

文章编号: 1001-3806(2006)06-0625-03

## 提高准分子激光打孔质量的方法研究

郭商勇, 陈 涛, 刘世炳\*

(北京工业大学 激光工程研究院, 北京 100022)

摘要: 为了提高准分子激光打孔质量, 分析了影响现行加工系统打孔质量的因素, 在此基础上提出利用钻孔法改进打孔效果的解决方案。根据此方案设计了加工光路, 进行了微孔加工实验。实验结果表明, 采用 248nm 准分子激光加工有机材料聚甲基丙烯酸甲酯, 微孔形状规则, 孔径锥度可减小至 0.05。该加工系统和方法提高了微孔加工的速度和质量, 在微加工领域具有很好的实际应用价值。

关键词: 激光技术; 激光钻孔; 准分子激光; 掩模; 打孔质量

中图分类号: TG665 文献标识码: A

### Study on a method of improving the quality of excimer laser drilling

GUO Shang-yong, CHEN Tao, LIU Shi-bing

(College of Laser Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)

**Abstract** To improve the quality of excimer laser drilling, the factors affecting the drilling quality with excimer laser system are analyzed. Based on the analysis, a new method for micro-drilling is put forward and an optical system is designed. The experimental result shows that when the excimer laser with wavelength of 248nm drill on the polymethylmethacrylate with this system, the figure of the micro-hole is regular and the quality of the holes is improved. The system improves the speed and the quality of micro-drilling and is feasible in industrial areas.

**Key words** laser technique; drilling with laser; excimer laser; aperture mask; drilling quality

### 引 言

准分子激光在微加工领域有其特有的加工优势<sup>[1]</sup>, 主要表现在: (1) 波长短, 能量密度高。波长短, 可以进行高精度微加工, 甚至可达到微米级精度的加工<sup>[2]</sup>。光子能量高的特点使得准分子激光加工过程中一般以光分解机制作用为主, 减少了热效应对材料加工造成的不良影响<sup>[3]</sup>。(2) 所处光波段适于材料吸收。对于很多材料比如有机材料来说, 对紫外波段的吸收要比 CO<sub>2</sub> 和 YAG 激光强得多, 从而很容易实现对材料的加工<sup>[4, 5]</sup>。

目前的加工系统大多采用掩模来截取一定大小的光斑<sup>[6]</sup>, 截取的光斑经过透镜整形系统, 投影在加工件上, 加工过程中加工件静止不动, 这种加工方法称为冲孔法<sup>[7, 8]</sup>。冲孔法有其可行性和优越性, 但是也有其自身难以克服的缺点: 加工速度慢, 孔的锥度较大,

同时孔的深度和孔径都受到限制<sup>[9]</sup>。本实验主要介绍了一种提高准分子激光打孔质量的方法。采用掩模钻孔的方法对聚甲基丙烯酸甲酯 (polymethylmethacrylate, PMMA) 材料进行打孔实验, 并根据实验结果分析了打孔质量: (1) 打孔质量。这是微孔加工中最重要的问题。由于微孔孔径比较小, 微孔的质量显得尤为重要。通过专业测量工具对孔的相关数据进行了测量, 并计算出相关参数。(2) 钻孔法实验参数。通过一组实验, 总结出钻孔加工中加工速率和脉冲数及能量的关系。

### 1 准分子激光钻孔实验装置

#### 1.1 准分子激光主要光束参数

激光器选用 Fik 准分子激光器, 型号为 Lambda Physik Lpx305 F, 其参数见表 1。

Table 1 Parameters of excimer laser

wavelength	$\lambda = 248\text{nm}$	average power	$P = 60\text{W}$
maximum pulse energy	$W = 1200\text{mJ}$	pulse width	$t = 30\text{ns}$
maximum frequency	$f = 50\text{Hz}$	beam width	$W_x = 35.5\text{mm},$ $W_y = 16.5\text{mm}$
angle of divergence	$\theta_x = 12.0\text{mrad},$	$\theta_y = 3.3\text{mrad}$	

#### 1.2 掩模冲孔加工方法原理分析

掩模冲孔加工方法示意图见图 1。在这种加工方

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目 (50335050, 北京市自然科学基金重点资助项目 (3031001); 北京市教育委员会科技发展计划基金资助项目 (Km 200310005016)

作者简介: 郭商勇 (1976-), 男, 硕士研究生, 主要从事光学设计及准分子激光加工方面的学习和研究。

\* 通讯联系人。E-mail: sbli@bjut.edu.cn

收稿日期: 2005-10-24 收到修改稿日期: 2006-02-27

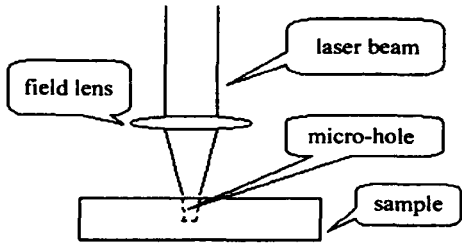


Fig 1 Sketch map of laser drilling when the sample is immovable

法下,随着微孔深度的增加,孔壁对光能量的反射和吸收量增加,同时还有飞溅物对光的吸收和散射,使光束在加工孔边缘上的能量大大减少,造成微孔的锥度的存在,同时也使微孔的深宽比受到限制<sup>[10]</sup>。

### 1.3 掩模钻孔法实验装置系统

为了改进准分子激光的打孔质量,首先就是要改善冲孔法加工中存在的锥度较大的问题。通过对冲孔法的分析可知,由于孔壁对能量的消耗而形成了孔的锥度,如果能增加分布在孔径边缘的能量,就可以解决这个问题。实验中采用了扇形掩模,让加工台围绕扇形顶点旋转,即钻孔法加工。采用扇形掩模:(1)便于调节,加工点定位时,可以根据扇形掩模投影的顶点找到合适的位置;(2)扇形掩模每个脉冲只加工圆孔的一部分,可以减少飞溅物、热效应等对加工部位的影响,从而提高加工质量。为了研究最佳的加工效果,设计了角度为 30°, 60°, 90°的扇形掩模,示意图见图 2。

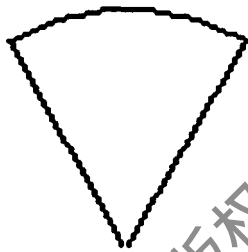


Fig 2 Aperture mask

由于本光路中需要采用掩模及高精密的工作台,光路需经过调整,如图 3所示。这里所用的掩模是根

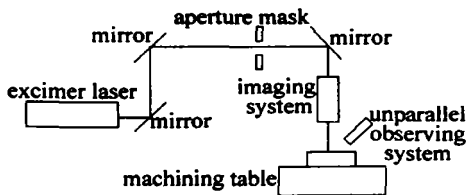


Fig 3 Experimental set-up for excimer laser drilling

据需要设计的扇形掩模,工作台与步进电机相连,由计算机控制,可进行前后、左右、上下及转动多维调节。本实验加工台步长精度 10μm。工作台移动速度可在

Table 2 Processing parameters corresponding to different aperture mask

aperture mask with angle 90°			aperture mask with angle 60°			aperture mask with angle 30°		
frequency	rotational speed	process time	frequency	rotational speed	process time	frequency	rotational speed	process time
3Hz	3r/min	8min	3Hz	3r/min	10min	3Hz	3r/min	15min

1mm/m in~ 60mm /m in的范围内调节。为了提高加工的精确,工作台辅以 CCD 取景,由显示器输出进行旁轴观察,以便随时调整加工台的位置。

## 2 实验结果及分析

利用掩模成像方法,找到掩模最佳像面位置是提高加工效果的关键。精确的微孔加工要求在加工面上对掩模成清晰的像,加工面能量分布均匀。最佳像面位置可通过调节加工台的高度、光路系统中反射镜的角度等来得到。如图 4所示。



Fig 4 Result of one shot when the sample at the image surface of aperture mask

加工台转动中心的确定对加工的精确度至关重要。系统中掩模是不动的,也就是激光的绝对加工点是不改变的,钻孔时完全依靠加工台的转动来完成工作,所以根据要求调节加工件位置,寻找加工台的转动中心位置,是加工出理想效果的关键。通过与 CCD 相机相连的显示器观察加工件位置,配合移动加工台,则可以找到加工点位置。加工点在工作台上的位置由加工需要来确定。适当调整加工点的位置,可以加工出不同大小的圆孔。例如在实验中,同一个掩模相对于工作台转动中心不同位置时可以加工出不同的孔径。如图 5所示。

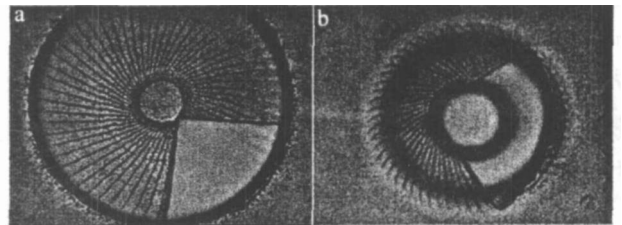


Fig 5 a- result when working point outside the center of rotation b- result when working point inside the center of rotation

在调节好的加工点进行加工,通过改变加工系统的参数达到最佳的钻孔效果。本实验所用基材为 PMMA,大小 3mm × 2.5mm × 2mm。激光脉冲能量 W = 750mJ。所有实验都在空气中进行。分别对具有 90°, 60°, 30°锥角的扇形掩模做了打孔实验,最后得到各加工参数,见表 2。

利用测量软件对各掩模所加工出的孔径进行测量, 得到数据见表 3。

Table 3 Datasheet of the holes

hole processed with aperture mask of angle $60^\circ$			hole processed with aperture mask of angle $90^\circ$		
diameter of upper surface of the hole	diameter of subjacent surface of the hole	taper ratio	diameter of upper surface of the hole	diameter of subjacent surface of the hole	taper ratio
989 $\mu\text{m}$	755 $\mu\text{m}$	0.117	1090 $\mu\text{m}$	980 $\mu\text{m}$	0.055

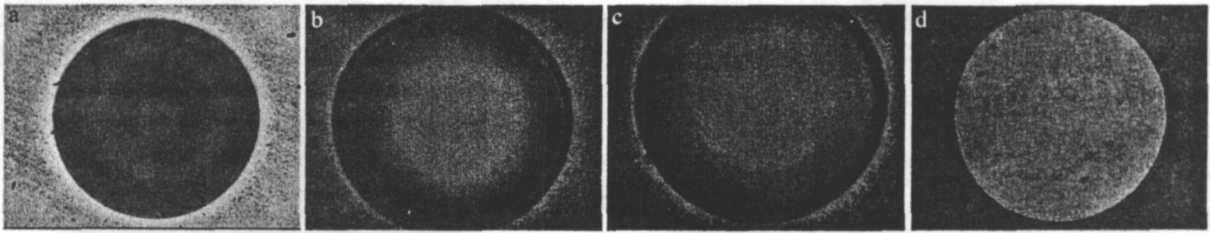


Fig 6 a— process result with the aperture mask of angle  $30^\circ$  b— process result with the aperture mask of angle  $60^\circ$  c— the upper surface of the sample processed of angle  $90^\circ$  d— the subjacent surface of the sample processed of angle  $90^\circ$

由图 6 及表 3 中给出的 3 种掩模加工的圆孔的图形和数据可以看出, 加工效果理想, 圆孔边缘清晰, 圆度规则。所列各图在相同的放大倍数下的显微镜图片, 可以看出随着掩模角度的增大, 加工出的孔的尺寸也略有变大, 这是由于随着掩模透过光束面积的增大, 用于加工的光强增大的缘故。加工光强的增加, 使孔壁对光能量的损耗影响减小, 从而减小了孔的锥度。经过测量证明, 扇形掩模角度越大, 孔的锥度就越小。90 掩模的锥度可达到 0.055。在该加工系统下, 由不同大小的掩模, 再配合加工点在加工台上的不同位置, 则可以得到不同大小要求的圆孔。

### 3 结 论

准分子激光作为深紫外的光源, 在微加工领域有其特有的优势。但是现有的加工手段受到准分子激光束质量的限制, 而没有达到理想的加工效果。采用扇形掩模钻孔法实验加工, 可以看到: (1) 利用扇形掩模钻孔法加工出的微孔效果, 比直接掩模打孔有了很大的提高。微孔锥度减小, 形状规则。(2) 要得到理想的微孔, 是由多个方面决定的。掩模的制作, 成像系统的放缩比, 以及工作台的灵敏度, 当多个因素达到最佳优化时, 就可以得到理想的加工效果。(3) 加工过程中的热效应和飞溅物对加工质量有一定的影响, 应

设法减小和消除这些负效应。

### 参 考 文 献

- [1] BOOTH H J. Recent applications of pulsed lasers in advanced materials processing [J]. *Thin Solid Films*, 2004, 453~454: 450~457.
- [2] YE Zh H, DONG J X, WEI Y R *et al*. Beam profile diagnosis technology for excimer laser [J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2004, 16(5): 619~622 (in Chinese).
- [3] LAZARE S, LOPEZ J, WEISBUCH F. High-aspect-ratio micro-drilling in polymeric materials with intense KrF laser radiation [J]. *Appl Phys*, 1999, A69(S1): 1~6.
- [4] MA F J, TIAN Y W, HE F *et al*. Ultra-short pulse laser induced damage in transparent materials [J]. *Laser Technology*, 2005, 29(5): 507~510 (in Chinese).
- [5] DANEV G, SPASSOVA E, ASSA J. Excimer laser structuring of bulk polyimide material [J]. *Applied Surface Science*, 2000, 168(15): 162~165.
- [6] van STEENBERGE G, GEERNCK P, van PUT S. MT-compatible laser-ablated interconnections for optical printed circuit boards [J]. *IEEE Journal of Lightwave Technology*, 2004, 22(9): 2083~2090.
- [7] GAN E K W, ZHENG H Y, LIM G C. Laser drilling of microvias in PCB substrates [R]. Piscataway NJ: IEEE, 2000. 321~326.
- [8] SPEIDELL J L. Mask technology for excimer laser projection ablation [J]. *SPE*, 1997, 3236: 531~543.
- [9] WEIR X. Relationship between etching identities and laser pulse parameters in excimer laser direct etching fabrication [J]. *Laser Technology*, 2004, 28(1): 85~87 (in Chinese).
- [10] JIANG Ch W, WANG Y Q. Experimental investigation of processing optical glass K9 with KrF excimer laser [J]. *Electron Machining & Mould*, 2003(2): 33~35 (in Chinese).