

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2019.03.015

硅胶牙刷刷头设计及其模具制造工艺

俞荣标¹,王华兴²

(1. 浙江工业职业技术学院,浙江绍兴 312000; 2. 浙江一派克管道科技有限公司,浙江绍兴 312000)

摘要:从分析对比传统牙刷刷毛与硅胶牙刷刷毛性能着手,根据硅胶材料的特性和牙刷刷头及刷毛的结构特点,提出了优化刷毛设计的台阶思路和解决方法,并对刷头模具中微小孔的制造工艺加工难点进行分析研究,通过对切削力的分析,确定影响微小孔加工钻头折断的主要因素为切削速度和切削深度,最后通过在精雕 Caver400TE 上加工进行实验验证,得到刷头模具微小孔加工的一系列工艺参数,经列表分析,得出较为合适的制造参数,验证了该方法的有效性和可行性。

关键词: 硅胶牙刷;微小孔;刷头模具;加工钻头;切削速度;切削深度

中图分类号: TQ320.66 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2019)03-0077-04

Design of Silicone Toothbrush Head and its Mold Manufacturing Process

Yu Rongbiao¹, Wang Huaxing²

(1. Zhejiang Industry Polytechnic College, Shaoxing 312000, China; 2. Zhejiang Epik Pipeline Technology Co., Ltd., Shaoxing 312000, China)

Abstract : Starting from the analysis and comparison of the properties of traditional toothbrush bristles and silica gel toothbrush bristles, according to the characteristics of silica gel materials and the structural characteristics of toothbrush head and brush bristles, the step ideas and solutions for optimizing the design of brush bristles were put forward, and the manufacturing process of micro-holes in brush die was analyzed and studied. Through the analysis of cutting force, the bit fracture affecting micro-hole processing was determined. The main factors are cutting speed and depth. Finally, a series of technological parameters for micro-hole machining of brush head die were obtained through experimental verification on Carved Caver400TE. Through tabular analysis, more suitable manufacturing parameters were obtained. The validity and feasibility of this method were verified.

Keywords : silicone toothbrush ; micro hole ; brush head mold ; machining bit ; cutting speed ; cutting depth

传统牙刷刷毛一般由尼龙刷丝制成,易损伤牙龈,进而造成牙龈出血、萎缩,严重者可造成牙齿楔状缺损;从口腔中刷出的食物残渣易残留在刷毛间或刷毛孔中,且尼龙材料亲水,使用后刷头中易储存水分,食物残渣在潮湿的刷头环境中极利于病菌繁殖;尼龙刷毛易卷毛,不耐高温,不适宜高温杀菌,由此其使用寿命短,须经常换,造成大量资源浪费,不利于环保。

硅胶牙刷刷毛由硅胶制成。硅胶又称硅酸凝胶,是一种高活性吸附材料,属非晶态物质,主要成分为二氧化硅,化学性质稳定,不燃烧,不氧化,不降解,不变形,无毒、无味,不沾水(其吸水性<0.015%),高透气性,具有优异的生理惰性与化学惰

性。硅胶刷毛具有柔软、磨擦系数小,耐高温(可在 $\leq 260^{\circ}\text{C}$ 消毒),使用寿命长等性能,刷牙时不伤牙龈及牙釉质。鉴于上述优点,硅胶牙刷主要用于高档儿童日常口腔护理及牙龈保健按摩的牙刷上(见图1),深受儿童欢迎^[1]。



图1 儿童硅胶牙刷

基金项目: 浙江省教育厅 2018 年度高校访问工程师“校企合作项目”(2018150)

通讯作者: 俞荣标,讲师、工业设计师,主要从事工业产品设计与研发等工作 E-mail: rongbiaoyu@126.com

收稿日期: 2019-01-02

引用格式: 俞荣标,王华兴. 硅胶牙刷刷头设计及其模具制造工艺 [J]. 工程塑料应用, 2019, 47(3):77-80.

Yu Rongbiao, Wang Huaxing. Design of silicone toothbrush head and its mold manufacturing process[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(3):77-80.

表1为传统牙刷和硅胶牙刷性能对比。由表1可知,硅胶牙刷具有优越的性能,且硅胶为非石油产品,不依赖日益紧缺的石油资源,加之随着人们生活水平的提高,市面上越来越多的牙刷开始使用硅胶刷头,广大消费者也普遍对其给予了认可,可见硅胶牙刷的市场前景广阔,取代传统牙刷已成大势所趋。

表1 传统牙刷和硅胶牙刷性能对比

性能	毒性 / 味道	生理惰性 / 化学稳定性	环保 / 可降解	柔软 / 柔韧	耐高温 / 不易燃,不产生有害物质,易燃,产生有害物质	防滑性 / 差	弹性 / 防震 / 差
硅胶牙刷	无	优	是	优	不易燃,不产生有害物质,易燃,产生有害物质	良	优
传统牙刷	部分有	良	否	差	差	差	差

1 硅胶牙刷刷头结构优化设计

硅胶牙刷刷头是牙刷的关键部件,也是设计中的重点和难点。由于硅胶牙刷的刷毛应用了硅胶材料,且刷毛的特殊结构决定了硅胶刷毛必定为众多细长柱状结构体,但该柱状结构体的直径不可能设计成传统牙刷尼龙刷丝的直径,否则无法加工成型,一般设计成单根柱状结构体直径约等于一束传统牙刷尼龙刷丝直径;单根柱状结构体设计即为刷毛尖与刷毛根的直径相同,刷毛高度即为刷头模具成型孔深度,刷毛一般高度为9 mm,由于高度过高,导致刷头模具的成型孔长径比过大而无法加工。笔者所在小组经集体讨论提出:“台阶思路”优化刷毛结构设计,即为台阶状刷毛结构(见图2),设刷毛尖高度1.5 mm,刷毛中高度3 mm,刷毛根高度4.5 mm,以保证刷头模具的可加工性。

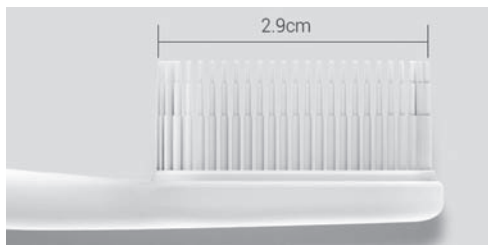


图2 优化的台阶状刷毛设计

2 硅胶牙刷刷头模具制造

2.1 加工难点分析

图3是根据硅胶牙刷刷头模设计的模具型腔的轮廓图,尺寸为118 mm×40 mm,一模六腔,中间为六个相同的刷头,每个刷头由221个刷毛孔组成,每一刷毛孔直径0.7 mm,孔深8 mm,一套模具孔数总共1326个。模具上沉头孔用于固定工件,销

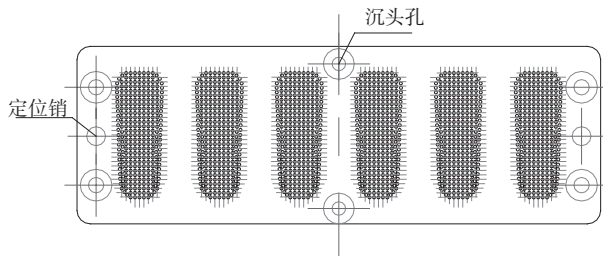


图3 模具轮廓图

钉孔用于定位工件。

在前期试制过程中,该刷头模具起初选用的是黄铜材料,由于黄铜磨损较快,故改用不锈钢材料。经多次试制研究和分析,该模具的加工难点主要集中在以下几个方面:

(1) 选用的304不锈钢材料,属难加工材料;

(2) 三种规格的孔的长径比都在6或7以上,钻孔过程中切屑排出困难,极易导致钻头折断;

(3) 由于液体的表面张力,切削液难以进入加工的孔内,加快钻头磨损,缩短钻头使用寿命;

(4) 一套模具的孔加工数量高达1326个,若加工中途钻头折断在孔内,则直接导致工件报废。

2.2 切削力分析

在加工钻孔研究过程中,时常有钻头折断的情况发生,加工过程极其不稳定。笔者经分析,钻头折断主要是由于微小钻头磨损后切削力瞬间显著增大所致^[2-3]。切削力与切除量有关,切除量由切削宽度和切削厚度所决定,在切削宽度一定的条件下,则切削力随切削厚度的变化而变化,切削厚度变化所引起的切削力称为瞬时动态切削力^[4]。在切削加工中,刀具与被加工工件表面接触,若出现某一不良情况,即在已切削工件表面上产生了振纹,则当刀具再加工至该振纹上时,切削厚度随之变动,继而导致切削力的波动及造成刀具与工件间相对振动,振纹自然被再一次放大^[5]。这样反复循环,将起初相对微小的振纹波逐渐扩散,殃及至工件的全部或大面积切削表面,造成颤振,进而引起钻头折断^[6]。

首先假定在小孔钻削加工过程中发生的颤振行为是一种频率与振幅均恒定的稳定颤振,设在小孔钻削的深度方向(X)任一时刻t的振动所引起的位移量是:

$$X(t) = X \cos(2\pi\omega t) \quad (1)$$

公式(1)中, ω 为振动频率,假设钻头旋转运动的回转周期为T,则在钻头当前回转运动的前一次回转过程中的钻削深度方向的位移为:

$$X(t-T) = x \cos[2\pi\omega(t-T)] = x \cos(2\pi\omega t + \varphi) \quad (2)$$

公式(2)中, φ 为钻头当前回转运动和前一次回转运动两次振动之间的相位差。设钻头回转一圈的振动次数为 ωT , 且钻头回转一圈的振动次数通常不是整数, 令 J_0 作为小数部分, 则 $\varphi = 2\pi(1 - J_0)$ 。

因此, t 时刻的钻削厚度方向的变化量为:

$$\Delta X = X(t-T) - X(t) \quad (3)$$

则 t 时刻的钻头切削力的变化量 (ΔF) 也就是动态切削力可表示为:

$$F_d(t) = k_d b [x(t-T) - x(t)] = 2k_d b \sin \frac{\varphi}{2} \times \left[x \cos(2\pi\omega t + \frac{\pi}{2} + \frac{\omega}{2}) \right] \quad (4)$$

在充分兼顾切入效应的情况下, 钻头切削力在 x 和 y 的分力为:

$$F_x = F_0 \cos \beta_0 + F_d \cos \beta_0 + F_p \cos(\beta_0 + \frac{\pi}{2}) \quad (5)$$

$$F_y = F_0 \sin \beta_0 + F_d \sin \beta_0 + F_p \sin(\beta_0 + \frac{\pi}{2}) \quad (6)$$

其中, $F_0 = k_0 b h$ 为静态切削力, k_0 为静态切削力系数, b 为钻头钻削宽度, h 为钻头钻削深度, β_0 为静态切削力和动态切削力之间的夹角,

$F_p = (\dot{x}/v)F_0$ 为切入力, v 为进给速度。

由式(4)~式(6)可以得到:

$$F_x = k_0 b h \left[\cos \beta_0 - 2 \frac{k_d}{k_0} \times \frac{h}{b} \times \frac{x}{b} \cos \beta_0 \sin \frac{\varphi}{2} \times \left[\sin(2\pi\omega t + \frac{\varphi}{2}) - \frac{\dot{x}}{v} \sin \beta_0 \right] \right] \quad (7)$$

$$F_y = k_0 b h \left[\sin \beta_0 - 2 \frac{k_d}{k_0} \times \frac{h}{b} \times \frac{x}{b} \sin \beta_0 \sin \frac{\varphi}{2} \times \left[\sin(2\pi\omega t + \frac{\varphi}{2}) - \frac{\dot{y}}{v} \cos \beta_0 \right] \right] \quad (8)$$

可见, 微小钻头磨损后钻削力瞬间显著增大, 钻头折断主要影响因素是切削速度和切削深度^[7-9]。

2.3 实验研究分析及加工参数确定

本次刷头模具的实验加工选用精雕 Caver400TE 进行, 其主轴径向跳动为 0.001 mm, 主轴最高转速 32 000 r/min, 首先对设备进行激光干涉仪补偿, X , Y , Z 三轴的重复定位精度分别补偿至 0.003, 0.003, 0.005 mm 以内; 检测并调整主轴振动, 尽量减少主轴振动对加工造成的影响。实验加工钻头选用直径为 0.7 mm 的涂层钻头, 钻头刃长在满足加工深度要求的前提下越短越好, 引孔使用专用的中心钻以保证引孔的精度和质量, 使用 MPM 动平衡仪检测主轴振动, 选择主轴振动较小且能兼顾加

工效果的最优转速进行加工, 最终确定主轴转速为 6 600 r/min, 实验不同的进给速度和切削深度对钻头寿命的影响, 每支钻头全部钻削至折断为止, 实验数据见表 2、表 3。

表 2 不同进给速度对钻头寿命的影响

主轴转速 / (r · min ⁻¹)	进给速度 / (mm · min ⁻¹)	吃刀深 度 / mm	加工深 度 / mm	加工时间 (单孔) / s	加工数 量 / 个
6600	250	0.05	8	171	81
6600	200	0.05	8	194	92
6600	150	0.05	8	129	48
6600	100	0.05	8	109	167
6600	70	0.05	8	136	305
6600	70	0.05	8	136	374
6600	70	0.05	8	136	310
6600	30	0.05	8	196	38
6600	30	0.05	8	196	50
6600	30	0.05	8	196	29

表 3 不同吃刀深度对钻头寿命的影响

主轴转速 / (r · min ⁻¹)	进给速度 / (mm · min ⁻¹)	吃刀深 度 / mm	加工深 度 / mm	加工时间 (单孔) / s	加工数 量 / 个
6600	70	0.2	8		第一个孔 折断
6600	70	0.1	8		第一个孔 折断
6600	70	0.08	8		第一个孔 折断
6600	70	0.07	8	86	38
6600	70	0.06	8	108	68
6600	70	0.05	8	136	310
6600	70	0.05	8	136	302
6600	70	0.05	8	136	285
6600	70	0.05	8	136	296
6600	70	0.03	8		第一个孔 折断

表 2 中最后 3 组数据表明: 如果进给速度太小, 会导致排屑不畅, 温度不易扩散, 因此钻孔数量均不多, 经验证进给速度 70 mm/min 是较为合适的参数。表 3 数据表明: 通过加大吃刀深度以提高加工效率是不可行的, 因此需要保证较小的吃刀深度, 经验证 0.05 mm 的吃刀深度是较为合适的参数。图 4 为刷头模具加工照片。



图 4 刷头模具加工照片

最终确定的刷头模具加工参数为主轴转速 6 600 r/min、进给速度 70 mm/min、吃刀深度 0.05 mm, 与原参数相比单孔加工时间提速 40%,

钻头总寿命减少为原来的82%,效率提升明显,图5为刷头模具加工结果。



图5 刷头模具加工图

3 结论

通过研究将硅胶材料应用于日常生活的牙刷产品中,并结合产品和硅胶材料的特点对硅胶牙刷的刷头进行结构优化设计,并对优化后的刷头模具众多细长孔加工工艺作系统研究^[10],通过对加工过程中切削力的分析,确定影响细长孔加工钻头折断的主要因素,最后通过加工实验,验证并得出理想的刷头模具细长孔加工工艺参数,从而降低了生产成本,提高了生产效率^[11]。

参考文献

- [1] 张文全,韦文术. 不锈钢小深孔高速钻削加工参数优化[J]. 煤矿机械,2011,32(4):119-121.
Zhang Wenquan, Wei Wenshu. Parameter optimization of high speed drilling in small and deep hole on stainless steel[J]. Coal Mine Machinery, 2011, 32(4):119-121.
- [2] 唐英,陈泽,吴权. 淬硬钢高速微小孔钻削工艺试验研究[J]. 工具技术,2011,45(2):67-72.
Tang Ying, Chen Ze, Wu Quan. Experimental study on high-speed micro-hole drilling technology for hardened steel [J]. Tool Engineering, 2011, 45(2):67-72.
- [3] 贾宝贤,边文凤,赵万生,等. 微细孔超声加工关键技术[J]. 机械工程学报,2007(11):212-216.
Jia Baoxian, Bian Wenfeng, Zhao Wansheng, et al. Key technologies in ultrasonic machining micro holes[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2007(11):212-216.
- [4] 付伟,范士娟,张海. 注射模具设计中浇口位置和结构形式的选用[J]. 工程塑料应用,2007,35(10):60-63.
Fu Wei, Fan Shijuan, Zhang Hai. Choice of gate location and structure form in injection mold design[J]. Engineering Plastics Application, 2007, 35(10):60-63.
- [5] 朱晓翠,韩雪冰,赵云飞,等. 变进给量振动钻削提高微小孔加工质量的分析[J]. 工具技术,2006(4):54-57.
Zhu Xiaocui, Han Xuebing, Zhao Yunfei, et al. Study on improving micro-hole machining quality by varying feed rate vibration drilling[J]. Tool Engineering, 2006(4):54-57.
- [6] 张鹏,李先昊,张德远. 实用化振动切削技术—微小孔振动钻削工艺及设备[J]. 新技术新工艺,2007(1):33-34.
Zhang Peng, Li Xianhao, Zhang Deyuan. Practical vibration cutting technology-vibration micro-drilling technology and equipment[J]. New Technology & New Process, 2007(1):33-34.
- [7] 张鹏. 难加工材料微小孔振动钻削及去毛刺技术研究[D]. 北京:北京航空航天大学,2007.
Zhang Peng. Vibration drilling and deburring technology for micro-holes in difficult-to-machine materials[D]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2007.
- [8] 裴永臣. 微小孔钻头的动态应力研究[D]. 长春:吉林大学,2005.
Pei Yongchen. The dynamic stress study for micro-drills[D]. Changchun: Jilin University, 2005.
- [9] 袁忠宇. 深孔钻削加工的振动分析及仿真[D]. 兰州:兰州理工大学,2005.
Yuan Zhongyu. Vibration analysis and simulation of deep hole drilling[D]. Lanzhou: Lanzhou University of Technology, 2005.
- [10] 杨兆军,杨永海,贾庆祥,等. 通过轴向力监测预报微钻头折断的研究[J]. 光学精密工程,2003,11(5):477-480.
Yang Zhaojun, Yang Yonghai, Jia Qingxiang, et al. Prediction of micro drill break through thrust monitoring[J]. Optics and Precision Engineering, 2003, 11(5):477-480.
- [11] 贾宝贤,边文凤,赵万生,等. 微细孔超声加工关键技术[J]. 机械工程学报,2007(11):212-216.
Jia Baoxian, Bian Wenfeng, Zhao Wansheng, et al. Key technologies in ultrasonic machining micro holes[J]. Chinese Journal of Mechanical engineering, 2007(11):212-216.
- [12] 张建卿. 洗涤剂屏蔽盖双滑动三次抽芯注塑脱模机构设计[J]. 塑料科技,2016,44(1):87-89.
Zhang Jianqing. Demoulding mechanism design for the injection molding of washing machine shield cover with thrice slide-drawing and double T-grooves[J]. Plastics Science and Technology, 2016, 44(1):87-89.
- [13] 梅益,朱春兰,宋沛毅. 短固定手柄套多侧向抽芯注塑模具设计[J]. 工程塑料应用,2018,46(4):75-79.
Mei Yi, Zhu Chunlan, Song Peiyi. Design of injection mould with multi side core-pulling for short fixed handle sleeve[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(4):75-79.

(上接第76页)

- Qi Xiaojie. Plastics molding technology and mould design[M]. Beijing: China Machine Press, 2013.
- [9] 陈志刚. 塑料模具设计[M]. 北京:机械工业出版社,2009:162-163.
Chen Zhigang. Plastic mould design[M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2009:162-163.
- [10] 模具实用技术丛书编委会. 塑料模具设计制造与应用实例[M]. 北京:机械工业出版社,2002.
Mould Practical Technology Committee. Examples of plastic mold design. manufacturing and application[M]. Beijing: China Machine Press, 2002.