

文章编号 1004-924X(2008)08-1416-07

CO₂ 连续激光弯曲硼硅酸盐玻璃薄片的实验研究

吴东江¹, 牛方勇¹, 刘 双¹, 马广义¹, 祝 勇², 王续跃¹

(1. 大连理工大学 精密与特种加工教育部重点实验室, 辽宁 大连 116024;

2. 大连理工大学 工程训练中心, 辽宁 大连 116024)

摘要:利用 CO₂ 连续激光对硼硅酸盐玻璃薄片进行了弯曲实验, 确定了用 CO₂ 连续激光弯曲厚度 150 μm 的玻璃所需功率密度阈值。研究了激光功率、扫描速度、扫描次数及样品宽度对弯曲效果的影响, 并简要分析了弯曲现象产生的原因。给出了弯曲加工时激光功率和扫描速度的范围, 获得多组可以成功弯曲玻璃样品的工艺参数。实验结果表明, 采用 CO₂ 连续激光可以对硼硅酸盐玻璃薄片进行弯曲加工, 弯曲角度可达 24°以上。

关键词:激光弯曲; 硼硅酸盐玻璃; 热应力; 弯曲角

中图分类号: TN 249 **文献标识码:** A

Borosilicate glass film bending by CO₂ CW-laser

WU Dong-jiang¹, NIU Fang-yong¹, LIU Shuang¹, MA Guang-yi¹, ZHU Yong², WANG Xu-yue¹

(1. *Key Laboratory for Precision and Non-traditional Machining Technology of the Ministry of Education, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China;*

2. *Engineering Training Center of Dalian University of Technology, Dalian 116024, China*)

Abstract: An experiment of borosilicate glass film bending by CO₂ CW-laser was presented, and the laser power density threshold was determined for glass specimen with thickness of 150 μm. The effects of process parameters (laser power, scanning velocity, number of scanings) and work piece geometry (specimen width) on the bending angle were investigated, then the experimental phenomenon was analyzed. The extent scopes of the laser power and scanning velocity were generalized for the bending progress, meanwhile, several groups of processing parameters were obtained. The experimental result indicates that the borosilicate glass film could be bent to an angle up to 24° using CO₂ CW-laser.

Key words: laser bending; borosilicate glass; thermal stress; bending angle

1 引言

激光弯曲是近几年出现的一种新型成形技术, 主要用于板材和管件的弯曲成形。该技术利

用高能激光束对板材表面局部加热诱发不均匀热应力, 使板材产生塑性变形, 以获得所需要的目标形状。通过调整激光加工工艺参数控制热作用区域内应力的大小与分布, 可以精确控制板料的弯曲程度。作为一种基于热态积累的成形方法, 激

收稿日期: 2007-11-20; 修订日期: 2007-12-11.

基金项目: 辽宁省自然科学基金资助项目(No. 20062178); 高等学校博士学科点专项科研基金(No. 20070141002)

光弯曲无需模具与外力,具有生产周期短,柔性大等特点。

现阶段对于激光弯曲的研究主要集中在金属材料 and 合金材料(铝合金、钛合金等)^[1-2]等塑性变形材料,而对脆性材料很少涉及。但随着制造技术和材料科学的发展,脆性材料如陶瓷、玻璃、硅片等在信息、通讯、原子能、电子技术和生物化学等新领域有着越来越广泛的应用,相应的需要激光加工的脆性材料势必会日益增长^[3]。由于激光弯曲技术拥有良好的应用前景,吸引了国内外不少学者从事这方面的研究。德国的 U. Löschner, H. Exner 等人在 20 世纪末对硅片在高温情况下塑性变形的可行性进行了实验研究,提出了采用激光技术对脆性材料进行弯曲的想法^[4-5],初步确定了硅片弯曲机理和金属材料弯曲机理的相似性^[6-8]。美国的 Richard X Zhang, Xianfan Xu 等人利用小功率 CO₂ 连续激光(最大功率 10 W)对玻璃弯曲进行尝试,以 0.28 W 的功率和 12 mm/min 的扫描速度实现了 SiO₂ 玻璃薄片的微弧度量级弯曲,并指出进一步增大功率和扫描次数可以得到以度为量级的弯曲角,此外,其对陶瓷和硅片弯曲也进行了实验及数值模拟研究^[9-12]。IBM Almaden 研究中心的 Andrew C Tam 等人利用激光实现了微小陶瓷件的弯曲,并将其应用于磁盘驱动器中磁热滑片的批量生产^[13]。国内大连理工大学吴东江科研小组利用 Nd:YAG 长脉冲激光对硅片弯曲进行了研究,讨论了激光参数对硅片弯曲角度的影响,并对弯曲样品进行了表面形貌以及晶相等特性分析^[14-15]。

本文利用 CO₂ 连续激光对硼硅酸盐玻璃薄片进行弯曲实验,研究加工工艺参数、样品尺寸对弯曲角度的影响,得到了以度为量级的弯曲角度,同时简要分析了实验现象产生的原因。

2 实验装置

实验用样品为硼硅酸盐玻璃盖玻片,厚度 150 μm,主要化学组成(质量分数)为 SiO₂ 74.8%, B₂O₃ 14.7%, Na₂O 4.5%, BaO 2.0%, K₂O 0.5%, 其它 3.5%。其热物理参数如表 1 所示。激光扫描前玻璃样品进行清洗。

激光加工设备为北京神州镭神激光技术有限公司提供的 CLS2000-1200 型 CO₂ 激光加工机,

表 1 硼硅酸盐玻璃热物理参数

Tab. 1 Physical parameters of borosilicate glass

Physical parameters	Values
Heat capacity/(J · kg ⁻¹ · K ⁻¹)	900
Thermal conductivity/(W · m ⁻¹ · K ⁻¹)	1.86
Coefficient of expansion/(10 ⁻⁷ · K ⁻¹)	(30~50) × 10 ⁻⁷
Yang's module/10 ¹⁰ Pa	7.78
Poisson's ratio	0.17
Density/(kg · m ⁻³)	2200

激光波长 10.6 μm,最大功率 75 W,功率稳定度为 ±5%,PC-BASE CNC 控制器,驱动程序为镭神切割/雕刻软件 3.0,激光触发模式有程序控制和手动触发两种模式。

样品采用单端固定方式,先把样品固定在载玻片衬底上,再将载玻片固定于工作台。为防止样品加工过程中受外力影响,实验期间不开启吹气、排风装置。扫描路径采用直线往返扫描方式,且扫描位置保持不变。样品加工过程示意图如图 1 所示。

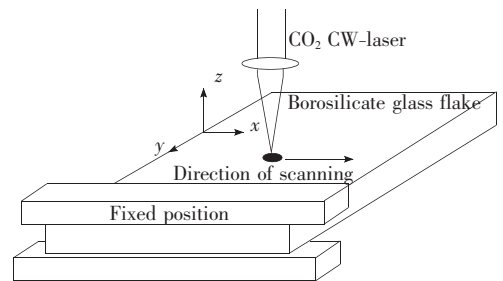


图 1 样品加工示意图

Fig. 1 Scheme of bending process

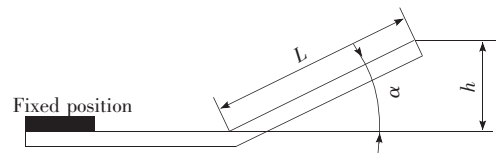


图 2 弯曲角度测量示意图

Fig. 2 Scheme of bending angle measurement

弯曲角度作为实验最主要及最直观的评定结果,其测量方法如图 2 所示,通过测量长度 L 及自由端翘起高度 h ,可由公式(1)计算得出弯曲角度 α 。

$$\alpha = \arcsin(h/L), \quad (1)$$

3 实验结果与讨论

实验表明,对弯曲角度的影响主要有两个因素:工艺参数和样品几何形状,通过合理调整可以得到成功的弯曲样品。图 3 所示为激光功率 15.5 W,扫描速度 100 mm/min,宽度 d 分别为 5 mm 和 10 mm 时的弯曲样品照片。

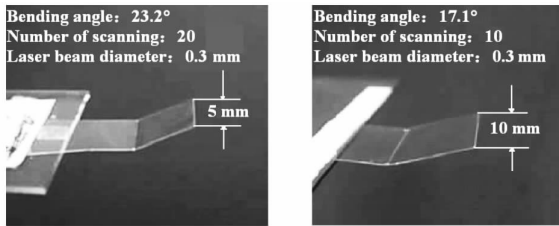


图 3 加工样品照片

Fig. 3 Photos of machined sample

3.1 功率密度阈值的确定

硼硅酸盐玻璃主要成分为 SiO_2 ,而 Si-O 振动波段在 $9\sim 11\ \mu\text{m}$,其键能为 4.7 eV,小于 CO_2 的单光子能量(5.0 eV),所以样品可以充分吸收波长为 $10.6\ \mu\text{m}$ 的 CO_2 激光^[16],且吸收深度极小,在表面 $1\sim 2\ \mu\text{m}$ 之间,因而可以认为所有的激光辐射能量都被样品吸收。

从结构上看,玻璃属于非晶态,是典型的脆性材料,其脆性负荷一般只有 $30\sim 150\ \text{g}$,极易产生裂纹,而且玻璃在常温条件下不能产生晶格层的塑性滑移,故很难在常温下对其进行弯曲加工^[17-18]。激光功率必须使样品上下表面都能够达到一定黏度,以降低玻璃的屈服极限,进而利用厚度方向上的温度梯度产生的热应力实现弯曲。实验中采用激光手动触发模式来确定弯曲加工所需功率密度阈值。当激光功率在 12 W 以下,光束直径 0.3 mm 时,激光作用在样品表面无明显现象;当功率为 12.5 W,玻璃表面同样没有软化的痕迹,但肉眼可以分辨激光作用区域产生了微小裂纹;功率进一步加大,达到 13.5 W,功率密度为 $4.6\times 10^3\ \text{W}/\text{cm}^2$ 时,样品的上表面出现轻微软化现象;以 0.5 W 为增量将功率逐步提高,样品的软化程度逐步加深;当功率 $> 16.5\ \text{W}$ 时,激光作用区域产生明显的凹陷,且出现样品打穿的现象。由于玻璃弯曲需要样品达到塑性转变温度才能实

现,即玻璃出现软化现象,所以可以初步确定对于厚度 $150\ \mu\text{m}$ 的玻璃产生弯曲现象所需激光功率密度阈值为 $4.6\times 10^3\ \text{W}/\text{cm}^2$ 。

3.2 激光功率对弯曲角度的影响

实验采用宽度 5 mm 的样品,以 100 mm/min 的速度往返直线扫描 10 次,以 0.5 W 为增量,观察激光功率在 13.5~16.5 W 时的弯曲效果,同一参数加工三个样品,弯曲角度取平均值。

图 4 所示为样品弯曲角随激光功率变化的关系曲线。

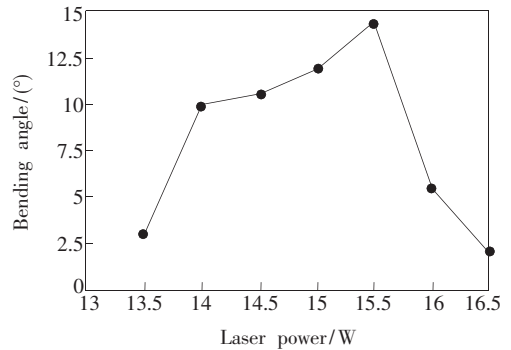


图 4 激光功率与弯曲角度的关系

Fig. 4 Relation between bending angles and laser powers

玻璃薄片在激光功率达到 13.5 W 时开始产生弯曲,但在此功率下,样品的上表面只有轻微软化,下表面软化不明显,沿扫描轨迹方向很容易产生裂纹断裂。这可能是由于激光照射产生的热量使玻璃上表面的黏度有所降低,并产生热膨胀,但下表面温度还不足以使玻璃的黏度降低,脆性仍然很高,所以容易在热应力的作用下产生贯穿扫描轨迹的裂纹,导致断裂。

当激光功率在 $14\sim 15.5\ \text{W}$ 时,玻璃的上下表面都出现明显的软化现象,弯曲效果良好,且没有裂纹产生,扫描轨迹上有少量的材料堆积,末端有轻微的熔化缺口。在该功率范围内,激光扫描产生的热量引起玻璃黏度的显著降低,同时应力得以部分释放,这是没有产生裂纹的主要原因。当激光束照射时,样品上表面的膨胀量远远大于下表面,使玻璃产生暂时背向激光束的弯曲,但未被加热区域抑制了加热区域材料的膨胀,而此时加热区域玻璃黏度较低,屈服极限降低,在热应力的作用下产生了上表面材料的少量堆积。在冷却阶段,温度梯度逐渐变小,上表面温度降低,材料开始收缩,同时下表面因热传导而温度升高开始

膨胀,结果使样品最终产生朝向激光束的正向弯曲。

激光功率 >15.5 W时,玻璃上下表面出现熔化现象,扫描轨迹明显加宽,末端出现明显的熔化缺口,弯曲现象逐渐不明显。这是由于进一步的温升导致玻璃黏度的显著降低,在热应力的作用下玻璃发生塑性流动,使玻璃中的热应力部分甚至全部释放,同时,由于温度过高,样品上下表面的温度梯度很小,故弯曲效果不明显^[19]。

由此可见,玻璃弯曲对激光功率有两个要求:首先玻璃必须达到转变温度以使得上下表面都能达到某个合适的黏度,避免裂纹的产生;然后样品的厚度方向要存在一定的温度梯度以产生足够的热应力来达到弯曲效果的出现。只有两个条件同时满足才能得到成功的玻璃弯曲效果。

3.3 扫描速度对弯曲角度的影响

实验采用宽度5 mm的样品,调节激光功率为15.5 W,往返扫描10次,以25 mm/min为增量,观察扫描速度为25~200 mm/min时玻璃的弯曲效果,同一参数加工三个样品,弯曲角度取平均值。

图5所示为扫描速度与弯曲角度对应关系曲线,由图可见,对于该样品,当扫描速度 <50 mm/min时,弯曲效果不明显,而且实验中发现扫描轨迹末端存在比较明显的熔化缺口。在50~75 mm/min的速度区间内,样品的弯曲角度随速度的增大有明显的增大。75~125 mm/min是比较理想的扫描速度范围,在这个范围内可以得到成功的弯曲样品,而且扫描轨迹良好,极少产生裂纹。当速度增大到125 mm/min以上时,虽然能得到比较明显的弯曲角度,但是在扫描过程中很

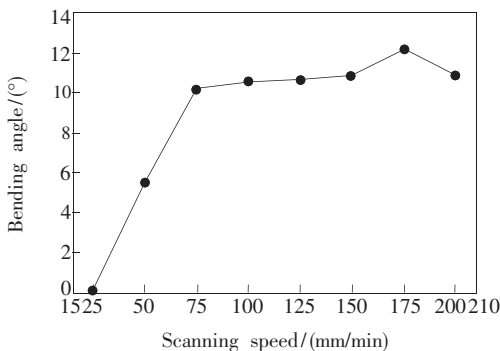


图5 扫描速度与弯曲角度的关系

Fig. 5 Relation between bending angles and scanning speeds

容易产生裂纹甚至脱落。

由此看出,对于确定的样品和激光功率,弯曲的实现要求一个合适的扫描速度范围。分析认为,在一定的工艺参数下,激光扫描速度与玻璃材料吸收致热进而达到一定黏度的速度存在匹配关系,只有扫描速度与软化区域的扩展速度基本一致时才容易得到成功的弯曲样品。同时扫描速度也会影响厚度方向的温度梯度,进而影响样品上下表面的热应力分布,最终导致弯曲效果的不同。

3.4 激光功率与扫描速度范围选择

综合上述工艺参数可以看出,在样品尺寸一定的情况下,激光功率与扫描速度是决定样品弯曲成功的重要参数。激光功率一定时,存在一个合适的扫描速度范围,同样在扫描速度一定时也存在一个合适的激光功率范围。合理调节激光功率和扫描速度可以得到多组不同的工艺参数以及针对确定功率的扫描速度上下限。图6为成功实现玻璃弯曲的扫描速度与激光功率对应范围(P, v 图)。随着激光功率的提高,可以实现弯曲的扫描速度的上下限不断增加。在图中下限的下方区域,扫描速度对于激光功率来说过小,容易造成扫描轨迹的过分熔化,弯曲效果不明显,甚至熔融蒸发造成样品的破坏。在图中上限的上方区域,扫描速度对于激光功率来说过大,容易造成扫描轨迹处玻璃达不到弯曲所需的黏度,导致裂纹的产生。上下限中间的阴影区域,扫描速度对于对应的激光功率比较合适,可以得到成功的弯曲样品。

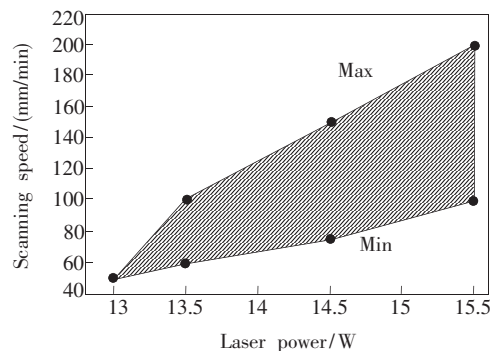


图6 适合弯曲的扫描速度及激光功率的范围

Fig. 6 Fitting values of scanning speeds and laser powers

3.5 扫描次数对弯曲效果的影响

实验采用宽度5 mm的样品,以15.5 W的激光功率和100 mm/min的速度往返扫描,以5次为增量观察5~30次内的弯曲效果,同一参数

加工三个样品,弯曲角度取平均值。

单独扫描一次,玻璃样品几乎没有弯曲,经连续 25 次扫描,样品弯曲角度可达 24° 以上。图 7 为扫描次数与弯曲角度对应关系曲线。由图可见,随着扫描次数的增加,样品弯曲角度明显增加,与传统的金属材料激光弯曲不同,玻璃弯曲角度的变化并不是最初的几次扫描导致的增量最大。样品在扫描 15 次以内弯曲角度近似呈线性增加,而在 15~20 次之间的增量有所加大,当扫描次数增加到 25 次以上时,弯曲角度增量明显变小。分析认为在激光扫描过程中,热量在扫描区域逐渐积累导致样品温度逐步升高,而玻璃的热膨胀系数是随着温度升高而显著增大,所以在扫描 15~20 次之间样品的弯曲角度增量较最初几次明显。当扫描次数进一步增加,温度虽进一步升高,但是玻璃的黏度也在下降,激光作用产生的热应力很快释放,不会引起明显的弯曲增量。同时,样品温度升高会产生玻璃晶化现象,微观结构的致密性以及晶粒的几何排列变化都会导致热膨胀系数减小^[17-18],进而影响弯曲增量变小。

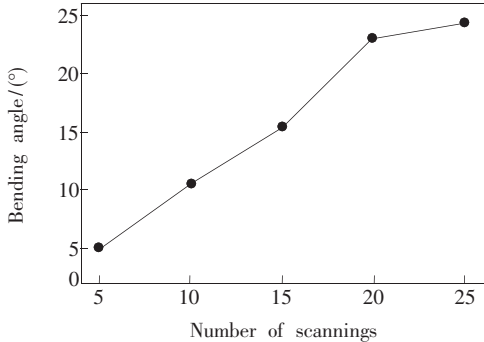


图 7 扫描次数与弯曲角度的关系

Fig. 7 Relation between bending angles and number of scanings

3.6 样品宽度对弯曲效果的影响

实验以 15.5 W 的激光功率和 100 mm/min 的速度对不同宽度的样品往返扫描 15 次,实验样品宽度分别为 3、5、8、10、12、15 mm 的弯曲效果,同一参数加工三个样品,弯曲角度取平均值。

图 8 为样品宽度与弯曲角度对应关系曲线,由图可见,随着样品宽度的增加,弯曲角度呈增加的趋势。这是因为激光扫描是沿着样品宽度方向连续进行,而光斑直径比样品宽度小很多,未被加热的冷态刚性区将对加热过程中产生的背向激光

束的反向弯曲起刚端抑制作用,样品越宽,这种抑制作用越明显,扫描轨迹处的材料堆积就越多,导致最终弯曲角度越大^[20]。同时,样品越宽越不利于宽度方向应力的释放,导致对样品起弯曲作用的应力相对增大,也会引起弯曲角度的加大。但实验中发现,当宽度超过 10 mm 时,弯曲过程中容易产生垂直于扫描轨迹的 Y 字型裂纹,宽度超过 12 mm 的样品,其产生的 Y 字型裂纹会扩展导致断裂,很难制得成功的弯曲样品。这是由于玻璃在扫描轨迹处吸热产生膨胀,而扫描轨迹两侧的材料要抑制其宽度方向的膨胀,这样在软化区域和未软化区域的交界处产生一个拉应力区。同时,扫描轨迹处膨胀产生的压缩应力释放方向从扫描轨迹中点指向轨迹末端,样品越宽越不利于应力的传递,于是压缩应力在样品宽度方向不断增大,导致拉应力区的拉伸应力也不断增大,当超过玻璃的拉伸断裂极限时,样品便产生裂纹。所以宽度 >10 mm 的样品容易产生裂纹,且大都位于扫描轨迹的中点。

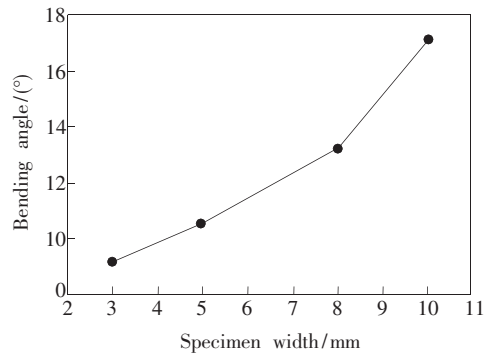


图 8 样品宽度与弯曲角度的关系

Fig. 8 Relation between bending angles and specimen widths

4 结 论

利用 CO_2 连续激光对厚度为 $150 \mu\text{m}$ 的硼硅酸盐玻璃薄片进行弯曲实验,得到如下结论:

(1)通过激光手动触发作用于样品初步确定了对于厚度 $150 \mu\text{m}$ 的玻璃样品弯曲所需激光功率密度阈值为 $4.6 \times 10^3 \text{ W/cm}^2$;

(2)随激光功率的增大,玻璃的弯曲角度先增大后减小,并存在一个合适的功率范围避免裂纹的产生;

(3)随扫描速度的增大,样品弯曲角度也呈现

先增大后减小的趋势,对于某一特定的功率值存在相匹配的速度范围;

(4)合理调整激光功率与扫描速度可以得到多组加工工艺参数并可确定成功实现弯曲的功率与扫描速度范围;

(5)扫描次数增加可以导致样品弯曲角度增加,但当扫描次数超过一定值时,角度增量不再明显;

(6)样品宽度是对弯曲角度有重要影响的材

料几何参数,随样品宽度的增大,弯曲角度呈增大趋势,但宽度超过 10 mm 容易产生垂直与扫描轨迹的 Y 型裂纹,超过 12 mm,成功率较低。

影响样品弯曲效果的其它因素如样品厚度,扫描轨迹,光斑离焦量等仍需进一步实验研究。对扫描区域的形貌和结构需进一步检测分析,以便确定弯曲样品形貌和微观结构的变化情况。

参考文献:

- [1] 刘初,季忠,张鹏,等. 板料激光成形及其研究进展[J]. 锻压装备与制造技术,2004(3):7-21.
LIU R, JI ZH, ZHANG P, *et al.*. Sheet laser forming & research progress [J]. *Metal Forming Equipment & Technology*, 2004(3):17-21. (in Chinese)
- [2] 陈敦军,向毅斌,吴诗淳,等. 钛合金板料激光曲线弯曲及热辐射对其组织性能的影响[J]. 金属学报,2001,37(6):43-46.
CHEN D J, XIANG Y B, WU SH CH, *et al.*. Curved laser bending of titanium alloy sheets and effects of heat radiation on its microstructure and property [J]. *Acta Metallurgica Sinica*, 2001, 37(6):43-46. (in Chinese)
- [3] 崔建丰,赵晶,樊仲维,等. 厚硅片的高速激光切片研究[J]. 光学精密工程,2006,14(5):829-834.
CUI J F, ZHAO J, FAN ZH W, *et al.*. Study on LD-pumped Nd:YAG laser cutter for silicon wafer [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14(5):829-834. (in Chinese)
- [4] FRÜHAUF J, GÄRTHNER E, JÄNSCH E, *et al.*. Silicon as a plastic material [J]. *J. Micromesh. Microeng.*, 1999(9):305-312.
- [5] FRÜHAUF J, GÄRTHNER E, JÄNSCH E. Aspects of the plastic deformation of silicon-prerequisites for the reshaping of silicon microelements [J]. *Appl. Phys.*, 1999, 68:673-679.
- [6] LÖSCHNER U, EXNER H, GÄRTNER U, *et al.*. Laser bending of silicon [J]. *SPIE*, 2003, 4977:86-93.
- [7] GÄRTHNER E, FRÜHAUF J, LÖSCHNER U, *et al.*. Laser bending of etched silicon microstructure [J]. *Micro system Technologies*, 2001(7):23-26.
- [8] EXNER H, LÖSCHNER U. Contactless laser bending of silicon microstructures [J]. *SPIE*, 2003, 5116:383-392.
- [9] ZHANG R X, XU X F. Microscale bending of brittle materials using pulsed and CW lasers [J]. *SPIE*, 2002, 4637:291-296.
- [10] ZHANG R X, XU X F. High precision micro scale bending by pulsed and CW lasers [J]. *Transactions of the ASME*, 2003, 125(8):512-518.
- [11] ZHANG R X, XU X F. Finite element analysis of pulsed laser bending: the effect of melting and solidification [J]. *J. Appl. Mechanics*, 2004, 71(5):321-326.
- [12] ZHANG R X, XU X F. Laser bending for high-precision curvature adjustment of micro cantilevers [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2005, 86(021114):1-3.
- [13] TAM A C, POON C C, LINDEN C. Laser bending of ceramics and application to manufacture magnetic head sliders in disk drives [J]. *Analytical Sciences*, 2001, 17(Special Issue):419-422.
- [14] 吴东江,马广义,周秋菊,等. 长脉宽脉冲激光硅片弯曲成形试验[J]. 光学精密工程,2007,15(9):1361-1365.
WU D J, MA G Y, ZHOU Q J, *et al.*. Experimental study of bending silicon chip with long pulse width laser [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(9):1361-1365. (in Chinese)
- [15] 吴东江,马广义,曹先锁,等. 脉冲激光弯曲成形技术中硅片表面的形貌分析[J]. 中国激光,2007,34(11):1589-1593.
WU D J, MA G Y, CAO X S, *et al.*. Analysis of silicon surface profile of pulsed laser bending processing [J]. *Chin. J. Lasers*, 2007, 34(11):1589-1593. (in Chinese)

- [16] 焦俊科,王新兵. CO₂ 激光作用下运动石英玻璃的温度分布[J]. 强激光与粒子束, 2007, 19(1):1-4.
JIAO J K, WANG X B. Temperature distribution of moving quartz glass heated by CO₂ laser [J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2007, 19(1):1-4. (in Chinese)
- [17] 赵彦钊,殷海荣. 玻璃工艺学[M]. 北京:化学工业出版社, 2006.
ZHAO Y ZH, YIN H R. *Glasses Technology* [M]. Beijing:Chemical Industry Press, 2006. (in Chinese)
- [18] J. 扎齐斯基(法). 玻璃与非晶态材料[M]. 北京:科学出版社, 2001.
ZARAYCKI J (France). *Glass and Amorphous Material* [M]. Beijing:Science Press, 2001. (in Chinese)
- [19] 罗福,孙承纬,杜祥琬. 1.06 μm 连续激光照射下 K9 玻璃板的应力松弛破坏[J]. 强激光与粒子束, 2001, 13(1):19-23.
LUO F, SUN CH W, DU X W. Stress relation damage in K9 glass plate irradiated by 1.06 μm CW laser [J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2001, 13(1):19-23. (in Chinese)
- [20] 王秀凤,王秀彦,林道盛. 板料激光弯曲的实验研究[J]. 锻压机械, 1999(3):8-10.
WANG X F, WANG X Y, LIN D SH. Research on laser bending test of sheet metal [J]. *China Metal forming Equipment & Manufacturing Technology*, 1999(3):8-10. (in Chinese)

作者简介:吴东江(1964-),男,山东昌邑人,教授,博士,主要从事精密与特种加工等领域的研究。E-mail:djwudut@dlut.edu.cn

● 下期预告

Bar 条不发光现象对半导体激光器阵列光束特性的影响

董丽丽^{1,2},许文海²

(1. 哈尔滨工业大学 电气学院,黑龙江 哈尔滨 150001;2. 大连海事大学 信息学院,辽宁 大连 116026)

为了便于对半导体激光器阵列(LDA)光束整形系统的设计和光束质量的评价,研究了目前 LDA 应用时普遍存在的问题,即 Bar 条不发光现象对 LDA 光强分布等特性的影响。基于 LDA 中单个发光单元的远场双峰结构,建立了描述 LDA 远场分布的数学模型,在 LDA 能量分布 95% 的主要区域内,该理论模型拟合测量数据的误差 < 5%。结合该理论模型和对 LDA 光束特性的实验测试结果,分析 Bar 条不发光对 LDA 光强分布模式以及其它光束特性的影响。结果表明,在传输达到一定距离后,单个或几个 Bar 条不发光不会改变 LDA 光强分布模式双峰结构的本质,但对于光强分布的其它特性,如峰值光强大小、峰值光强位置、中心轴光强大小都会产生影响。LDA 的功率特性与不发光 Bar 条的数目呈反比,与不发光 Bar 条的位置无关。