

文章编号: 100123806(2008)0420399203

线偏振 CO₂ 激光对非金属材料切缝的影响

谢小柱, 魏 昕, 胡 伟

(广东工业大学 机电工程学院, 广州 510006)

摘要: 为了研究线偏振 CO₂ 激光对高吸收率非金属材料的影响, 采用线偏振 CO₂ 激光沿着不同的方向切割模切板, 研究不同激光功率、切割速度、切割方向、辅助气体对切缝宽度的影响, 同时对比线偏振激光切割低碳钢。试验结果表明, 改变激光功率和切割速度对模切板进行切割, 上、下切缝沿不同方向之间的宽度相差不大, 即偏振性对高吸收率非金属材料模切板的切缝影响不大, 但是对金属材料影响很大。辅助气体 N₂ 和空气对上下切缝的影响不大, 从经济角度应优先选择空气; 为了得到上下均匀一致的切缝, 同一激光功率下, 切割速度应小些, 而同一切割速度下, 激光功率应大些。

关键词: 激光技术; CO₂ 激光切割; 线偏振; 切缝; 模切板

中图分类号: TG665 **文献标识码:** A

Effect of linear polarized CO₂ lasers on cut kerfs of nonmetallic material

XIE Xiaozhu, WEI Xin, HU Wei

(Faculty of Electromechanical Engineering Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract Highly absorptive nonmetallic material dieboard was cut by linear polarized CO₂ lasers through eight different directions. Effect of laser power, cutting speed and assisted air on the width of the cut kerfs of the dieboard was also discussed by contrast with that of lower carbon steel. The results indicate that the difference between the top and the bottom kerfs width of the dieboard along eight directions is not sensitive to linear polarization with altering laser power and cutting speed, while the kerf width difference of steel is on the contrary. Assisted gas such as N₂ and air has little effects on the kerf, therefore air should be selected in view of lower cost. Uniform cut kerfs can be achieved with lower cutting speed under certain laser power or higher laser power at a certain cutting speed.

Key words laser technique; CO₂ laser cutting; linear polarized; cut kerf; dieboard

引 言

激光光束偏振与切口质量密切相关。偏振特性影响材料对激光的吸收^[1]。在实际切割中产生的缝宽、切边粗糙度和垂直度变化都与光束偏振有关。WALZLACE^[2]发现偏振性对激光切割 SiN₄ 陶瓷的断面形状有很大的影响。平行于入射面偏振光的切割断面窄而深, 呈 V 字形; 垂直于入射面偏振光的切割断面宽而浅, 呈 U 字形; 45°线偏振光的切割断面弯曲, 呈香蕉形状。OLSEN^[3]研究切割低碳钢材料时, 发现平行于入射面偏振光的最大切割速度比垂直于入射面偏振光的要大 50%, 圆偏振光介于两者之间。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (50675038); 广东省科技计划基金资助项目 (2004B10201018); 广州市科技计划基金资助项目 (2005J12C0081); 校博士启动基金资助项目 (073005)

作者简介: 谢小柱 (1975), 男, 讲师, 博士, 主要从事激光加工、精密加工技术等方面的研究。

E-mail: xiaozhuxi@yahoo.com.cn

收稿日期: 2007206218; 收到修改稿日期: 2007207223

HALEWIN^[4]采用 Nd:YAG 切割金刚石和宝石材料, 发现直线切割时, 平行于入射面偏振光的切割深度比垂直于入射面偏振光的切割深度大。SCHREINER^[5]研究大功率 CO₂ 激光切割金属铜、铝时, 发现圆偏振光比平行于入射面的线偏振光的切割速度大。NIZIEV^[6]发现径向偏振光与用平面平行偏振以及圆偏振光相比较, 激光切割效率分别提高 1.5 倍和 2 倍。

微加工方面, TREYZ^[7]采用 Ar⁺ 激光器蚀刻硅片时发现线偏振光对断面沟槽的形状的影响趋势和 WALLACE^[8]的发现是一样的。BONSE^[9]采用飞秒脉冲钛宝石激光烧蚀 TiN 薄膜, 发现相比线偏振光, 圆偏振光的烧蚀率提高 2 倍~3 倍, 表面粗糙度低 2 倍~3 倍。TENSHOFF^[10]采用超短脉冲切割单晶硅时, 发现偏振光对切口几何形状影响很大。

偏振激光对于材料切口的断面形状、切割速度和切割效率影响很大, 这在切割金属和陶瓷这些材料时得到了验证, 而对于切割具有高吸收率材料的切口影响程度如何则还未见报道, 若影响不大, 那么在实际切割时可以考虑不使用圆偏振镜切割, 圆偏振镜的价格

相对较高,这对降低切割成本是有实际意义的。因此,采用线偏振 CO₂ 激光沿着不同的方向切割高吸收率非金属材料模切板,研究不同激光功率、切割速度、切割方向、辅助气体对切缝宽度的影响,并同时对比线偏振激光切割低碳钢时偏振性对切缝的影响。

1 试验装置和方法

线偏振激光沿不同方向试验切割示意图如图 1 所示。图中 x, y 为机床坐标轴的方向,编号 1~ 8 分别代

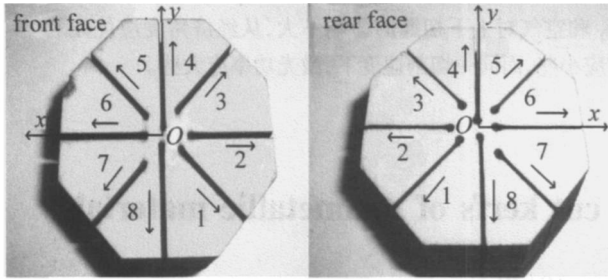


Fig 1 Schematic diagram of linear polarized laser cutting dieboard 表 8 个不同的切割方向,都是由里向外(按箭头方向)切割,8 个方向相互间的夹角均为 45°。

试验时 PHC21500 型激光器输出功率为 100W ~ 800W,切割速度为 0.15m/min ~ 2.0m/min,焦点位置分别位于表面、表面下 1mm 和 2mm,辅助气体为空气和 N₂,气体压力为 0.15MPa ~ 0.25MPa,同轴吹气,喷嘴直径 1.5mm。聚焦透镜 ZnSe 焦距 127mm。模切板厚度 18mm,低碳钢厚度 3mm。激光器输出功率采用 JGX21 型激光功率显示仪(北京机电研究院制造)在线监测,切割头处输出功率采用手持功率计(PC2100,加拿大制造)测量,切缝宽度采用 JX6 型大型工具显微镜(上海光学仪器厂制造)测量。切割断面采用 CCD digital camera(Nikon E370Q 日本制造)观察。

2 试验结果和分析

2.1 切割速度对切缝宽度的影响

首先研究以不同切割速度沿着不同方向切割时的上、下切缝宽度。试验条件如下:激光功率 500W,切割速度 0.6m/min, 1.2m/min, 1.6m/min,焦点位于工件表面,模切板厚度约 18mm,喷嘴直径 1.5mm,喷嘴和工件间隙 0.8mm,辅助气体为空气,压力 0.25MPa。图 1 显示出正面和背面的切缝均匀一致,切缝宽度的断面如图 2 所示。图中定义上、下切缝宽度分别为 W_t 和 W_b,厚度为 D_w,则切缝锥度为:

$$T = \arctan\left[\frac{W_t - W_b}{2D_w}\right] \quad (1)$$

将不同的切割速度沿着不同方向切割时得到的切缝放在同一张图中进行比较,如图 3 所示。当功率 500W、

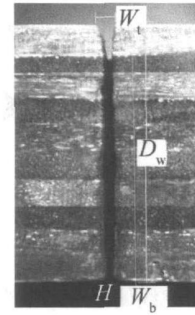
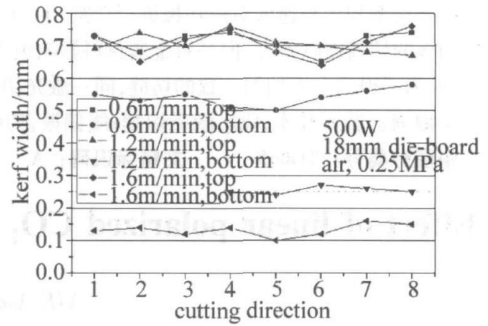


Fig. 2 Section of cutting kerf width



速度 0.6m/min 时,可以看出上切缝宽度大于下切缝宽度,且上、下切缝沿不同方向之间的宽度相差不大,上切缝宽度约为 0.65mm ~ 0.75mm,下切缝宽度约为 0.5mm ~ 0.6mm。但是沿 2, 6 方向切割时,上切缝宽度最小;沿 4, 8 方向切割时,切缝宽度最大;沿 1, 3, 5, 7 方向切割时,切缝宽度之间相差不是很大。这表明上切缝宽度受到了激光偏振性的影响,因为激光器输出的是空间 45° 线偏振光,而 2, 6 方向与 x 轴夹角 45° 恰好是线偏振最强的方向;而 4, 8 方向正好是垂直于偏振的方向,也是偏振最弱的方向,所以沿着 2, 6 方向的切缝最小,沿 4, 8 方向最宽,但是它们之间的差值很小,所以也可以认为沿着不同方向切割的上切缝宽度对偏振性不敏感,从图 3 也可以看出下切缝对偏振性也不敏感。从图中可以看出,以速度 1.2m/min, 1.6m/min 沿不同方向切割时的切缝宽度和速度为 0.6m/min 时的具有相似的规律,且上切缝宽度受到切割速度的影响很小,基本保持不变,而下切缝宽度随着切割速度的增加而减小。图 4 显示的是切缝锥度和切割速度之间的关系,切缝锥度随着切割速度的增加而

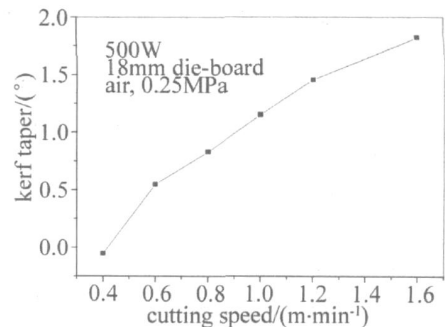
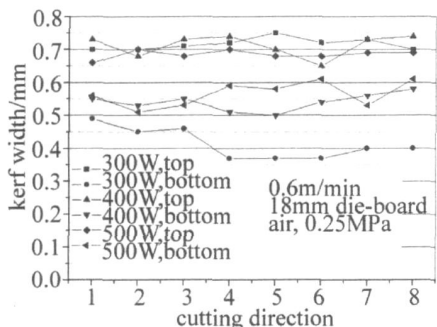


Fig 4 Cut kerf taper versus cutting speed

增加,这与上述分析的结果是一致的。这表明在同一功率下,若想得到均匀一致的切缝,切割速度应该低些。

2.2 激光功率对切缝宽度的影响

接着研究以不同的激光功率沿着不同方向切割时的上、下切缝宽度,如图 5 所示。试验条件为:切割速



度 0.6m/min 其余条件同上。激光功率 500W、切割速度 0.6m/min 切割时的情况上面已经分析过。300W 和 400W 时切割时,上切缝宽度基本不变,且与激光功率的变化关系不大,但下切缝随着激光功率的增加而增加。沿不同方向切割时的切缝宽度之间相差不大,与偏振方向不敏感。图 6 显示的是切缝锥度和激光功率之间的关系,切缝锥度随着激光功率的增加而减小,这表明同一切割速度下,若想得到上下均匀一致的切缝,激光功率应该大些。

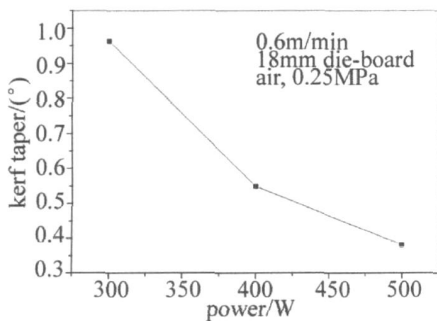


Fig 6 Cut kerf taper versus laser power

2.3 辅助气体对切缝宽度的影响

接着研究以不同的辅助气体沿着不同方向切割时的上、下切缝宽度。试验条件为:激光功率 500W,切割速度 0.6m/min 辅助气体分别为空气和 N₂,其余条件同上,如图 7 所示。激光功率 500W、切割速度

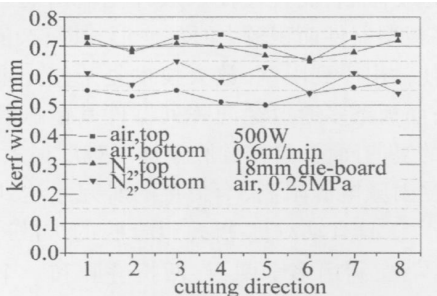


Fig 7 Effects on linear polarized laser cutting kerf width by assisted gas

0.6m/min 切割时的情况上面已经分析过,而辅助气体为 N₂ 时,上切缝宽度的变化规律和空气时是一样的,且两者之间相差不大,所以上切缝宽度与辅助气体的种类关系不大;而下切缝宽度要稍微大些,但差值不是很大;上、下切缝宽度受到激光偏振性的影响很小。因此,从经济的角度考虑,应该选择空气作为辅助气体。

2.4 比较线偏振激光切割金属

比较线偏振光切割低碳钢的情况,得到的切缝宽度如图 8 所示。从图中可以看出,沿 2、6 方向切割时,上切缝宽度最小,下切缝宽度最大,呈上窄下宽;沿 4、8 方向切割时,上切缝宽度最大,下切缝最小,呈上宽下窄;沿 1、3、5、7 方向切割时,相差不是很大。从而可以看出金属材料切割时,切缝宽度受到偏振方向的影响很大。

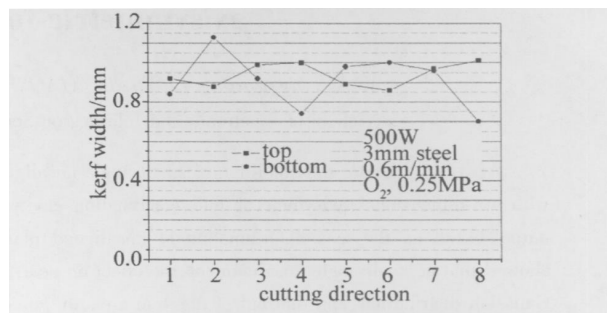


Fig 8 Cut kerf width of steel by linear polarized laser

3 结论

(1)激光沿着 8 个不同方向切割模切板,发现沿 2、6 方向切割时,切缝宽度最小;沿 4、8 方向切割时,切缝宽度最大;沿 1、3、5、7 方向切割时,切缝宽度之间相差不是很大,这表明切缝宽度受到了激光偏振性的影响,与理论分析是一致的。但是改变激光参量组合,即改变激光功率和切割速度,对模切板进行切割,发现沿着不同方向切割的上、下切缝之间的差值很小,也就是对偏振性不敏感。而对金属切割时,不同方向之间切缝宽度差别很大,也就是偏振性对金属材料影响很大。

(2)同一激光功率下,随着切割速度的增加,上切缝宽度基本不变,下切缝宽度变得越来越小;同一切割速度下,随着激光功率的增加,上切缝宽度基本不变,下切缝宽度变得越来越大;辅助气体 N₂ 和空气对上下切缝的影响不大,应优先选择空气;为得到上下均匀一致的切缝,同一激光功率下,切割速度应小些;同一切割速度下,激光功率应大些。

参考文献

[1] CAO H, SONG L K, PENG H D, et al The study of the relationship between polarized light's incident azimuth and intermediary reflectance [J]. Laser Technology, 2005, 29(1): 1042105(in Chinese).

3 小 结

将单根光纤激光器的输出光束进行合成,目的在于获得高功率、高光束质量的光束。基于 MOPA 结构的相干合成和谱合成是两种良好的实现方案。从光纤激光器的基本要求、关键技术、可扩展性、光束质量、系统稳定性和光束控制等 6 个方面对基于 MOPA 结构的相干合成方案和谱合成方案进行了比较分析。两种方案均有各自的优缺点,如基于 MOPA 结构的相干合成方案在理论上可以无限制扩展,获得高功率激光输出,但合成光束数目的增多也会带来光束质量的下降;而谱合成方案由于多路光束同轴输出,保持了光纤激光固有的单模特性,可获得高光束质量,但受限于衍射光栅的性能,这种方案不可能无限制扩展,这也限制了谱合成方案的输出功率。对于不同的应用场合,还需要在高功率和高光束质量中选择较好的平衡点。

参 考 文 献

- [1] GALVANAUSKAS A High power fiber lasers [J]. Optics & Photonics News 2004 15(7): 42247
- [2] XIAO R, HOU J, JIANG Z F. Coherent combining of fiber lasers [J]. Laser Technology 2005, 29(5): 5162520(in Chinese).
- [3] FAN T Y. Laser beam combining for high power high radiance sources [J]. IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics 2005 11(3): 5672577
- [4] HE B, LOU Q H, ZHOU J et al Coherent beam combination of fiber lasers [J]. Laser and Optoelectronics Progress 2006(9): 47254(in Chinese).
- [5] WICKHAM M. Coherently coupled high power fiber arrays [EB/OL]. [2007204201]. <http://www.stanford.edu/group/SPRC/Report/An2nMtg.pdf>
- [6] LIU A P, MEAD R, VATTER T, et al Spectral beam combining of high power fiber lasers [J]. Proc SPIE, 2004 5335: 81288.
- [7] ANDEREGG J, BROSNAN S, CHEUNG E, et al Coherently coupled high power fiber arrays [J]. Proc SPIE, 2006 6102: 61020U22 61020U25
- [8] LOFTUS T H, LIU A P, HOFFMAN P K, et al 258W of spectrally beam combined power with near diffraction limited beam quality [J]. Proc SPIE, 2006, 6102: 61020S21261020S28.
- [9] BROWN A Spectrally beam combined lasers for high brightness high power applications [EB/OL]. [2007204201]. <http://www.downdbreaker.com/virtua2004>.
- [10] FAN T Y, SANCHEZ A Coherent (phased array) and wavelength (spectral) beam combining compared [J]. Proc SPIE, 2005 5709: 1572164.
- [11] LOWENTHAL D. Spectral vs coherent beam combining how do they compare? [EB/OL]. [2007204201]. http://www.nasatech.com/Briefs/Jan06/5654_200.html
- [12] AUGST S J, FAN T Y, SANCHEZ A. Coherent beam combining and phase noise measurements of ytterbium fiber amplifiers [J]. Opt Lett 2004, 29(5): 4742476.
- [13] NABORS C D. Effect of phase errors on coherent emitter arrays [J]. Appl Opt 1994, 33(12): 228422289
- [14] McMANAMON P F, WILLIAM T E. New technologies and architectures for laser systems)) revolutionary beam control [J]. Proc SPIE, 2004 5413: 1214.
- [15] McMANAMON P F. Agile nonmechanical beam steering [J]. Optics & Photonics News 2006 17(3): 24229.
- [16] RÊSER F, KLINGEBEL S, LEM A, et al Spectral beam combining of fiber lasers [J]. Proc SPIE, 2006 6102: 61020T21261020T26
- [17] SPRANGLE P, PENANO J, HAFIZI B, et al Incoherent combining of high power fiber lasers for long range directed energy applications [EB/OL]. [2007204201]. <http://www.stormed.us/25/2542/A25425.html>
- [18] SIEGMAN A E. How to (maybe) measure laser beam quality [EB/OL]. [2007204201]. <http://www.stanford.edu/~siegman/index.html>
- [19] POLLSHUK A, ARNON S. Communication performance analysis of microsatellites using an optical phased array antenna [J]. Opt Eng 2003 42(7): 201522024
- [20] AUGST S J, GOYAL A K, AGGARWAL R L, et al Wavelength beam combining of ytterbium fiber lasers [J]. Opt Lett 2003 28(5): 3312 333.
- [21] KLINGEBEL S, RÊSER F, BBULEND O, et al Spectral beam combining of Yb doped fiber lasers with high efficiency [J]. JOSA, 2007, B24(8): 171621720
- [2] WALLACE R J, BASS M, COPLEY S M. Curvature of laser machined grooves in Si₃N₄ [J]. JAP, 1986 59(15): 35523560.
- [3] OLSEN F O. Cutting with polarized laser beams [J]. DVS Berichte, 1980, 63: 1972200
- [4] van HALEWYN H J The industrial laser handbook [M]. New York: Springer Verlag 1992 1082112
- [5] SCHRENER MOHR U, DAUSINGER F, HUBER GELH. New aspects of cutting with CO₂ lasers [C] // ICALCO. 91 San Jos: Laser Institute of America 1991: 2632271
- [6] NIZIEV V G, NESTEROV A V. Influence of beam polarization on laser cutting efficiency [J]. Journal of Physics 1999 31(13): 14552 1461.
- [7] TREYZ G V, BEACH R, OSGOOD R M, Jr Rapid direct writing of high aspect ratio trenches in silicon [J]. APL, 1987, 50(8): 4752 477.
- [8] BONSE J, RUDOLPH P, KRUGER J et al Femtosecond pulse laser processing of TN on silicon [J]. Applied Surface Science 2000 (154): 6592663
- [9] BONSE J, GEUSSM, BAUDACH S et al The precision of the femtosecond pulse laser ablation of TN films on silicon [J]. Appl Phys 1999, A69(7): S3992S402
- [10] TËNSHOFF H K, OSTENDORF A, WAGNER T. Structuring silicon with femtosecond lasers [J]. SPIE, 2001, 4274: 88297

(上接第 401 页)