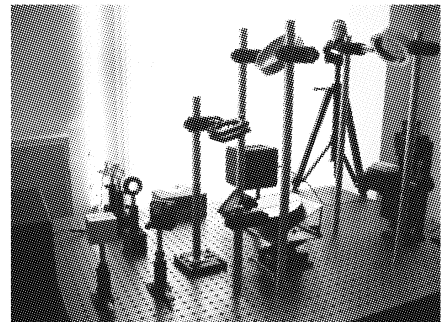


图 2 均束装置实物照片

Fig. 2 Assemble photo of the homogenizing system

按照理论分析, 扩束后的平行激光束被两块反射型带式积分镜分割而成的一系列方形平行光束, 经球面反射镜反射后在靶面上实现了重叠, 从而得到一个光强均匀分布的光斑。实验中, 拍摄可见激光在球面反射镜和靶面间不同位置处的投影如图 3 所示。图 3 反映了每束方形平行光束经球面反射镜 *IM* 反射后, 光斑尺寸大小变化以及位置变化的过程。

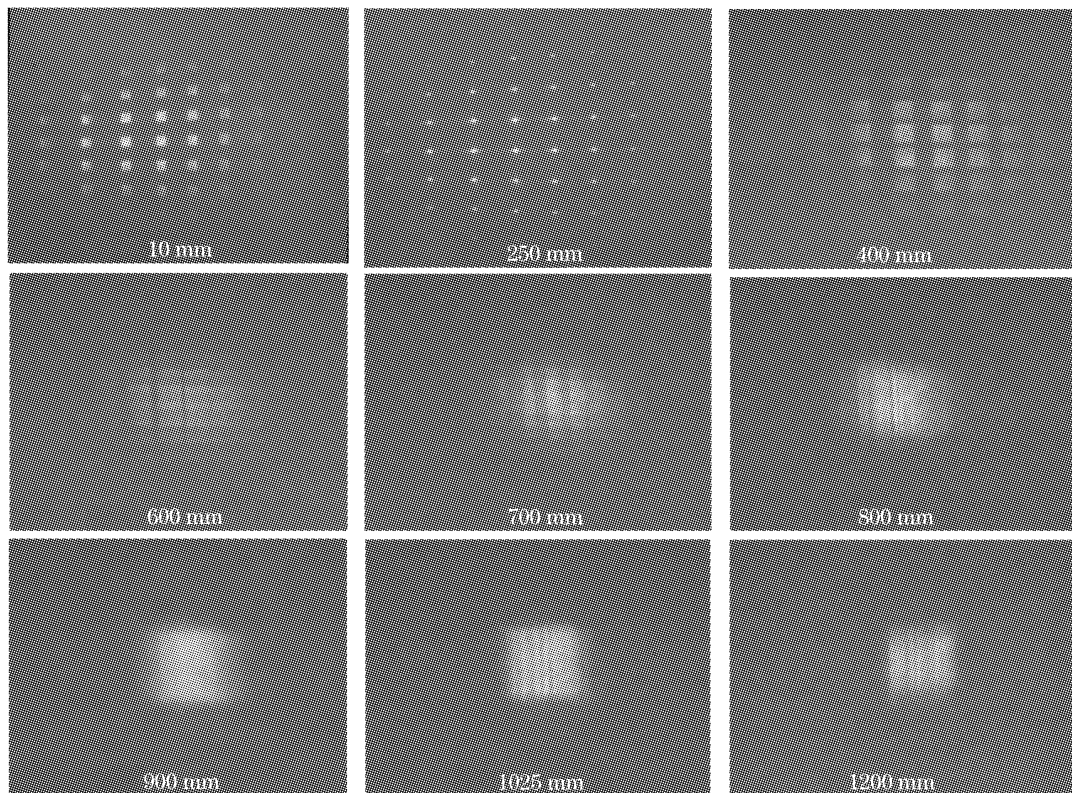


图 3 经 *IM* 反射后不同距离处的可见光斑

Fig. 3 Visible light spot diagram in differenet distance after reflected by *IM*

在第二幅图中, 每个光斑汇聚成一个点, 近似于理论焦距 $f = 240$ mm。第八幅图的光斑边缘最明晰, 是最理想的重叠区域, 此时距 *IM* 1025 mm, 近

似于理论值 1027 mm。随着距离继续增大, 光斑又开始弥散开来, 如图 3 最后一幅图所示。

至于各个光斑之间的相对偏移多少, 可在球面

反射镜上放置一个中心有一方孔的掩模,使每次只让其中一个方形平行光束通过,记录下这个方形平行光束在靶面上的光斑位置,移动掩模使另一个方形平行光束通过,如此依次记录下每个光斑的位置,这样就可以确定出各光斑相对最大偏移量。计算得到,斜对角的平行光束在靶面上的投影光斑相对于中心平行光束的偏移最大, x, y 方向各达到了 $1.2\text{ mm}, 0.3\text{ mm}$, x 方向为第一块积分镜的分割方向, y 方向为第二块积分镜的分割方向。每个方形平行光束在靶面上留下一个边长为 10 mm 的正方形的光斑,可知得到的光强均匀分布的区域为一个长 9.4 mm , 宽 7.6 mm 的长方形。各方形平行光束在靶面上的投影偏差,主要是在切削积分镜的各反射镜面时镜面宽度的尺寸误差以及装配误差造成的,其中尺寸误差最高达到 0.3 mm , 超出了设计精度 0.01 mm 。但即使如此,仍然能得到较大的重叠区域。

当仅让中心的方形平行光束通过,观察到在距球面反射镜 1025 mm 处(靶面位置)的光斑如图 4 所示。理论上,每个方形平行光束在靶面上的投影应为一个光强均匀分布的光斑,而图 4 所示光斑在单个方向被分割为 9 条细带,三条为一组。而这个分割方向为第一块积分镜 I_1 对光束的切割方向,在第二块积分镜 I_2 对光束的切割方向上无明显分割现象。第一块积分镜 I_1 的表面形貌如图 5 所示,图中可以发现积分镜 I_1 每个反射镜面被加工出三个表面,形成锯齿形,一束平行光束经过单个反射镜面反射后也因此分裂成三条光带,最终影响了单个光斑在这块积分镜分割方向的不均匀性。相对于积分镜 I_1 ,整体为一凸面形的第二块积分镜 I_2 因为加工工艺更加完善,每个反射镜面的表面粗糙度达到了 29 nm , 完全满足用于 CO_2 激光的镜面反射要求,所以在它的分割方向上没有出现光斑分裂的现象。

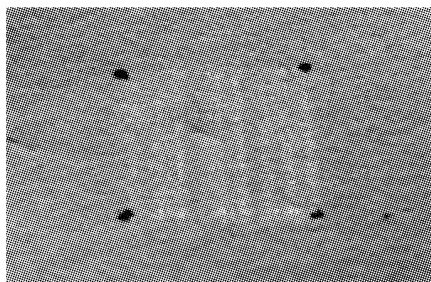


图 4 仅一束方形平行光束通过时距 1025 mm 处的可视光斑

Fig. 4 Visible light spot diagram in distance of 1025 mm when only one foursquare parallel beam can pass

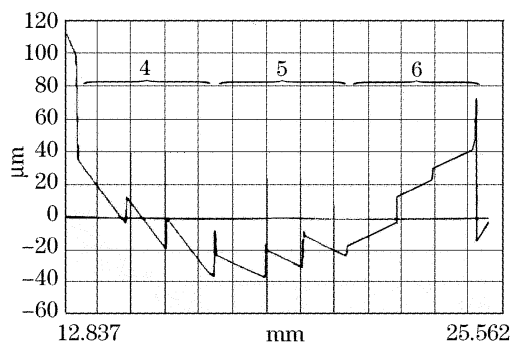


图 5 积分镜 I_1 中间三个反射平面的纵向表面形貌

Fig. 5 Profile of the mid three mirrors of I_1 in vertical direction

用 CO_2 激光束轰击置于靶面上的有机玻璃得到的凹坑形状如图 6 所示,分别表示出原始激光束的轰击结果(a)和经过均束装置后的轰击结果(b)。由图 6 可见原始激光束大致为 TEM_{10} 模;经过均束装置后激光轰击区中的凹坑整体大致为长方形,区域内均匀排列着一些毛刺,原因可能是各光束重叠时引起了干涉。同时长方形内出现了两个较深的区域,沿第一块积分镜的分割方向平行排列,原因与上述可见激光束的光斑分裂一致,由于衍射效应更为强烈,没有像可见激光那样明显的明暗相间条纹。

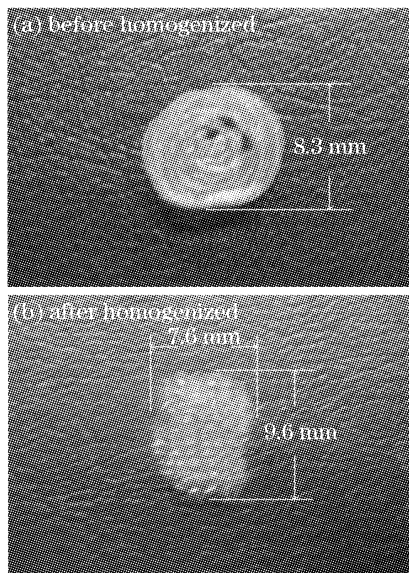


图 6 均束前后 CO_2 激光束光斑

Fig. 6 Spot diagram of laser beam before and after homogenized

3 实 验

均束后的 CO_2 激光束用于陶瓷烧结实验,激光辐照时陶瓷片随转台匀速转动。在升温曲线(以光斑中心区域作为参考)以及转台旋转速度相同的条件下,用原始激光束烧结和用均束后的光斑烧结所得到的陶瓷如图 7 所示。均束前烧结的陶瓷反映了

原始激光束 TEM₁₀ 的大致模式：中心点能量密度最高，结晶现象明显，呈黑颜色；中心点往外一圈颜色较浅，说明能量密度较低；再往外是一个环形区域，略带紫色；而最边缘一圈几乎未受到激光辐照，呈白色。均束后烧结的陶瓷整个表面颜色比较均匀，呈乳黄色，说明均束后的光斑结合转台的转动可以使整个陶瓷片受热更加均匀。

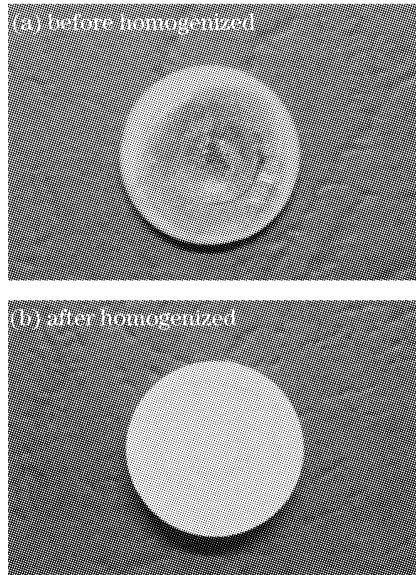


图 7 激光均束前后烧结得到的陶瓷

Fig. 7 Ceramics sintered by CO₂ laser before and after homogenized

4 结 论

该套均束装置在一定程度上改善了大功率 CO₂ 激光烧结陶瓷的工艺，使陶瓷辐照面受热均匀性更佳，有效抑制了因快速热效应引起的炸裂现象。作为这套均束装置的核心部分，两块反射型带式积分镜加工难度比较大，云南省昆明物理所的技术人员

成功地解决了加工问题，为本实验的完成打下基础。但同时还存在一些问题需要改进，特别是第一块积分镜，因为它的整体为凹面形，加工难度更大，尚无法保证所需要的表面光洁度，而这是对均束效果负面影响最大的一个因素。相对于第一块积分镜，整体为凸面形的第二块积分镜的加工已经基本满足设计要求。如果作进一步地完善，将会进一步改善均束效果。

参 考 文 献

- 1 Ji Lingfei, Jiang Yijian. Laser Sintering Tantalum-Oxide Based Functional Ceramics[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006
季凌飞, 蒋毅坚. 激光烧结氧化钽基功能陶瓷 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2006
- 2 Ji Lingfei, Wang Wei, Yu Zhenlong *et al.*. Improving dielectric properties of Ta₂O₅ ceramics by laser irradiation [J]. *J. Optoelectronics Lasers*, 2004, **15**(10): 1242~1245
季凌飞, 王伟, 于振龙等. 激光辐照改变 Ta₂O₅ 陶瓷的介电性能 [J]. *光电子·激光*, 2004, **15**(10): 1242~1245
- 3 Fred M. Dickey, Burton D. O'Neil. Multifaceted laser beam integrators: general formulation and design concepts [J]. *Opt. Eng.*, 1988, **27**(11): 999~1007
- 4 Lü Baida, Cai Bangwei, Zhang Bin. Spatial shaping and uniform irradiation on the target of high-power lasers [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 1999, **28**(1): 25~28
吕百达, 蔡邦维, 张彬. 强激光的空间整形和靶面均匀辐照技术 [J]. *红外与激光工程*, 1999, **28**(1): 25~28
- 5 Jiang Yijian, Huang Yazheng, Ji Lingfei *et al.*. A set of laser beam homogenizing system for getting a large-area uniform foursquare light spot[P]. China Utility Model Patent, 2005. No. 200520127504.6
蒋毅坚, 黄雅峥, 季凌飞等. 一种用于获得大面积均匀方形光斑的激光均束装置 [P]. 实用新型专利, 专利号: 200520127504.6
- 6 Huang Yazheng, Ji Lingfei, Jiang Yijian. Design of crossed double strip integrators for high power laser beam homogenizing [J]. *Chinese J. Lasers*, 2006, **33**(Suppl.): 264~267
黄雅峥, 季凌飞, 蒋毅坚. 一种反射型正交双带式积分镜均束装置的设计 [J]. *中国激光*, 2006, **33**(Suppl.): 264~267