

文章编号: 0258-7025(2007)05-0733-04

心血管支架的光纤激光切割工艺

蒙红云, 廖健宏, 官邦贵, 张庆茂, 周永恒

(华南师范大学光子信息技术广东省高等学校重点实验室, 广东 广州 510631)

摘要 心血管支架植入手术是目前治疗心血管疾病的首选方案之一。采用光纤激光精密切割系统,研究了激光输出功率、切割速度、重复频率、脉冲宽度、辅助气体及气压等参数对心血管支架切割质量的影响。通过实验和分析,获得了最佳切割工艺参数:输出功率为7 W,脉冲宽度为0.15 ms,重复频率为1500 Hz,扫描速度为8 mm/s,辅助气压为0.3 MPa。采用该工艺参数,切割出了高质量的心血管支架。

关键词 激光技术;激光切割;加工工艺;心血管支架

中图分类号 TN 249;TG 485 **文献标识码** A

Fiber Laser Cutting Technology on Coronary Artery Stent

MENG Hong-yun, LIAO Jian-hong,

GUAN Bang-gui, ZHANG Qing-mao, ZHOU Yong-heng

(Laboratory of Photonic Information Technology, South China Normal University, Guangzhou, Guangdong 510631, China)

Abstract Coronary artery stent is an important mechanical device designed to open arteries that have been occluded. In this paper, the processing techniques including output power, frequency, cutting speed, pulse width and assistant air pressure, which influence the quality of the coronary artery stent, have been studied with the fiber laser precision cutting system. The best processing techniques have been gained with the analysis and experiments. The high quality coronary artery stents have been cut with the output power of 7 W, pulse length of 0.15 ms, repeat frequency of 1500 Hz, scanning speed of 8 mm/s and oxygen gas pressure of 0.3 MPa.

Key words laser technique; laser cutting; processing techniques; coronary artery stent

1 引言

经皮冠脉腔内成形术(Percutaneous Transluminal Coronary Angioplasty, PTCA)是利用一组末端可以膨胀的气球导管,经周边动脉进入主动脉,再进入冠状动脉的狭窄或阻塞部位,最后把末端导管气球膨胀起来,撑开狭窄的部位,具有不用开胸、成功率高、创伤小、无需全身麻醉、恢复快、方便快捷和易重复进行等优点。该手术技术简单且费用较冠状动脉绕道手术低,病人易接受,逐渐为医学界所采用,近年来在冠心病治疗方面发展迅速。但大量的临床结果表明,经皮冠脉腔内成形术后再狭窄率较高,特别是术后3~6个月内再狭窄率高达30%~50%。心血管支架植入手术就是解决术后再狭窄的一个有

效途径,其方法是在经皮冠脉腔内成形术手术时植入具有扩张性能的心血管支架。支架由球囊撑开后留在动脉管内承受血管壁回弹压力,保证血液正常流通^[1~3]。

目前,实用化的心血管支架大部分是316L不锈钢支架,其形状加工一般采用Nd:YAG激光器。这种激光器的缺点是光束质量差、热影响区大、转换效率低、稳定性差等,影响了切割质量,难以获得高质量的支架^[4~6]。近年高功率光纤激光器得到了非常迅速的发展^[7~9],光束质量好(基模输出)、转换效率高、寿命长、稳定性好,在激光技术领域有非常好的应用前景^[10]。与Nd:YAG激光器相比,光纤激光器更适合作为支架精密加工的光源^[11]。本文利

收稿日期:2006-10-08;收到修改稿日期:2006-12-25

基金项目:广东省科技计划项目(2004B10201002)和广州市科技计划项目(2005Z3-D0241)资助课题。

作者简介:蒙红云(1973—),男,江西人,副研究员,主要从事激光及其应用研究、工业激光设备的开发。

E-mail:hymeng@scnu.edu.cn

用光纤激光精密加工系统,研究了输出功率、重复频率、脉冲宽度、切割速度、辅助气体及气压等参数对心血管支架切割质量的影响,获得了最佳工艺参数,切割出了高质量的心血管支架。

2 实验方法与设备

心血管支架是一种具有相当的径向强度和足够的纵向柔软性的金属网状管型结构。通常是采用壁厚大约为0.1 mm,直径为1~3 mm的特制不锈钢管或合金管,通过激光加工技术将这些管子雕刻、切割成周期性变化的精细网状结构。实验采用316L不锈钢细管,壁厚为0.12 mm,直径为2 mm,心血管支架结构如图1所示。

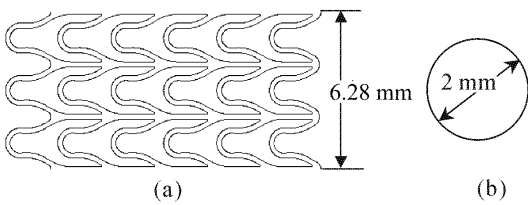


图1 316L 不锈钢心血管支架平面图
(a) $x-z$ 平面; (b) $y-z$ 平面

Fig.1 Ichnography of 316L stainless steel coronary artery stent

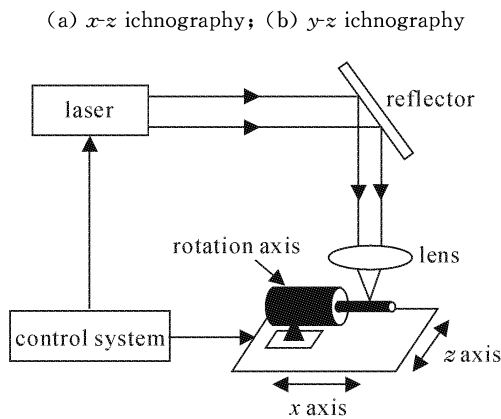


图2 激光切割系统示意图

Fig.2 Experimental setup of the laser cutting system

切割设备采用自行开发的光纤激光精密加工系统,其中切割光源采用IPG公司50 W光纤激光器,波长为 $1.06 \mu\text{m}$,脉冲宽度在0.1~0.5 ms内连续可调,重复频率在0~3000 Hz内连续可调,复合聚焦透镜焦距为30 mm,测得聚焦光斑为 $12 \mu\text{m}$ 。切割系统如图2所示。由光纤激光器产生一定功率和能量的脉冲激光,通过传输、聚焦等光学系统垂直入射到加工工件表面,由工控机控制工作台的移动实现工件的切割。其中工作台由水平移动轴 x 轴和 z 轴、

转动轴 y 轴组成,当进行心血管支架的切割时,由 x 轴的平移和 y 轴的转动来完成工件相对光束的移动。

3 结果与讨论

3.1 切缝宽度随离焦距的变化

图3(a)表示了离焦距对切缝宽度的影响,输出功率为7 W,重复频率为1500 Hz,脉冲宽度为0.15 ms,扫描速度为8 mm/s,辅助气体氧压0.3 MPa。可以看出,离焦点越近,切缝宽度越小,零焦距时切缝最小;随着离焦距的增加,照射在工件表面的光斑直径增大,切缝缝宽也增大。当离焦距超过一定值时,出现不能完全切割的现象。另外,切缝粗糙度也随着离焦距的增加而增大,离焦距为零时,

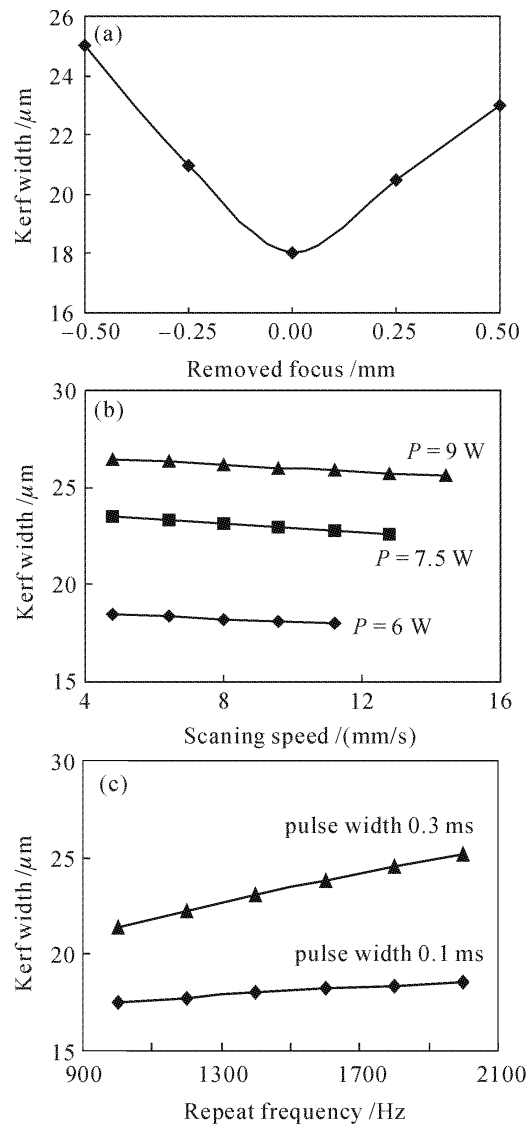


图3 切缝宽度随离焦距(a),输出功率及切割速度(b)和脉冲宽度及重复频率(c)的变化

Fig.3 Kerf width versus removed focus (a), output power and scanning speed (b), pulse width and repeat frequency (c)

缝面粗糙度最小。

3.2 切缝宽度随输出功率及切割速度的变化

图 3(b)表示了不同输出功率下,切缝宽度随切割速度的变化规律。重复频率为1500 Hz,脉冲宽度为0.15 ms,辅助氧压为0.3 MPa。可以看出,随着激光输出功率的提高,切缝宽度明显加大。这是因为随着激光输出功率的提高,在相同的切割速度下,单位时间内熔融的物质更多,因此切缝宽度增大。切缝宽度随切割速度的增大而减小,由于随着切割速度的提高,激光束与加工试样交互作用时间变短,实际输入的激光能量减少,热传导和扩散效应变小,因而切缝宽度减小。同时,输出功率一定时,激光切割存在一个极限速度,当切割速度大于这个极限值时,脉冲激光切割成为激光打孔,即出现不能连续切割的现象。极限速度随输出功率的增大而增大。

此外实验中还发现切缝粗糙度随着切割速度的提高而增大,随着激光输出功率的增加而减少。这主要是功率较低或者切割速度太大时,工件熔融的程度不够,熔融物不能完全吹除所致。

3.3 切缝宽度随重复频率及脉冲宽度的变化

图 3(c)表示了不同脉冲宽度下,切缝宽度随重复频率的变化规律。输出功率为7 W,扫描速度为8 mm/s,辅助氧压为0.3 MPa。

可以看出,切缝宽度随脉冲宽度和重复频率的增大而增大。这是因为随着激光脉冲宽度的增加,激光束与不锈钢细管的热作用时间延长,导致切缝宽度增大。同样,提高重复频率时,单位时间作用在不锈钢细管上的脉冲数增多,热积累效应显著。因而,可以熔化更多的材料,使切缝宽度增大。此外实验中发现切缝粗糙度随重复频率和脉冲宽度的增加而减小。这是因为在一定的切割速度下,随着重复频率的提高,相邻脉冲之间的重叠度逐渐减小;同时当脉冲宽度增加时,由于热积累效应,激光切缝宽度增大,缝面粗糙度减小。

3.4 辅助气体及气压对切割质量的影响

图 4 为分别采用氧气和氮气作为辅助气体的切割效果对比图。输出功率为7.5 W,脉冲宽度为0.15 ms,重复频率为1500 Hz,扫描速度为8 mm/s。可以看出,压强0.5 MPa时,相比氧气切割,氮气切割时,切缝宽度更小,切缝缝面更光滑,切口表面无残渣,无烧边现象。利用氧气作为辅助气体时,由于氧气的助燃作用,铁燃烧放出大量的热量,导致切缝宽度增大,切缝粗糙度增大,氧化严重。以一定速度切割时,如果氧气压力太小,由于激光能量与燃烧能

量之和不足以熔融金属,将出现不能完全切割的现象。当氧气压力达到一定值时,切缝将随氧气压力的增大而增大,氧化也变得严重。

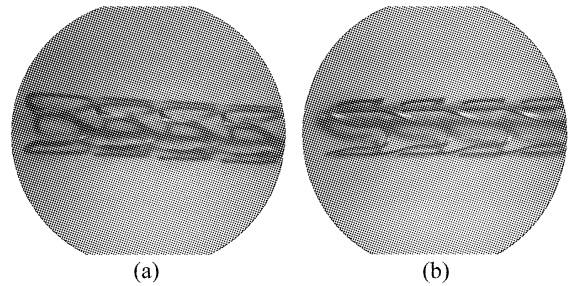


图 4 采用氧气(a)和氮气(b)作为辅助气体的切割效果对比

Fig. 4 Cutting experiments with oxygen (a) and hydronitrogen (b) as the assistant gas

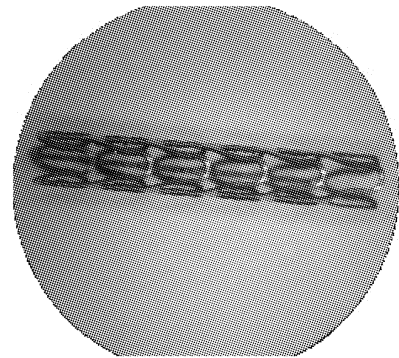


图 5 采用最佳工艺参数切割的心血管支架
Fig. 5 Coronary artery stent cut with the best cutting techniques

经过大量实验,切割出了如图 5 所示的高质量心血管支架,其切缝宽度不到20 μm ,骨架宽度为100 μm ,毛刺少,光滑,粗糙度低。切割工艺参数:输出功率为7 W,脉冲宽度为0.15 ms,重复频率为1500 Hz,扫描速度为8 mm/s,辅助氧压为0.3 MPa。

4 结 论

心血管支架是一类精密医疗器械,其切割精度要求非常高,切割质量的好坏甚至会影响到病人的生命安全。输出功率、脉冲宽度、重复频率、切割速度以及辅助气体及气压等参数都将直接影响切割质量。采用光纤激光精密切割系统,通过对切割质量影响的研究,获得了心血管支架光纤激光切割的最佳工艺参数,切割出了高质量心血管支架。

参 考 文 献

- 1 Wu Yongjian, Song Guangyuan, Yang Yuejin. Drug-eluting

stent in percutaneous coronary intervention (PCI) [J]. *China Medical Device Information*, 2005, **11**(2):45~46

吴永健,宋光远,杨跃进. 冠心病介入治疗中的药物支架(一) [J]. *中国医疗器械信息*, 2005, **11**(2):45~46

2 Wu Yongjian, Song Guangyuan, Yang Yuejin. Drug-eluting stent in percutaneous coronary intervention (PCI) (2) [J]. *China Medical Device Information*, 2005, **11**(3):28~29

吴永健,宋光远,杨跃进. 冠心病介入治疗中的药物支架(二) [J]. *中国医疗器械信息*, 2005, **11**(3):28~29

3 Liu Lanxia, Leng Xigang, Song Cunxian. Recent advances in drug-eluting stent [J]. *Biomedical Engineering Foreign Medical Sciences*, 2005, **28**(3):168~171

刘兰霞,冷希岗,宋存先. 药物涂层支架的研究进展[J]. *国外医学生物医学工程分册*, 2005, **28**(3):168~171

4 Zhou Yongheng, Liao Jianhong, Meng Hongyun. Laser micro-fabrication of endovascular stent [J]. *Applied Laser*, 2005, **25**(3):161~164

周永恒,廖健宏,蒙红云. 血管内支架的激光精细切割技术[J]. *应用激光*, 2005, **25**(3):161~164

5 C. Gachon, P. Delassus, P. Mc Hugh. Accuracy of laser-cutting and its influence on the mechanical behaviour of stents [C]. *SPIE*, 2003, **4876**:574~581

6 Y. P. Kathuria. An overview on laser microfabrication of biocompatible metallic stent for medical therapy [C]. *SPIE*, 2004, **5399**:234~244

7 Zhou Jun, Lou Qihong, Zhu Qianqiang *et al.*. A continuous-

wave 714 W fiber laser with China-made large-mode-area double-clad fiber [J]. *Acta Optica Sinica*, 2006, **26**(7):1119~1120

周 军,楼祺洪,朱健强 等. 采用国产大模场面积双包层光纤的 714 W 连续光纤激光器[J]. *光学学报*, 2006, **26**(7):1119~1120

8 Ou Pan, Yan Ping, Wei Wenlou *et al.*. Side-pumped Yb-doped double-clad fiber laser [J]. *Acta Optica Sinica*, 2004, **24**(9):1240~1244

欧 攀,闫平,韦文楼 等. 侧面抽运的掺 Yb 双包层光纤激光器 [J]. *光学学报*, 2004, **24**(9):1240~1244

9 Wei Wenlou, Ou Pan, Yan Pin *et al.*. Experimental study of 30 W CW fiber laser by two-end pumping [J]. *Chinese J. Lasers*, 2005, **32**(1):5~8

韦文楼,欧 攀,闫 平等. 双端抽运的 30 W 光纤激光器实验研究[J]. *中国激光*, 2005, **32**(1):5~8


10 Liu Songhao. New development of fiber laser [J]. *Optoelectronic Technology & Information*, 2003, **16**(1):1~8

刘颂豪. 光纤激光器的新进展[J]. *光电子技术与信息*, 2003, **16**(1):1~8

11 Meng Hongyun, Liao Jianhong, Liu Songhao. Yb-doped double-clad fiber laser and its application in laser processing [J]. *Laser & Optoelectronics Process*, 2004, **41**(10):55~58

蒙红云,廖健宏,刘颂豪. 掺镱双包层光纤激光器及其在激光加工中的应用[J]. *激光与光电子学进展*, 2004, **41**(10):55~58

· 广 告 ·



康奥(中国)医疗公司诚聘

康奥公司于 1996 年在中国上海注册,是集激光医疗产品、医用耗材的科研投入、产品开发、产品销售、医疗投资于一体的现代化企业集团。公司总部位于上海,下设北京、广州、成都办事处。
 为了满足公司业务迅速扩展的需要,高薪诚邀有理想,有激情的医疗行业精英加盟,共创美好事业。

<p style="text-align: center; background-color: black; color: white; margin: 0;">高级半导体全固态高功率激光研发工程师(工作地点:闵行)</p> <p>主要职责:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 全固体高功率半导体激光器、光学部分的研究; 2) 元器件部件的造型和采购; 3) 对生产、市场等相关部门提供技术支持; 4) 研究国内外产品的相关电气标准和法规制定产品的相关标准。 <p>任职要求:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 激光/光电子专业本科以上; 2) 熟悉激光器工作原理和技术,能够熟练调节激光器及其光路; 3) 有 3 年以上的半导体泵浦固体高功率激光研发经验; 4) 有医疗激光背景者优先; 5) 能熟练使用英语,有较强的沟通能力; 6) 有较强的独立工作能力和团队协作精神。 	<p style="text-align: center; background-color: black; color: white; margin: 0;">飞秒激光高级研发工程师(工作地点:闵行)</p> <p>主要职责:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 飞秒激光器的研发; 2) 元器件部件的造型和采购; 3) 对生产、市场等相关部门提供技术支持; 4) 研究国内外产品的相关电气标准和法规制定产品的相关标准。 <p>任职要求:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 激光/光电子专业本科以上; 2) 熟悉激光器工作原理和技术,能够熟练调节激光器及其光路; 3) 有 3 年以上的半导体泵浦固体高功率激光研发经验; 4) 了解飞秒激光的应用,有医疗激光背景者优先; 5) 能熟练使用英语,有较强的沟通能力; 6) 有较强的独立工作能力和团队协作精神。
--	---

一经录用后,公司将提供具竞争力的薪酬政策、员工福利及优越的事业发展机会。请将个人简历、照片、身份证和相关证明复印件邮寄至如下地址:上海市延安东路 700 号港泰广场 2507-2509 室,人力资源部收,邮编:200001 (邮寄请在信封左下角注明应聘职位)。E-mail: doreen@shanghai-conbio.com