

文章编号: 0258-7025(2007)06-0876-05

激光快速成形技术制作纯钛基底冠

韩彦峰¹, 高 勃¹, 胡 江¹, 谭 华², 吴 江¹

(¹ 第四军医大学口腔医院修复科, 陕西 西安 710032; ² 西北工业大学凝固技术国家重点实验室, 陕西 西安 710072)

摘要 为了探索应用激光快速成形(LRF)技术制作纯钛基底冠的可行性,通过激光扫描测量模拟了基牙的铝合金代型并三维重建其数字化外形,采用计算机辅助设计了基底冠。通过正交实验优化基底冠加工参数,将基底冠数据与加工参数导入快速成形系统加工 10 个纯钛基底冠。将完成的纯钛基底冠在铝合金代型上就位粘接,进行边缘适合性检测,评估加工精度。得到激光快速成形技术可以进行纯钛基底冠的加工,边缘适合性检测结果表明 10 个基底冠的各点间隙大小与临床 120 μm 可接受的标准相比,均显著小于 120 μm 。

关键词 激光技术;激光快速成形;纯钛基底冠;精度

中图分类号 TN 249;R 783.6 **文献标识码** A

Titanium Coping Fabricated with Laser Rapid Forming

HAN Yan-feng¹, GAO Bo¹, HU Jiang¹, TAN Hua², WU Jiang¹

¹Department of Prosthodontics, College of Dentistry,
The Fourth Military Medical University, Xi'an, Shaanxi 710032, China
²State Key Laboratory of Solidification Processing,
Northwestern Polytechnical University, Xi'an, Shaanxi 710072, China

Abstract To evaluate the feasibility of the laser rapid forming (LRF) technology for fabricating titanium coping, laser scanner was used to measure aluminium alloy die of abutment tooth and reconstruct its three-dimensional digital profile. The shape of coping was designed by computer based on the digital abutment tooth models. The processing parameters were established by employing orthogonal experimental design. Ten titanium copings were fabricated with LRF based on the coping data and the processing parameters, adhesive test of the titanium coping on the aluminium alloy die was made, and the fabricating precision of the LRF was evaluated through marginal adaptation test. Results showed that LRF technology could be used to fabricate titanium coping. Marginal adaptation test showed that the experimental data of gaps between fabricated copings were less than 120 μm which was accepted by clinical.

Key words laser technique; laser rapid forming; titanium coping; precision

1 引 言

激光快速成形(LRF)技术是结合了快速原型技术的成形思想和激光熔覆技术的优点,于 20 世纪 90 年代中后期出现并发展起来的一项新的先进制造技术。它能够实现高性能复杂结构致密金属零件的快速无模具近终成形制造。美国 Sandia 国家实

验室、英国利物浦大学 Steen 教授的研究组、瑞士洛桑理工学院 W. Kurz 教授的研究组、宾西法尼亚州立大学等机构对激光快速成形的软硬件、成形材料和工艺、成形精度、材料的显微组织及性能等各个方面进行了较为深入系统的研究^[1]。西北工业大学凝固技术国家重点实验室、北京航空工艺研究院、北京航空航天大学等科研机构率先在国内对激光快速成

收稿日期:2006-10-30;收到修改稿日期:2007-01-11

基金项目:国家高技术研究发展计划(2002AA336050)和陕西省科学技术研究发展计划(2006 K05-G4)资助项目。

作者简介:韩彦峰(1978—),男,内蒙古人,硕士研究生,主要从事先进制造技术在口腔医学方面的应用研究。

E-mail:hanyanf@fmmu.edu.cn

导师简介:高 勃(1965—),男,山东人,副教授,硕士生导师,主要从事口腔金属材料研究和先进制造技术在口腔医学中的应用研究。E-mail:gaobo@fmmu.edu.cn (通信作者)

形技术、材料等进行了相关研究。该技术的基本原理是利用计算机辅助设计(CAD)软件设计出零件的三维模型,然后按照一定的厚度对模型进行分层切片处理,将三维模型离散化为一系列二维层面,计算机对二维层面信息进行数据处理并生成加工参数。然后由激光将粉末材料逐层熔覆堆积,生成三维实体零件^[2]。目前激光直接制造金属零件的方法根据材料熔融方式的不同分为金属粉末不全熔融和完全熔融两种方式,不全熔融的方式有选择性激光烧结技术(SLS)和激光微烧结技术,这种方式只能制作 45%~85% 理论密度的金属零件。而完全熔融的方式有选择性激光熔覆技术(SLM)和激光立体成形技术等,可制作 100% 理论密度的金属零件^[3],激光快速成形技术是属于完全熔融方式中的一种技术。Nadine Coulon 等于 2005 年应用激光熔覆技术制作了钴铬合金的基底冠^[4]。吴江等于 2006 年应用激光快速成形技术制作了全口义齿钛基托^[5],但应用该技术制作纯钛基底冠的研究未见相关报道。

本研究探索应用激光快速成形技术制作纯钛基底冠的可行性并分析了其加工精度,为该技术进一步应用于口腔医学领域提供了可能。

2 实验方法

实验采用的设备有激光扫描系统:由 ChitaiLSH600 四轴 CNC 高速激光扫描仪(台湾智泰科技公司),3-D-scan-now 扫描操作软件(台湾 3Dfamily 公司)组成;Surfacer10.5 逆向工程软件(美国 Imageware 公司)。激光快速成形系统:由 RS850 CO₂ 激光器,LRF-855 数控工作台,JPSF-1 型自动送粉器,惰性气体保护箱组成(西北工业大学凝固技术国家重点实验室);AGS-10KNG 万能材料实验机(日本岛津公司);Leica DMLM 多功能正置金相显微镜(德国 Leitz 公司)等。

2.1 制备铝合金代型

从模拟基牙的规则形状筒状冠开始,先检验激光快速成形技术加工纯钛基底冠的可行性,然后从一般到特殊,逐步改进加工的设备与配套工艺,最终达到满足临床的要求。根据王惠芸制作的恒牙测量统计表^[6]提供的数据,采用精密机加工方法制作模拟基牙预备体的铝合金标准代型 10 个(尺寸如图 1 所示)。轴面聚合角 5°,90° 直角肩台,肩台宽 0.8 mm。

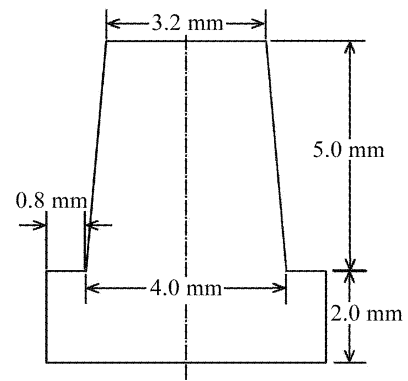


图 1 标准基牙尺寸

Fig. 1 Dimension of abutment tooth

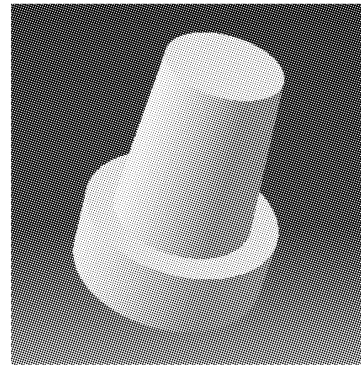


图 2 数字化标准基牙

Fig. 2 Digital abutment tooth

2.2 标准基牙的数据采集

将铝合金代型用胶泥固定于激光扫描工作台上,代型几何中心与工作台中轴保持一致。采用三轴平移、一轴转动的扫描方式。启动扫描程序扫描,由双 CCD 摄像机进行取像。将扫描所得的数据进行数据处理得到数字化标准基牙,如图 2 所示。

2.3 基底冠的设计

将标准基牙数据导入 Surfacer10.5 逆向工程软件,利用软件功能形成冠外表面数据。在标准基牙肩台处作直线插值拟合,封闭冠外表面数据和内表面数据形成数字化基底冠,如图 3 所示。

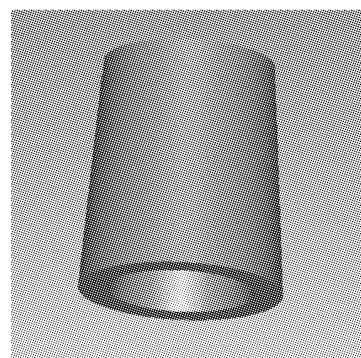


图 3 数字化基底冠

Fig. 3 Digital coping

2.4 基底冠加工工艺参数的选取

高勃等^[7]采用正交实验设计研究了激光快速成形工艺参数对钛-锆合金粉末成形性的影响,结果表明激光功率密度、送粉器转速和数控机床的运动速度对成形精度有显著的影响。实验对激光器功率、激光器扫描速度、送粉速度三个影响因素进行三因素四水平的正交实验设计,见表1。应用不同组合进行成形实验,通过SPSS10.0软件进行实验数据分析,确定纯钛基底冠的最佳加工参数,见表2。然后应用最佳参数进行不同层厚的单道多层熔覆实验,结果表明熔覆层的层间厚度为0.1 mm时,成形高度与宽度的成形误差最小。

表1 激光快速成形技术工艺参数的正交实验设计表

Table 1 Orthogonal experimental design of LRF processing parameters

Group	Laser power /kW	Scanning speed /(mm/s)	Powder feeding rate /(g/min)
1	0.40	7	4.0
2	0.55	7	2.5
3	0.70	7	3.0
4	0.85	7	3.5
5	0.40	9	3.5
6	0.55	9	4.0
7	0.70	9	2.5
8	0.85	9	3.0
9	0.40	11	3.0
10	0.55	11	3.5
11	0.70	11	4.0
12	0.85	11	2.5
13	0.40	13	2.5
14	0.55	13	3.0
15	0.70	13	3.5
16	0.85	13	4.0

表2 激光快速成形技术工艺参数

Table 2 Processing parameters of LRF

Laser power /kW	0.40~0.55
Scanning speed /(mm/s)	8~10
Spot diameter /mm	0.80
Powder feeding rate /(g/min)	2.8~3.1
Argon shielding gas /(L/min)	4~8

2.5 纯钛基底冠的制作

将设计好的基底冠数据输入激光快速成形系统中,调整系统的各项参数为最佳加工参数,启动系统,采用四路对称侧向送粉方式,如图4所示,完成

纯钛基底冠的加工。将基底冠表面酸洗喷砂,去除粘粉,如图5所示。

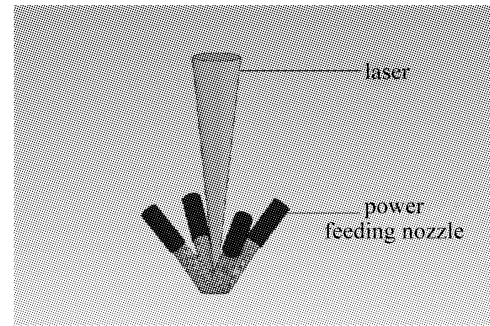


图4 四路对称侧向送粉

Fig. 4 Feeding powders with symmetrical four lateral nozzles



图5 纯钛基底冠

Fig. 5 Titanium copings



图6 粘接完成的试件

Fig. 6 Specimens after bonding

2.6 评估激光快速成形技术的加工精度

基底冠的就位:在铝合金代型一侧磨出溢出沟,用磷酸锌粘固剂将基底冠粘于铝制代型上初步就位,在AGS-10KNG日本岛津万能材料实验机上加压至49 N并就位,并保持49 N持续10 min。形成10个试件,如图6所示。

测量点的选择:如图7所示,测量每个试件的A,A',B,B',C,C'点的间隙,A,A'点代表冠顶部的间隙,B,B'点为轴壁中点的间隙,C,C'点为肩台处的间隙。

边缘适应性的检测:将粘好的试件用自凝牙托

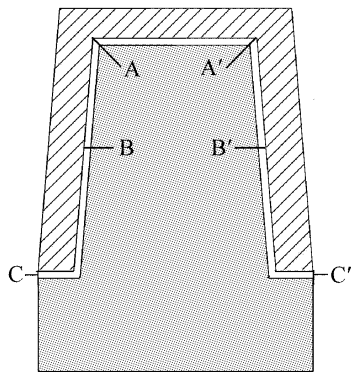


图 7 测量点的选择

Fig. 7 Selection of measure points

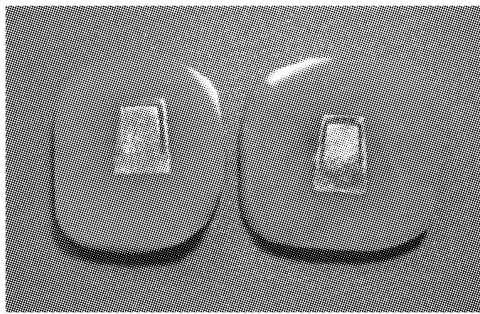


图 8 试件的截面

Fig. 8 Cross-section of specimen

粉包埋,固化后沿牙长轴中线剖开,截面按金相检测要求常规抛光,如图 8 所示。在 Leica DMLM 多功能正置金相显微镜下测量各点间隙值,进行统计学分析。

3 结果与分析

由于实验所采用的快速成形系统是专门加工工业大型零件的大功率激光快速成形设备,对基底冠的加工需要进行工艺参数的探索与优化,由于激光器的最小光斑直径只有 0.8 mm,只能制作最薄 0.8 mm 厚的零件,所以设计基底冠壁厚为 0.8 mm。另外,剖分软件切片厚度需要与熔覆层的层间厚度相适应,工艺参数实验结果表明熔覆层的层间厚度为 0.1 mm 时成形误差最小,所以切片厚度的合适参数为 0.1 mm。剖分软件是加工前将计算机辅助设计

模型分层切片的软件,理论上可以切任意厚度,而且厚度越薄加工精度越高,但当切片厚度小于熔覆层的层间厚度时,粉末熔融逐层叠加就增大了加工误差,所以切片厚度不能特别薄。而粉末熔融时的厚度与粉末颗粒大小与激光器功率相关,太小的金属颗粒在激光照射下可能直接气化,太大的金属颗粒不能完全熔融。针对目前现有的设备,采用 100~200 目的纯钛粉末,0.1 mm 的剖分厚度。

边缘适合性是指修复体边缘与牙体接触面的密合程度或二者间缝隙的大小,它反映了修复体的制作精度和就位后边缘的密合度,是衡量修复体临床质量的重要指标之一^[8]。通常采用的标准是 Mclean 等的研究结果^[9]:边缘间隙的最大接受值为 120 μm ,该观点得到了众多学者的认可^[10,11]。实验以边缘适合性来衡量基底冠的制作精度,金相显微镜下的间隙照片见图 9,图 10。测量结果见表 3。

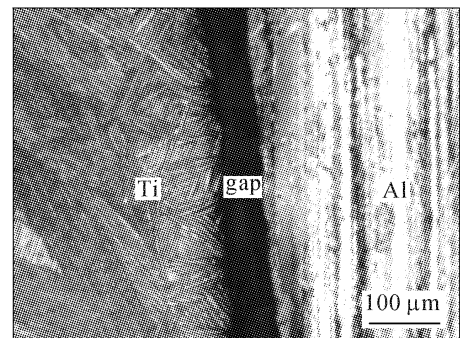


图 9 金相显微镜下的 B 点间隙

Fig. 9 Gap of B point under metaloscope

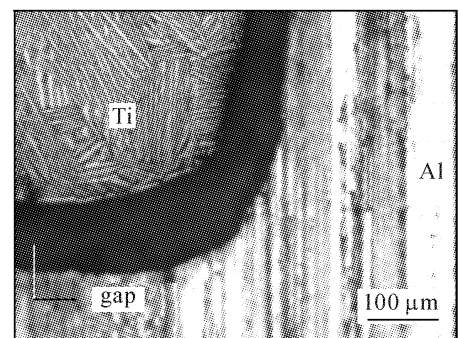


图 10 金相显微镜下的 C 点间隙

Fig. 10 Gap of C point under metaloscope

表 3 边缘适合性测量结果

Table 3 Results of marginal adaptation

	A	B	C	A'	B'	C'
$\bar{X} \pm S$	86.36 ± 20.17	47.83 ± 17.99	53.62 ± 23.21	82.14 ± 17.97	62.36 ± 24.53	53.92 ± 21.22

统计学上 P 值的含义是指从假设检验规定的总体里随机抽样,其检验统计量等于或大于现有样

本检验统计量的概率。 P 值越小说明样本代表总体的可靠性越高。将测量得到的 6 组数据输入 SPSS

10.0软件中,与120 μm 进行比较,统计分析得出的结果为:各组数据与120 μm 相比均显著小于120 μm ($P < 0.05$)。组间比较A组与A'组间隙显著大于B,B'组和C,C'组间隙 ($P < 0.05$)。B,B'组与C,C'组间隙没有显著性差异 ($P > 0.05$)。

从金相显微镜下的照片可以看出,激光快速成形纯钛的微观组织结构呈相互交织的细密网篮状结构,这种排列规则的网篮状结构具有良好的抗疲劳、耐腐蚀性能^[12]。从实验结果看,各点的平均间隙值均显著小于120 μm ,说明应用激光快速成形技术制作纯钛基底冠的边缘适合性可满足临床要求。但是A,A'点的间隙显著大于B,B'点和C,C'点的间隙。造成加工误差的主要原因是因为激光快速成形的原理是逐层熔覆,叠加各层形成最后的金属实体。由于层与层之间的热效应累积,造成了成形初期与末期粉末熔融的厚度并不完全相同,影响了成形的垂直精度,所以在冠边缘完全就位后,冠顶端的间隙要大于冠边缘和冠侧壁的间隙。此外,由于所成形的基底冠轴壁具有一定斜率,在成形后期进入熔池的粉末量要小于成形初期进入熔池的粉末量,这也带来了成形误差。还有激光器开/关光与工作台运动控制不同步以及热效应会造成基底冠表面粘粉,进而影响成形精度。随着牙科专用激光快速成形系统的研发,剖分软件的改进这些问题将会得到解决。

4 结 论

1) 通过工艺参数实验,进行了基底冠加工工艺参数的优化,得到了加工参数的范围。

2) 应用激光快速成形技术制作了规则形状的纯钛基底冠,验证了激光快速成形技术制作纯钛基底冠的可行性。

3) 通过边缘适合性实验评估了激光快速成形技术的加工精度,激光快速成形技术对规则形状基底冠的加工可达到临床的精度要求。

参 考 文 献

- 1 C. P. Paul, A. Jain, P. Ganesh *et al.*. Laser rapid manufacturing of Colmonoy-6 components [J]. *Optics and Lasers in Engineering*, 2006, **44**(10):1096~1109
- 2 Huang Weidong, Li Yanmin, Feng Liping *et al.*. Laser solid forming of metal powder materials [J]. *J. Materials Engineering*, 2002, **3**:40~43
黄卫东,李延民,冯莉萍等. 金属材料激光立体成形技术[J]. *材料工程*, 2002, **3**:40~43
- 3 Edson Costa Santos, Masanari Shiomi, Kozo Osakada *et al.*. Rapid manufacturing of metal components by laser forming [J]. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 2006, **46**(12-13):1459~1468
- 4 Nadine Coulon, Pascal Aubry, Patrick Teulet *et al.*. New trends in laser sintering: analysis of the process and new applications [C]. *Laser Materials Processing Conference*, 2005. 286~295
- 5 Wu Jiang, Gao Bo, Tan Hua *et al.*. Titanium base of complete denture fabricated with laser rapid forming [J]. *Chinese J. Lasers*, 2006, **33**(8):1139~1142
吴 江,高 勃,谭 华等. 应用激光快速成形技术制造全口义齿钛基托[J]. *中国激光*, 2006, **33**(8):1139~1142
- 6 Wang Huiyun. Chinese person teeth survey and statistics [J]. *Chinese J. Stomatology*, 1959, **3**:149~155
王惠芸. 我国人牙的测量与统计[J]. *中华口腔医学杂志*, 1959, **3**:149~155
- 7 Gao Bo, Yan Xiaodong, Wang Zhongyi *et al.*. Influence of technologic parameter matching on laser solid forming properties of Ti-Zr alloy for oral prosthesis [J]. *J. Fourth Mil. Med. Univ.*, 2005, **26**(21):1927~1929
高 勃,严晓东,王忠义等. 工艺参数的匹配对牙科 Ti-Zr 合金激光立体成形性的影响[J]. *第四军医大学学报*, 2005, **26**(21):1927~1929
- 8 A. J. Hunter, B. D. S., M. D. Sc. *et al.*. Gingival margins for crowns; a review and discussion. Part II: Discrepancies and configurations [J]. *J. Prosthet Dent.*, 1990, **64**(6):636~642
- 9 J. M. Mclean, J. A. von Fraunhofer. The estimation of cement film thickness by an in vivo technique [J]. *Br Dent J.*, 1971, **131**(3):107~111
- 10 Shirley H. Hung, D. D. S., M. S. *et al.*. Marginal fit of porcelain-fused-to-metal and two types of ceramic crown [J]. *J. Prosthet Dent.*, 1990, **63**(1):26~31
- 11 Hal N. Arnold, D. M. D., Steven A. Aquilino *et al.*. Marginal adaptation of porcelain margins in ceramometal restorations [J]. *J. Prosthet Dent.*, 1988, **59**(4):409~417
- 12 Drik A. Hollander, Matthias von Walter, Tobias Wirtz *et al.*. Structure, mechanical and in vitro characterization of individually structured Ti-6Al-4V produced by direct laser forming [J]. *Biomaterials*, 2006, **27**(7):955~963