

[研究·设计]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2015.05.010

上颌中切牙多孔金属牙桩的设计及有限元分析

尤左令¹, 彭伟¹, 郑园娜², 袁振飞³

(1. 特种装备制造与先进加工技术教育部/浙江省重点实验室(浙江工业大学), 浙江 杭州 310014;
2. 浙江中医药大学 口腔医学院, 浙江 杭州 310053; 3. 衢州市人民医院, 浙江 衢州 324000)

摘 要:为了设计一种表面带有多孔结构的金属牙桩,比较多孔金属牙桩和铸造桩修复上颌中切牙后的应力分布,采用上颌中切牙建立多孔金属牙桩修复后的三维有限元模型,牙桩的表面设计成孔隙率分别为15.5%,26.2%,40.2%,59.2%的多孔结构,并进行有限元分析。分析表明随着牙桩表面多孔结构的孔隙率增加,牙根上的最大主应力增加,牙桩内部实心结构和外部多孔结构的等效应力增加,多孔结构的等效应力大于实心结构的等效应力。研究得出结论:孔隙率可以调整降低金属牙桩表面的弹性模量和抗压强度,有利于保护牙根。

关 键 词:多孔金属牙桩;孔隙率;有限元分析;应力分布

中图分类号:TH123.3 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2015)05-0043-04

Design and Finite Element Analysis of Upper Incisor with Porous Metal Post-Cores

YOU Zuoling¹, PENG Wei¹, ZHENG Yuanna², YUAN Zhenfei³

(1. Key Laboratory of E&M (Zhejiang University of Technology), Ministry of Education & Zhejiang Province, Hangzhou 310014, China;
2. College of Stomatology, Zhejiang Chinese Medical University, Hangzhou 310053, China;
3. Quzhou People's Hospital, Quzhou, Zhejiang 324000, China)

Abstract: To design a kind of post-core with porous structures above its surface, the stress distribution of upper incisor restored with porous metal post-cores was compared in different structures. The 3D finite element models of the upper incisor with repairing porous metal post-cores was constructed. The surface of metal post-cores was designed in four porosities of 15.5%, 26.2%, 40.2%, 59.2%, and the finite element analysis was carried out. The results show that with the increase of porosity of post-cores' surface, the maximum stress of dentin increases, and the maximum stress of solid part and porous part increase, but the maximum stress of porous structures was higher than solid structures. It is concluded that porosity decreases elastic modulus and compressive strength of metal post-cores, which can protect root in a better way.

Key words: porous metal post-core; porosity; finite element analysis (FEA); stress distribution

对于牙体大面积缺损,经过完善的根管治疗之后,一般都需要进行桩核冠的修复。金属桩具有良好的机械性能,特别是铸造金属桩与根管具有良好的密合性^[1],目前还广泛运用于口腔临床修复领域。近年来,铸造金属牙桩在临床上导致牙根折断的报告屡见不鲜,这主要是由于铸造金属桩的弹性模量远高于牙本质,且金属材料的破坏极限远远高于牙根的破坏极限。纤维桩作为一种新型的牙桩材料,由于具有与牙

本质更加接近的弹性模量和良好的美学效果,已经在一定范围内取代了传统铸造金属桩。但是纤维桩有一定的局限性:①不适合修复牙体缺损严重^[2],无法制备牙本质肩领的病例;②不适合修复需要较大范围改变牙体长轴方向的病例。此外,现有的纤维桩大都是预成型的,桩和根管之间的配合不是很紧密,需要填充大量的粘接剂,且桩与牙本质之间的粘接仍存在问题^[3]。本研究拟设计一种表面带有微小孔隙的多孔金属牙桩,

收稿日期:2015-01-20;修回日期:2015-03-10

作者简介:尤左令(1989),男,浙江温州人,硕士研究生,主要研究方向为快速设计与制造技术和数字医学工程。E-mail:you. z. l@163.com

牙桩的外部形状和牙根的桩道一致,通过调整牙桩表面的孔隙率降低牙桩与牙根接触区域牙桩的弹性模量和抗压强度,使多孔结构作为一层缓冲层,避免应力直接传递到牙根,从而能够更好地保护牙根。

1 上颌中切牙修复体的实体模型建模

1.1 CBCT 扫描数据的获取

根据文献[4],选择一颗接近标准的上颌中切牙,沿釉牙骨质界进行截冠,经过完善的根管治疗后,预备成牙桩冠修复体。设计牙桩的蜡型,对蜡型进行光学扫描,获取牙桩的三维数字化模型,保存为 STL 的格式。

将上述的预备后的离体中切牙包埋在咬合蜡中进行固位,采用 CBCT(Cone Beam CT)进行扫描,扫描层厚为 0.2 mm,一共获取 432 张断层数据。获得的图像以 DICOM 格式直接从 CT 机中导出。

1.2 上颌中切牙修复体的实体模型建立

将获取的 DICOM 数据导入 MIMICS(materialise's interactive medical image comerol system)软件进行重建,获得上颌中切牙的三维模型。将牙桩三维模型和上颌中切牙的三维模型导入 Geomagic 进行配准。利用 UG 设计出牙桩修复系统各部分的模型,如图 1 所示。重建后的牙桩修复模型中,牙周膜厚度为 0.2 mm,皮质骨厚度为 2.0 mm,硬骨板厚度为 0.8 mm。

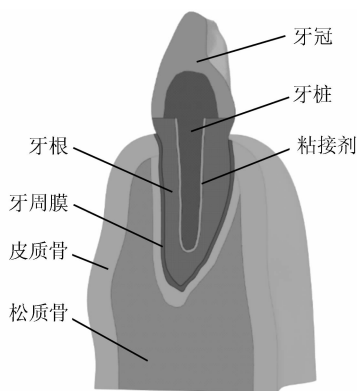


图 1 牙桩修复后的三维实体模型

Figure 1 Schematic of solid models of repairing system

2 个性化多孔金属牙桩的设计

2.1 个性化多孔金属牙桩的弹性模量

将牙桩分为 2 个部分:一部分是牙桩的内部,其特征是实心结构,作用为牙体提供抗力性;另一部分是牙桩与牙本质接触的区域,其特征是多孔结构,弹性模量和抗压强度低于实心结构,在牙桩和牙根之间起缓冲作用,并提高牙桩和牙根之间的粘接能力。个性化多孔金属牙桩的实体结构如图 2 所示。

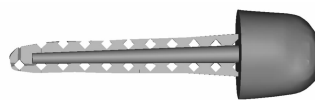


图 2 个性化多孔金属桩的三维实体结构

Figure 2 Three-dimensional solid structure of porous metal post-cores

多孔结构和实心结构之间的弹性模量有^[5]

$$E^*/E_s = (\rho^*/\rho_s)^2 \quad (1)$$

式中: E^* 为多孔结构的等效弹性模量; E_s 为实心结构的弹性模量; ρ^* 为多孔结构的表观密度; ρ_s 为实心结构的理论密度; ρ^*/ρ_s 为多孔金属结构的相对密度^[6]。

孔隙率和相对密度成反比,且有

$$\theta = 1 - \rho^*/\rho_s \quad (2)$$

式中: θ 为多孔结构的孔隙率。

由公式(1)和公式(2)可知

$$E^* = E_s(1 - \theta)^2 \quad (3)$$

故而可以利用多孔结构来调整牙桩的弹性模量。

2.2 多孔结构钛合金的极限强度

根据王晓花等^[6]利用实验得到的数据,拟合出多孔钛合金的孔隙率和抗压强度之间的关系为

$$\sigma_{pl} = -1320\theta + 912 \quad (4)$$

式中: σ_{pl} 为多孔金属的抗压强度。由上述公式可知,多孔金属的抗压强度随着孔隙率的增加而降低。

3 不同结构的个性化多孔金属牙桩的有限元建立与分析

3.1 边界条件和模型参数

相关的材料参数见表 1^[7-9]。研究选择 Ti6Al4V 作为牙桩的材料,将铸造钛合金桩作为对照组。

表 1 相关材料参数

Table 1 Related mechanical properties

材料	弹性模量/GPa	泊松比	极限强度/MPa
牙本质	18.600 0	0.31	121.70
牙周膜	0.068 9	0.45	-
皮质骨	13.700 0	0.30	-
松质骨	1.370 0	0.30	-
氧化锆	200.000 0	0.33	-
磷酸锌	22.400 0	0.25	-
Ti6Al4V	112.000 0	0.33	912.00
Ti6Al4V-15.5%	80.000 0	0.33	707.40
Ti6Al4V-26.2%	60.000 0	0.33	566.16
Ti6Al4V-40.2%	40.000 0	0.33	381.36
Ti6Al4V-59.2%	18.600 0	0.33	130.56

说明:Ti6Al4V-15.5%表示孔隙率为 15.5%的多孔 Ti6Al4V。

3.2 网格划分和牙桩结构

将桩核冠修复体的模型导入 ABAQUS 中进行装配,用 C3D4 单元人工划分网格。在牙冠中部施加一个 150 N 的集中载荷,载荷方向与牙长轴呈 45°。由于多孔结构比较复杂,在 ABAQUS 中对多孔结构简化成等效弹性模量和泊松比的实体结构。简化后的多孔金属牙桩有限元模型如图 3 所示。多孔桩核内部为实心结构,直径为 1.0 mm。外部的多孔结构,孔隙率分别为 15.5%、26.2%、40.2%、59.2%,对应的等效弹性模量分别为 80.0、60.0、40.0 和 18.6 MPa。为了方便说明,将牙桩表面孔隙率为 15.5% 的模型称为 1.0-80.0 组,牙桩表面孔隙率为 26.2% 的模型称为 1.0-60.0 组,牙桩表面孔隙率为 40.2% 的模型称为 1.0-40.0 组,牙桩表面孔隙率为 59.2% 的模型称为 1.0-18.6 组。

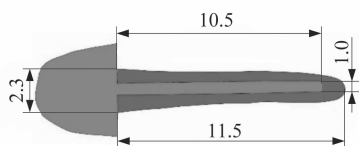


图 3 多孔金属牙桩的有限元简化模型

Figure 3 FEA model of porous metal post-cores

3.3 有限元求解分析

由于牙本质是脆性材料,根据第一强度理论,最大

拉应力是引起材料脆性破坏的因素,故本文将最大主应力作为评价牙根失效的指标;而金属是塑性材料,根据第四强度理论,将等效应力作为牙桩失效的指标。

图 4 是表面等效弹性模量为 60 MPa 的多孔钛合金桩核修复上颌中切牙后的应力分布云图。桩核实心结构的等效应力主要集中在核和多孔结构的连接区域及其牙桩的颈部,多孔结构的等效应力主要集中在牙桩的颈部,而牙根的最大主应力主要集中在颈部腭侧区域。铸造桩组,1.0-80.0 组,1.0-40.0 组,1.0-18.6 组的应力分布云图与 1.0-60.0 组相似。

表 2 是在 150 N 静载荷作用下,牙桩实心结构、多孔结构上的最大等效应力,牙根上的最大主应力。

表 2 150 N 载荷下各模型部件的最大应力值

Table 2 Value of maximum stress of parts of models in 150 N loading MPa

牙桩结构	实心结构 mises 应力	多孔结构 mises 应力	牙根上 最大主应力
铸造桩	389.2	—	68.81
1.0-80.0 组	598.6	569.7	116.10
1.0-60.0 组	522.0	452.4	108.00
1.0-40.0 组	538.5	399.7	117.50
1.0-18.6 组	678.4	316.9	134.10

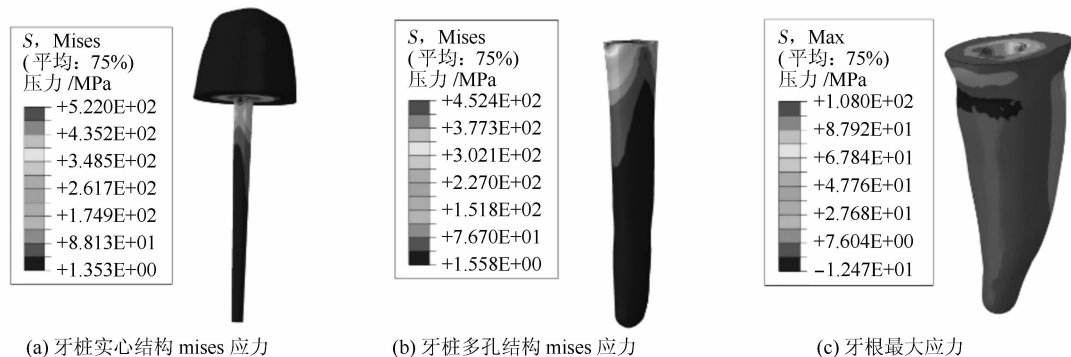


图 4 1.0-60.0 组牙桩实心结构、多孔结构和牙根上的应力分布

Figure 4 Stress distribution of solid structures, porous structures and root of model 1.0-60.0

4 讨论

上颌中切牙主要承担切割食物、为下颌前伸运动提供前伸切道的作用,不像磨牙在功能状态下的运动的复杂性,其所受的咬合力主要集中在矢状面上,所以将载荷简化成一个作用在腭侧的集中力。

临床上上颌中切牙的牙体缺损行桩核冠修复时,一种可以形成牙本质肩领,一种不能形成牙本质肩领。而不能形成牙本质肩领的情况下,一般选择使用高弹

性模量的桩核,如铸造金属牙桩和氧化锆全瓷桩。本研究建立了不同结构的个性化多孔金属牙桩修复上颌中切牙的有限元模型,将牙根设计成无牙本质肩领,同时模拟粘接剂、牙周膜、皮质骨和松质骨等结构,能够比较客观地反映牙齿结构。采用 CBCT 扫描、CAD 软件和有限元分析软件相结合的方式重建上颌中切牙三维模型,UG 正向建模和 Geomagic 的逆向建模相结合,对模型的表面进行光滑处理,简化了不同组织之间的

接触关系,方便模型进行分析。

由表1和表2可以得出以下结论:①在实心结构直径相同的情况下,随着多孔结构的等效弹性模量降低,多孔结构的等效应力降低,牙根上的最大主应力基本呈升高趋势;②在150 N载荷的作用下,铸造桩组、1.0-80.0组和1.0-60.0组模型的牙桩实心结构、多孔结构和牙根的最大应力均不超过其对应的极限强度,牙根上的最大主应力已经比较接近牙根的极限强度,但是牙根实心结构和多孔结构的应力距离其对应的极限强度还有较大富裕量;③1.0-40.0组和1.0-18.6组模型的牙桩实心结构和牙根上的最大应力不超过其极限强度,而牙桩多孔结构的最大应力值已经超过其极限强度了,说明牙桩多孔结构能够更好地保护牙根。

5 结语

由于金属牙桩表面的多孔结构降低了牙桩表面的弹性模量和极限强度,使得牙桩表面的多孔层比牙根更容易发生破坏,进而保护牙根。当牙桩的多孔结构发生破坏时,只需要将多孔金属牙桩取出,换一个多孔金属牙桩就能够再次进行修复。此外,多孔金属牙桩表面存在一层多孔结构,增加了牙桩与粘接剂之间的接触面积,有利于牙桩和牙根之间的粘接。

参考文献:

[1] 赵敏民.口腔修复学[M].7版.北京:人民卫生出版社,2013.

(上接第37页)

- [4] 王国栋,阎祥安,肖聚亮.管环相贯焊接坡口数控切割研究[J].焊接学报,2005,16(6):561-563.
- [5] 李小刚,吕碧峰,姚伟伟,等.相交双管的焊接装配接触线[J].焊接学报,2003,24(4):39-42.
- [6] 付晓龙,何建萍,王付鑫.管-管相贯线机器人焊接枪体姿态的拟合[J].轻工机械,2015,33(3):26-29.
- [7] 肖聚亮,阎祥安,王国栋,等.火焰数控切管机割炬轨迹研究及仿

(上接第42页)

3)对DN800硫化罐整体相连卡箍齿啮式快开结构进行优化设计时,采用安全裕度法对状态变量进行提取便于工程推广。

参考文献:

- [1] 龚曙光,谢桂兰,王亚,等.基于有限元分析的快开门装置结构优化设计[J].机械设计与研究,2004,20(1):83-85.
- [2] 周金枝,李小飞. ANSYS 软件在压力容器结构优化设计中的应用[J].湖北工业大学学报,2008,23(3):64-66.
- [3] 刘爱萍.齿啮式快开装置参数化整体优化设计方法研究[D].杭州:浙江大学,2002:30-38.
- [4] 郑津洋,苏文献,刘爱萍.基于整体有限元应力分析的齿啮式快开

- [2] AL-OMIRI M K,AL-WAHADNI A M. An ex vivo study of the effects of retained coronal dentine on the strength of teeth restored with composite core and different post and core systems[J]. International Endodontic Journal,2006,39(11):890-899.
- [3] GORACCI C,FERRARI M. Current perspectives on post systems:a literature review[J]. Australian Dental Journal,2011,56(1):77-83.
- [4] 王惠芸.我国人牙的测量和统计[J].中华口腔科杂志,1959,3(2):149-155.
- [5] 刘培生.多孔固体结构与性能[M].2版.北京:清华大学出版社,2003.
- [6] WANG Xiaohua, LI Jinshan, HU Rui, et al. Mechanical properties of porous titanium with different distributions of pore size[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China,2013, 23(8):2317-2322.
- [7] DEJAK B,MLOTKOWSKI A. 3D-Finite element analysis of molars restored with endocrowns and posts during masticatory simulation[J]. Dent Mater,2013,29(12):309-317.
- [8] SU K C,CHANG C H,CHUANG S F,et al. Biomechanical evaluation of endodontic post-restored teeth;finite element analysis[J]. Journal of Mechanics in Medicine and Biology,2013,13(1):135-147.
- [9] MAHMOUDI M,SAIDI A, GANDJALIKHAN N S A,et al. A three-dimensional finite element analysis of the effects of restorative materials and post geometry on stress distribution in mandibular molar tooth restored with post-core crown[J]. Dental Materials Journal,2012,31(2):171-179.

真[J].机械工程学报,2005,41(4):234-238.

- [8] 聂晓根,刘艳斌,曾露莎.管件数控火焰切割割炬轨迹建模[J].工程图学学报,2008,29(3):145-150.
- [9] 贾安东,李宝清,阎祥安,等.数控切管机一次完成多次搭接相贯坡口切割方法[J].焊接学报,1999(12):30-35.
- [10] 胡兵,李清朗.现代科学工程计算基础[M].成都:四川大学出版社,2003.

压力容器设计[J].压力容器,2003,20(7):20-24.

- [5] 全国压力容器标准化技术委员会.JB 4732-1995 钢制压力容器分析设计标准[S].北京:新华出版社,2005.
- [6] 杜志明,范军政.安全裕度研究与应用进展[J].中国安全科学学报,2004,14(6):6-10.
- [7] 王营,余朝蓬.航空发动机涡轮盘结构优化设计[J].机械设计与制造,2010(5):4-6.
- [8] 何慧慧,董金善,丁培丽,等.整体卡箍齿啮式快开结构优化设计[J].现代制造工程,2013(10):60-63.
- [9] 黄进,郑津洋,陈志平,等.整体转圈齿啮式快开装置的强度分析及工程设计方法研究[J].化工装备技术,2000,21(4):18-27.
- [10] 刘骁,李静媛,花争立,等.卧式快开门压力容器带压开启数值模拟研究[J].轻工机械,2014,32(5):12-16.

[研究·设计]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2015.05.011

LED路灯新型热管散热器散热研究

王林习, 虞 斌, 沈中将, 王佩顺

(南京工业大学 机械与动力工程学院, 江苏 南京 211816)

摘 要: LED(light emitting diode)结温过高不仅会使光波波长漂移,还会使发光效率和寿命下降,为此设计了一种热管翅片散热结构,并运用 ANSYS Icepak 热分析软件对该结构进行了参数化分析设计,得到了 LED 最高结温小于 70℃时的最优结构参数。同时建立了翅顶为恒温的数学方程,计算验证翅片温度分布,结果显示翅片温度分布相近,散热器整体温度分布均匀,整体温差小于 5℃。表明设计的热管翅片散热结构满足大功率 LED 路灯的使用要求。

关 键 词: LED 路灯;散热;热管;模拟;翅片方程

中图分类号:Th172.4

文献标志码:A

文章编号:1005-2895(2015)05-0047-04

Heat Dissipation Research on New Type Heat Pipe Radiator of LED Street Lamp

WANG Linxi, YU Bin, SHEN Zhongjiang, WANG Peishun

(School of Mechanical and Power Engineering, Nanjing Tech University, Nanjing 211816, China)

Abstract: Excessive junction temperature of LED (light emitting diode) not only drifts the light wavelength, but also decreases luminous efficiency and lifetime. A heat pipe cooling fin structure was designed by thermal analysis software ANSYS Icepak to analyze the structure, and the optimal structure parameters were obtained when maximum junction temperature of LED was less than 70℃. In addition, the thermostat mathematical equation of a winged top was established to verify the fin temperature distribution. The results show that the temperature distribution of the fin is similar, and the overall temperature distribution of radiator is uniform. It is found that the overall temperature difference is less than 5℃. It indicates that the heat dissipation structure is satisfied the use requirements of high-power LED street lamp.

Key words: LED street lamp; heat dissipation; heat pipe; simulation; fin equation

LED 作为继白炽灯、荧光灯、高强度放电灯(HID)以来的第4代新型固态照明光源,以半导体中的载流子发生复合而引起光子发射,直接发光^[1]。LED光源能耗仅为白炽灯的10%、荧光灯的50%;采用固体封装,寿命是荧光灯的10倍、白炽灯的100倍,且无紫外光、红外光等辐射,还能避免灯管破裂溢出汞的二次污染^[2]。LED光源具有广阔的应用前景,众多国家和地区都相继发布了各自的“半导体照明计划”。当前LED光电转换效率较低,加之LED芯片面积小,灯具空间狭窄,使得LED热流密度急剧增大。LED结温每升高10℃,发光效率就下降6%~8%,寿命缩短50%^[3]。为解决LED散热问题,结合热管技术与翅片

散热,设计了一种新型散热结构,并对该结构进行了参数化分析设计,研究了对流换热系数与表面积对散热的影响,得到了散热器最优尺寸参数。

1 模型建立

1.1 计算模型与空间

在热管散热器上、下平板热管之间设置散热翅片,散热器结合了热管的高导热性、良好的均温性与散热翅片增大散热面积的优点。热管散热器的底部是热管的蒸发段,竖立板可以看成绝热段,上部则为冷却段,上、下平板热管之间的翅片不但增大了散热面积,而且增加了结构的可靠性,结构如图1(a)所示。

在自然对流开放环境中,计算区域应设定的足够

收稿日期:2015-05-20;修回日期:2015-06-01

作者简介:王林习(1987),男,河北邯郸人,硕士研究生,主要研究方向为高效传热传质设备。E-mail:lxw993@163.com