

文章编号: 0258-7025(2006)08-1139-04

激光快速成形技术制造全口义齿钛基托

吴江¹, 高勃¹, 谭华², 姚月玲¹, 陈静², 王晓波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 通过计算机辅助设计(CAD)的数字化基托模型,在自主研制的激光快速成形系统上,选取优化的激光快速成形工艺参数,制造了全口义齿钛基托。与传统方法相比,工艺简化,且成形后的全口义齿钛基托外形良好。该技术在钛基托制作中的成功应用为口腔纯钛修复体的高性能、自动化加工开辟了一种新方法,并且为今后该技术的口腔临床应用提供了依据。

关键词 激光技术;钛基托;激光快速成形;全口义齿

中图分类号 TN 249;R 783.6 **文献标识码** A

Titanium Base of Complete Denture Fabricated with Laser Rapid Forming

WU Jiang¹, GAO Bo¹, TAN Hua², YAO Yue-ling¹, CHEN Jing², WANG Xiao-bo¹

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 Based on the computer aided design (CAD) digital base of complete denture model, a titanium base was made with the RS-850 laser rapid forming system, which processing parameters were suitable. The method made the Ti-base faster comparing with the traditional one, and the shape of the complete denture base was very well. The success development of the titanium base provided a new method for the automatic manufacture of titanium prosthetic replacement, and would make the foundation for the clinical application in the future.

Key words laser technique; titanium base; laser rapid forming; complete denture

1 引言

随着材料加工技术的发展,快速成形技术(Rapid Prototyping, RP)得到了迅速的发展。在很多领域,特别是口腔医学领域得到了广泛的关注和应用。而金属零件的激光快速成形(Laser Rapid Forming, LRF)技术是在快速成形技术基础上结合激光熔覆技术发展起来的高新制造技术。其原理是将零件的三维计算机辅助设计(CAD)模型转换为按一定厚度分层的二维轮廓信息,再利用激光熔覆方法将金属粉末逐层堆积,最终得到三维实体零

件^[1],实现无模具近终成形。成形后的材料具有优越的组织性能。这些都为激光快速成形技术在口腔领域的应用提供了新颖、快捷的思路。

口腔医学领域中常用的快速成形技术主要有立体光刻(SLA)、选择性激光烧结(SLS)、分层实体制造(LOM)等方法。国内外学者分别应用上述方法制作了光敏树脂全口义齿^[2]、颅骨和股骨模型^[3]、牙颌模型^[4]、磨牙树脂全冠^[5]和下颌骨缺损部分的树脂模型^[6]。但是,以上的快速成形技术只能制造非金属原型,虽有良好的外形精度,但是不具备机械强度和机械性能^[7],必须通过铸造才能获得最终的金

收稿日期:2005-12-13;收到修改稿日期:2006-04-02

基金项目:国家 863 计划(2002AA336050),陕西省科学技术研究发展计划(2006K05-G4)资助项目。

作者简介:吴江(1978—),男,第四军医大学口腔医院修复科博士研究生,主要从事先进制造技术在口腔医学方面的研究。E-mail:wujiang@fmmu.edu.cn

导师简介:高勃(1965—),男,山东人,第四军医大学口腔医院修复科副教授,硕士生导师,主要从事先进制造技术在口腔医学中应用的研究。E-mail:gaobo@fmmu.edu.cn

属原型。

钛因良好的生物学特性在全口义齿制作中得到了广泛的应用。但其化学特性非常活泼、易氧化,熔融状态下流动性差,且钛基托是一个外形复杂的薄壁曲面,铸造加工困难,常会出现表面粗糙、铸造不全、缩孔等缺陷。日本学者 Y. Oda 等^[8]曾用粉末烧结技术制作了全口义齿基托,虽然能够避免铸造缺陷,但是该方法加工工艺繁琐,试件烧结后收缩明显,使其加工纯钛修复体受到限制。2004 年, R. C. Bennett 等^[9]利用选择性激光熔覆技术(Selective Laser Melting, SLM)制作了不锈钢材料的基底冠,但是工艺过程仍显复杂。本研究将激光快速成形技术引入到口腔修复领域制作纯钛基托,试图克服以上缺点,简化钛基托的加工过程,提高效率。通过激光快速成形工艺规范的摸索和全口义齿钛基托计算机辅助设计数据的处理,对全口义齿钛基托的激光快速成形进行了探索性的研究。

2 实验方法

李延民^[10]在激光快速成形方面进行了初步研究,结果表明搭接率对成形表面的宏观平整程度和成形精度有着重要的影响。但钛基托作为一个外形不规则的曲面物体,其成形工艺具有以下特点:1)成形过程中,实际搭接率是变化的;2)薄壁试件、外形复杂、拐点多;3)表面质量要求更高。为了满足壁厚和外形变化的要求,同时根据设备最小光斑直径,设计了双道搭接,对不同搭接率进行了研究。

另外,由于钛基托表面存在比较大的斜率曲面,在激光快速成形过程中,如果直接对钛基托进行快速成形,成形过程很可能会受到较大斜率曲面的影响,导致成形过程终止。因此,实验设计了宽度、厚度和高度分别为 5 mm×1 mm×10 mm 的 90° 标准弧形板(见图 1),对该弧形板成形过程进行分析,以

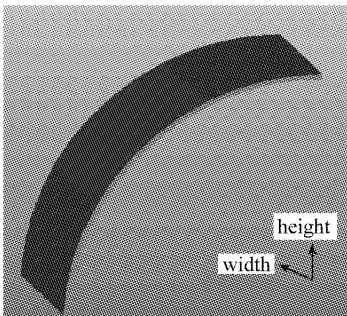


图 1 数字化标准弧形板

Fig. 1 Digitalized standard arc plate

期得到倾斜程度的极限值,进而指导钛基托的快速成形实验。

实验系统装置如图 2 所示。该系统包括 RS-850 型 5 kW CO₂ 激光器, LPM-408 四轴三联动数控工作台, JPSF-1 型送粉器, 四路送粉装置。激光快速成形实验的粉末材料为纯钛, 基材选用纯钛板材, 成形过程在惰性气体保护箱内进行。钛基托和弧形板的成形参数见表 1。

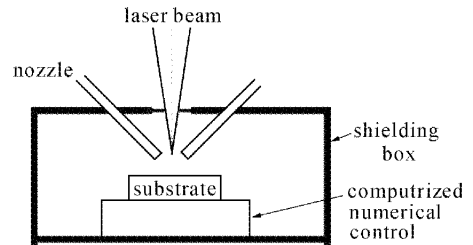


图 2 激光快速成形系统示意图

Fig. 2 Sketch of laser rapid forming

表 1 激光快速成形工艺参数

Table 1 Processing parameters of laser rapid forming

Laser power /kW	0.70~0.85
Scanning speed /(m/min)	0.60~0.80
Spot diameter /mm	0.80
Powder feeding rate /(g/min)	2.8~3.1
Argon shielding gas /(L/min)	4~8

图 3(a)为利用逆向工程软件制作出的钛基托三维数字化模型^[11]。为了降低网状结构网眼部分的成形难度,对模型进行了简化处理。

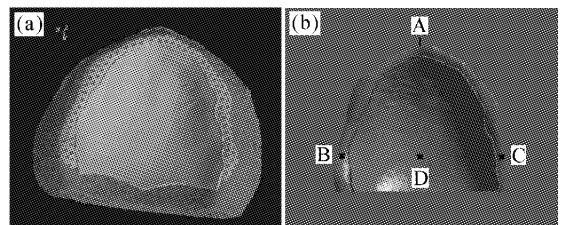


图 3 简化前(a),后(b)的数字化钛基托

Fig. 3 Digitalized base (a) and simplified CAD model (b)

设计好的基托高 43.1 mm,基托厚 1.0 mm,网状结构部分厚 0.5 mm,如图 3(b)。其中 A 代表基托顶点;B 和 C 为网状结构在第一磨牙对应部分的中点,这既是钛基托进行排牙的标志点,也是进行精度测量的标志点;D 为 B 和 C 连线的中点。

3 结果与分析

图4为采用不锈钢在大气中进行的激光快速成形工艺试样。从图4(a)可以看出当搭接率小于30%时,宽度明显增厚,两道熔覆层之间有一条明显的凹陷区,进一步成形将会在成形件内部形成空心夹层甚至中断成形过程;图4(b)中,搭接率在30%~35%之间的时候,两道熔覆层表面平整且涂覆高度一致,测量宽度也符合设计要求;从图4(c)中可以看出,搭接率大于35%时,两道熔覆层之间虽然没有凹陷区,但是出现局部凸起,高度不均匀并且随着涂覆层数的增加,导致成形件的尺寸精度出现较大误差。

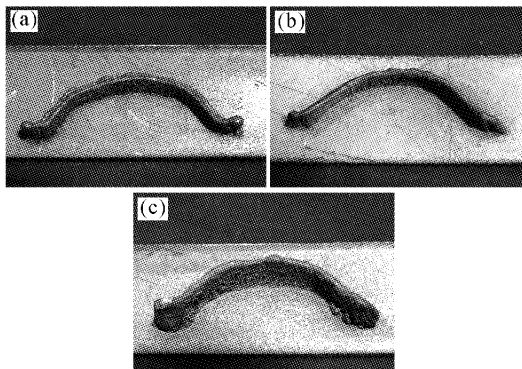


图4 激光快速成形工艺试样

搭接率:(a) 小于30%;(b) 30%~35%;(c) 大于35%

Fig. 4 Sample of laser rapid forming

overlaps: (a) less than 30%; (b) 30%~35%;

(c) more than 35%

按照30%~35%搭接率,对钛基托进行了激光快速成形实验,结果如图5所示。经测量,在成形高度小于25 mm左右的地方,基托形态较为良好,当成形高度大于25 mm,基托中部出现成形缺陷,搭接在中部出现中断。通过分析,发现缺陷处的曲面斜率较大,在成形过程中随着高度和局部曲面斜率的增加,剖分的二维平面轨迹在 xy 平面内的位移超过了粉末喷嘴能够稳定成形的条件,也就是在某些局部,熔化的金属液体不能完全熔覆在前一层上,造成实验的失败。因此,曲面斜率的变化对曲面薄壁试件成形的影响不容忽视。

设计了 $0^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 标准弧形板并进行了成形实验。结果弧形板在板高7.5 mm处发生塌陷。经过计算,此处斜率的绝对值为0.88。也就是说,当曲面斜率绝对值大于0.88时,成形过程在目前的设备条件下会因为激光光斑无法将粉末烧结到相应的分层而造成

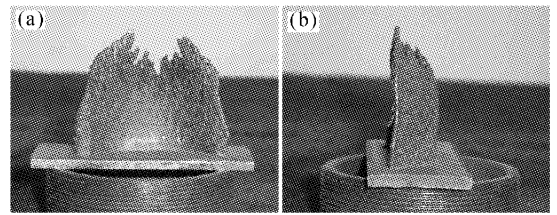


图5 成形失败的钛基托

Fig. 5 Abortive titanium base

成形过程中断。所以,对于曲面物体,特别是当物体曲面斜率的绝对值过大时,需要通过适当的转动,将成形物体的曲面斜率控制在实验设备允许的范围,保证成形过程连续。

对比图5发现当成形高度大于25 mm时,此处基托表面曲面斜率的绝对值大小为0.90,大于标准弧形板坍塌处的曲面斜率的绝对值,故成形过程中断。根据现有设备和条件,对钛基托的上半部分进行了一定角度的旋转,使上半部分起始处到顶部的曲面斜率绝对值变化范围都小于0.88。

通过以上实验,确定了合适的搭接率范围,保证了成形表面的平整程度和精度;另外,在该设备对倾斜试样进行制备时,曲面斜率极值的确定,也保证了成形过程的连续性。结合表1的工艺参数,应用两步法制备了全口义齿钛基托(图6)。整个过程大约耗时1 h,较临床常规制作方法(翻制耐火模型—制作蜡型—包埋—铸造)相比,大大节省了时间和材料,极大地简化了工艺过程,提高了工作效率。

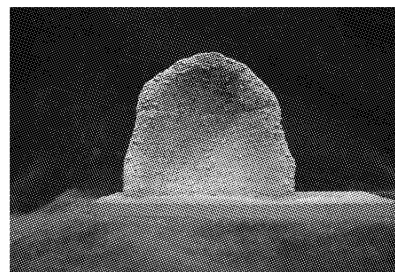


图6 两步法激光快速成形的钛基托

Fig. 6 Titanium base of laser rapid forming by 2 steps

从图6中可以看出,基托表面有少许的粘粉和小凸起,这有可能是因为激光器开/关光与工作台运动控制不同步造成的。另外,由于热影响区的存在,扫描点周围的粉末微粒部分熔融聚集而形成松散的粉粒聚集物,影响了钛基托的表面粗糙度和尺寸精度^[12]。

对成形后的钛基托进行测量,结果见表2。通

表 2 成形钛基托与数字化钛基托的几何尺寸测量数据

Table 2 Data of CAD model and titanium base

	CAD model /mm	Titanium base /mm
Height of A—bottom line	43.1	43.5
Average thickness of B and C	0.5	1.2
Thickness of D	1.0	1.5

过对比,可以看出成形后钛基托的几何尺寸数据较数字化钛基托略大,这主要是因为本实验的数字化钛基托属于小尺寸精密零件,需要较小的激光光斑,而该实验所用的自制激光快速成形系统的最小光斑直径只能稳定在 0.8 mm 左右,当搭接率选择在 30%~35%,成形基托的壁厚就为 1.5 mm 左右;同理,网状结构部分的厚度也相应地增加了。

4 结 论

利用激光快速成形设备进行了复杂曲面薄壁零件搭接率的研究。实验得出,当搭接率在 30%~35%时,熔覆层较为平整且高度一致。通过标准弧形板的成形,得出当曲面斜率的绝对值低于 0.88 时,该快速成形设备可以完成对复杂形状曲面零件的制备。利用激光快速成形技术成功制备了全口义齿钛基托,制备后的钛基托外形尺寸良好。该技术制备钛基托与临床常规方法相比,节约时间和材料,简化了工艺步骤,实现了数字化、无模化近终成形,为钛基托的自动化加工及该技术在口腔其他领域的应用提供了依据。

参 考 文 献

- 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
- Yoshinobu Maeda, Masataka Minoura, Sadami Tcutsumi *et al.*. A CAD/CAM system for removable denture Part 1: fabrication of complete dentures [J]. *Int. J. Prosthodont*,

1994, 7(1):17~21

- E. Berry, J. M. Brown, M. Connell *et al.*. Preliminary experience with medical applications of rapid prototyping by selective laser sintering [J]. *Med. Eng. Phys.*, 1997, 19(1): 90~96
- Gao Bo, Tan Yongsheng, Li Yanmin *et al.*. Fabrication of dental prosthesis with laser engineered net shaping method solid dentognathic models built with the 3-D data obtained by laminated object manufacturing [J]. *J. Pract. Stomatol*, 2000, 16(5):341~343
高 勃,谭永生,李延民等. 应用激光近形制造方法制作口腔修复体的基础研究——用 LOM 法由层析测量数据制作实体牙颌模型[J]. *实用口腔医学杂志*, 2000, 16(5):341~343
- Jin Shuren, Yao Yueling, Gao Bo *et al.*. An experimental study on the fabrication of the molar resin crown with rapid prototyping technology [J]. *J. Fourth Mil. Med. Univer.*, 2003, 24(8):700~702
金树人,姚月玲,高 勃等. 应用快速成型法制作磨牙树脂全冠[J]. *第四军医大学学报*, 2003, 24(8):700~702
- Gong Zhenyu, Liu Yanpu, Zhou Shuxia *et al.*. Reconstruction of mandibular bone defects by using the techniques of reverse engineering and rapid prototyping [J]. *Chin. J. Stomatol.*, 2004, 39(1):9~11
龚振宇,刘彦普,周树夏等. 基于反求工程和快速原型的下颌骨缺损的修复[J]. *中华口腔医学杂志*, 2004, 39(1):9~11
- Zhong Minlin, Ning Guoqing, Liu Wenjin *et al.*. Fundamental aspects on laser rapid & flexible manufacturing of metallic components [J]. *Applied Laser*, 2001, 21(3):76~78
钟敏霖,宁国庆,刘文今等. 激光快速柔性制造金属零件基础研究[J]. *应用激光*, 2001, 21(3):76~78
- Y. Oda, S. Ueno, Y. Kudon. Fabrication of denture base by sintered titanium alloys [J]. *Quintessence of Dental Technology*, 1998, 23(5):569~575
- R. C. Bennett, Ch. Sutcliffe. Selective laser melting—applications and developments using MCP Realizer^{SLM}, in: Proceedings of the Fourth Laser Assisted Net Shape Engineering [J]. *LANE*, 2004, 1:545
- Li Yanmin. Research on technical characters and microstructure of laser solid forming [D]. Xi'an: Dissertation for the Degree of Ph. D. Northwestern Polytechnical University, 2001
李延民. 激光立体成形工艺特性与显微组织研究[D]. 西安:西北工业大学博士论文,2001
- Wang Xiaobo, Gao Bo, Yao Yueling *et al.*. CAD of palatal metal plate of upper complete denture [J]. *J. Pract. Stomatol.*, 2005, 21(1):5~7
王晓波,高 勃,姚月玲等. 上颌半口义齿金属基托的计算机辅助设计[J]. *实用口腔医学杂志*, 2002, 21(1):5~7
- Zhao Jianfeng, Wu Xiaoming, Tang Yaxin *et al.*. Synthesis error analysis of rapid prototyping technology by using laser sintering [J]. *J. Aero. Manu. Technol.*, 1999, 2:26~29
赵剑峰,吴晓明,唐亚新等. 激光烧结快速成型技术误差综合分析[J]. *航空制造技术*, 1999, 2:26~29