

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2019.04.020

腐竹切割刀具优化设计分析

Optimum design and analysis of yuba cutting tool

杜长强¹ 许良元²DU Chang-qiang¹ XU Liang-yuan²

(1. 宿州职业技术学院, 安徽 宿州 234000; 2. 安徽农业大学, 安徽 合肥 230000)

(1. Suzhou Vocational and Technical College, Suzhou, Anhui 234000, China;

2. Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui 230000, China)

摘要:使用 Solidworks 软件分别对圆形切刀和直刃平刀进行静力学分析和模态分析,同一试验条件下进行质量、体积磨损试验,得出 2 种形状刀具在作业中的应力、应变、位移量及磨损量等数据。通过综合分析,直刃平刀切割磨损量小,稳定性好,更适合连续机械化切割,优选直刃平刀作为腐竹切割机械的主体刀具。

关键词:切割刀具;静力学分析;模态分析;磨损

Abstract: The Solidworks software is used to analyze the statics and modal of the circular cutter and the straight blade knife. In the same test condition, the mass and volume wear tests of circular and straight-edged cutting tools were carried out, and the data of stress, strain, displacement and wear about the two kinds of shape cutting tools in the operation were obtained. Through comprehensive analysis, it is found that the straight blade flat cutter has less wear and better stability, and is more suitable for continuous mechanized cutting. The straight blade flat cutter is preferably selected as the main cutting tool of the bean curd stick cutting machine.

Keywords: cutting tool; analysis of statics; modal analysis; abrasion

切割作业是腐竹生产加工过程中的重要环节,传统的腐竹切割采用手工剪切,切割断面参差不齐。近年来,腐竹的加工生产开始由手工作业转向机械自动化加工,机械切割形成的断面整齐,加工质量好。腐竹机械切割的主要部件切割刀具是影响腐竹切割质量的关键因素,由于腐竹切割机械应用还处于起步阶段,有关腐竹切割机械切割刀具优化设计方面的专题研究尚未见报道。本

研究拟通过 Solidworks 软件进行三维建模,模拟腐竹切割作业时切割刀具的实际工作条件,针对不同形状刀具的受力状况和磨损量等方面进行分析比较,从而优选最佳的刀具设计方案^[1]。

1 不同形状刀具的静力学分析

腐竹切割刀具选用金属 65MnMoTi4 钢,材料类型为各线性弹性材料模型,密度为 $7.8 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$,弹性模量为 $2.1 \times 10^{11} \text{ kPa}$,泊松比为 0.3。

1.1 圆形切刀刀具静力学分析

在 Solidworks 三维模型建模时,使用网格对圆形切刀刀具进行分块处理,完成后加入负载。在圆形切刀面建模时采用网格细化处理,使用较小的网格分析出较为精确的模型参数^[2]。

使用螺栓紧固刀架与圆形切刀,建模时在切刀中心位置添加刀架与刀具的约束定义。圆形切刀工作时,刃口在加工位置的接触面均为正切状态,而至施加切割力的界限条件:刃口位置加以 300 N 的力^[3],方向为垂直刃口,增加位移变形量与应力量来求解。

加载在正切的刃面压力为:

$$P = F \div S = 300 \text{ N} \div 28.26 \text{ mm}^2 = 10.61 \text{ MPa}。$$

图 1 显示当负载施加于刃口峰面的应力最大值为 $1.688 \times 10^{11} \text{ MPa}$,小于材料的屈服强度(应力)620 MPa;

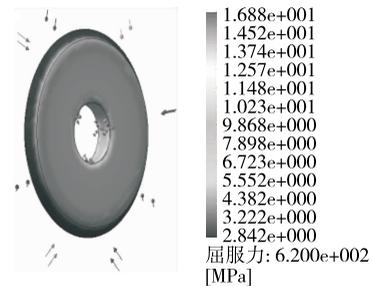


图 1 应力图

Figure 1 Stress map

基金项目:2017 年度安徽省高校自然科学重点项目(编号: KJ2017A655)

作者简介:杜长强(1971—),男,宿州职业技术学院副教授,硕士。E-mail: 821258901@qq.com

收稿日期:2019-02-01

刃口受到安全应力值,变形比例为 6 578.21。图 2 显示应变最大值为 5.528×10^{-5} mm,最大应变在切刀的刀柄位置,应变向刀尖处递减,图 3 显示位移量最大值为 4.563×10^{-4} mm,图中位移量的最大值在直刃平刀的刀柄位置,位移量向刀尖处递减。

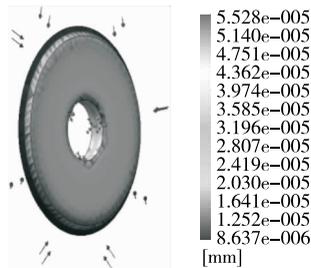


图 2 应变图

Figure 2 Strain diagram

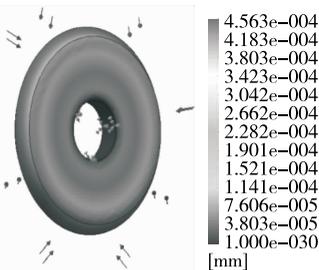


图 3 位移图

Figure 3 Displacement maps

1.2 直刃平刀静力学分析

直刃平刀采用斩切的作业方式,其力学分析方式与圆形切刀刀具相同。为获取更加精确的应力、应变、位移量等数据,对刃口进行细化网格处理,对刀面固定位置采用精确网格处理,进行分层次划分。

加载在正切的刀面压力为:

$$P = F \div S = 300 \text{ N} \div 538.59 \text{ mm}^2 = 0.56 \text{ MPa}.$$

图 4 显示当负载施加于刃口峰面的应力最大值为 5.764×10^1 MPa,小于材料的屈服强度(应力) 2.012×10^2 MPa,刃口受到安全应力值,变形比例为 17.877 2。图 5 显示位移量最大值为 2.686×10^0 mm,位移量的最大值在直刃平刀的刀尖位置,位移量向刀柄处递减。图 6 显示应变最大值为 8.050×10^{-4} mm,最大应变在刀具的刀柄位置,应变向刀尖处递减。

1.3 刀具静力学指标对比分析

1.3.1 刀具应力分布分析 根据 2 种刀具的静力学仿真试验可得,最大变形处离设置约束处最远,即刀具刀头端点部位。因此,无论刀具作业时受力如何,刀具的刃口表面都会受到离固定点由远及近变形和位移的影响,致使腐竹的切割刀具刃口表面从固定点开始向端口处变形(与刀架的固定处变形最小)。由分析得出应力最大处在

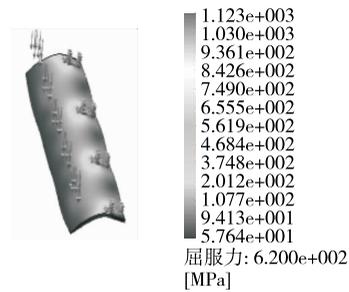


图 4 应力图

Figure 4 Stress map

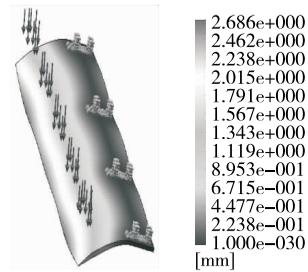


图 5 位移图

Figure 5 Displacement diagram

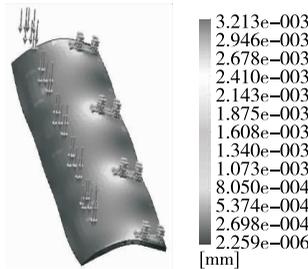


图 6 应变图

Figure 6 Strain diagram

固定点周围集中,与工厂实际生产中刀具毁坏的位置相同。分析得出应力最小处为切割接触的刃口面。

1.3.2 不同形状刀具的应力分析 2 种不同形状刀具的静力学数值见表 1。

从表 1 可以得出:直刃平刀有着较好的分析数据,直刃刀具的变形比例远远小于圆形刀具。当切割刀具作业时,直刃刀具刀身承受的应变量为最大,直刃平刀具有良好的应变稳定性,作业过程中可以使应变量的数值大大降低,更能提高稳定性。实际生产过程中,在传输带上切割腐竹时,切刀反复进行垂直的全切刀斩切操作,此时的应力数据应为最大值。因此对全切刀斩切操作过程数据进行建模仿真,以此优化刀具固定位置的尺寸,对于增加作业过程中切刀的稳定性,延长切刀的使用寿命有着重要的研究价值。

1.4 切割刀具 Solidworks 模态分析

1.4.1 模态分析的意义 模态分析的作用是计算出模型的模态参数,为结构系统的振动特性分析、振动故障诊断

表 1 2 种刀具静力学指标分析表

Table 1 Static index analysis of two kinds of cutting tools table

名称	应变最大值/mm	应力最大值/MPa	变形比例	位移量最大值/mm
圆形切刀	5.528e-005	1.688e+001	6 578.21	4.563e-004
直刃平刀	8.050e-004	2.012e+002	17.877 2	2.686e+000

和预报以及结构动力特性的优化设计提供依据^[4]。在承受动态载荷结构设计中,振型和固有的频率为重要的参数,通过模态分析可以研究分析。

1.4.2 模态分析基础 典型的无阻尼模态分析求解方程为^[5]:

$$[M]\{\ddot{x}\} + [K]\{x\} = \{0\}, \quad (1)$$

结构的自由振动为简谐振动,即位移是正弦函数 $x = x \sin(\omega x)$,代入式(1)得:

$$([K] - \omega^2 [M])\{X\} = \{0\}, \quad (2)$$

式(2)为经典的特征值问题,此方程的特征值为 ω_i^2 ,

其开方 ω_i 为自振圆频率,自振频率 $f = \frac{\omega_i}{2\pi}$ 。特征值 ω_i

对应的特征向量 $\{x\}_i$ 为自振频率 $f = \frac{\omega_i}{2\pi}$ 对应的振型。

式(2)、 $f = \frac{\omega_i}{2\pi}$ 为特征值与特征向量的求解,模态分析需

定义材料的弹性模量、泊松比及材料密度^[6]。

1.4.3 圆形切刀刀具模态分析 在 Solidworks 仿真模型中,根据切刀作业时振动状况,使用网格对圆形切刀刀具进行分块处理,再通过模态分析处理。在圆形切刀面建模时采用网格细化处理,使用较小的网格,分析出较为精确的模型参数^[7]。从图 7 可得:在固定约束条件下,刀具的共振频率最大为 2.009e+004 Hz,其值从刀具外沿向固定位置递减。固定位置共振频率为 0 Hz,为刀具共振频率的最小值。

1.4.4 直刃平刀刀具模态分析 直刃平刀模态分析处理方法与圆形切刀相同,建模时采用网格细化处理,使用较小网格分析出较为精确的模型参数,再进行模态分析处理。从图 8 中可以得出,在固定约束条件下,刀具的共振频率最大为 2.648e+003 Hz,其值从刀具外沿向固定位置递减。固定位置共振频率为 0 Hz,同样为刀具共振频率的最小值。

1.4.5 刀具模态云图对比分析 通过以上 2 种刀具的模态分析得出:共振频率最大值所在位置离固定约束条件点最远,即为刀具的刀端头部位。因此,无论刀具在作业时频率如何,刀具刃口表面都会受到离固定点由近及远变形和位移的影响,最小的共振频率在刀身的固定位置^[8],与工厂实际生产中刀具毁坏的位置相同,分析得出频率最小处在切刀固定点位置。

1.4.6 2 种刀具的数据对比分析 具体参数见表 2。

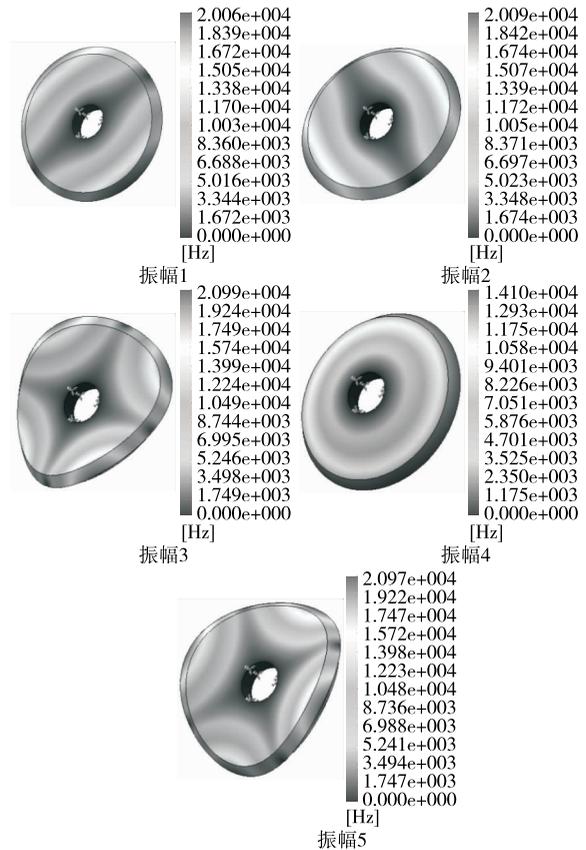


图 7 圆形切刀五阶变形云图

Figure 7 Fifth order deformation cloud image of circular cutter

表 2 2 种刀具模态分析数据比较表

Table 2 Comparing tables of modal analysis data for two kinds of cutters

名称	频率最大值/Hz	应力最大值/MPa	变化率/%
圆形切刀	2.099e+004	2.012e+002	29.00
直刃平刀	2.648e+003	1.688e+001	5.33

从表 2 可以得出,直刃平刀有着较好的分析数据,在切刀的模态分析中,直刃刀具频率最大值为 2.648e+003 Hz,应力最大值为 1.688e+001 MPa,直刃平刀作业过程中可以使频率和应力值大大降低,具有更好的稳定性。输送带和腐竹移动过切刀时,切刀在气动泵的推动下快速斩断腐竹,在传输带上切割腐竹时,切割的瞬间应力和频率达

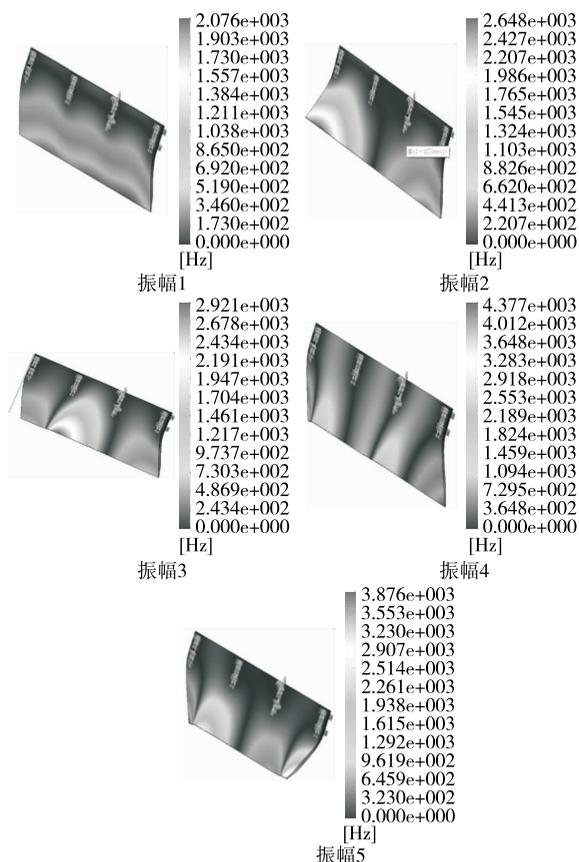


图 8 直刃平刀五阶变形云图

Figure 8 Five-order deformed cloud image of straight blade flat knife

到最大数值。因此,降低工作频率对增加作业过程中切刀的稳定性,延长切刀的使用寿命有着重要的研究价值。

2 刀具动态分析

2.1 试验材料

腐竹:凉水泡发的新鲜腐竹;

圆形切刀与直刃平刀:65MnMoTi4 钢材料。

2.2 试验方法

在实际工作中,常采用的测量切刀刀具磨损方法有测质量磨损和测体积磨损 2 种,试验侧重于质量磨损量的测量。

就 2 种刀具而言,对腐竹作业加工的刀具刃口位置相同。2 种刀具的长度参数与厚度参数为主要测量点^[9]。厚度参数数值是从刃口起延伸至刀背处 1 mm 位置进行测量,在测量过程中要清洁被测物,尽量减小测量误差。

2.2.1 质量磨损测量 利用称重来测定磨损量^[10]。质量磨损量按式(3)计算:

$$\Delta W = W_b - W_o, \tag{3}$$

式中:

ΔW ——质量磨损量,g;

W_b ——磨损前试样质量,g;

W_o ——磨损后试样质量,g。

2.2.2 体积磨损测量 利用尺寸测量工具(游标卡尺、螺旋测微器等),测出 2 种刀具长度和厚度法向尺寸的磨损数据,磨损量按式(4)计算:

$$\Delta H = H_b - H_o, \tag{4}$$

式中:

ΔH ——尺寸磨损量,mm;

H_b ——磨损前试样法向尺寸,mm;

H_o ——磨损后试样法向尺寸,mm。

而后抽样测试,随机抽取刀具,对刀具尺寸进行采集,采集的位置图如图 9 所示。

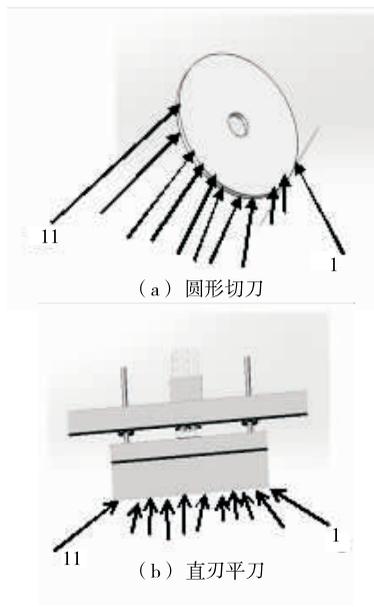


图 9 2 种刀具采集点位置图

Figure 9 Position of collecting point of circular cutter

2.3 试验结果与分析

2.3.1 质量磨损量 从表 3 可知,圆形切刀作业后质量变化较大,由于圆形刀具刀口厚度较薄,作业时对传输带上某点进行反复滑切,造成磨损较为严重,差值达到了 0.93 g,且影响加工食材安全性。直刃平刀作业时,切割方式为线与面切割,与传输带和腐竹接触面较大,反复切割磨损较小,磨损量差值为 0.06 g。通过比较分析,选择直刃平刀作为腐竹的切割刀具。

2.3.2 体积磨损量 从表 4 可以看出,圆形切刀的体积磨损远大于直刃平刀,由于圆形刀具刀口厚度较薄,体积小而造成切割处磨损严重,长度磨损量为 0.040 mm,厚度磨损量达到 0.180 mm,直刃平刀工作于线与面切割状态^[11],且有缓冲台,大大减少了作业的磨损,长度磨损量为 0.000 mm,厚度磨损量为 0.010 mm,故选取直刃平刀作为腐竹的切割刀具。

表 3 2 种刀具质量磨损量分析

Table 3 Analysis of wear amount of two kinds of tools

g		
刀号	圆形切刀	直刃平刀
1	0.72	0.10
2	0.72	0.07
3	1.02	0.08
4	1.54	0.04
5	0.78	0.06
6	0.99	0.07
7	1.71	0.04
8	0.72	0.02
9	0.45	0.07
10	0.61	0.06
平均值	0.93	0.06

表 4 2 种刀具体积磨损量分析

Table 4 Analysis of volume wear amount of two kinds of tools

刀点	圆形切刀		直刃平刀	
	长度	厚度	长度	厚度
1	0.040	0.150	0.000	0.010
2	0.030	0.150	0.000	0.010
3	0.030	0.170	0.000	0.020
4	0.040	0.110	0.000	0.010
5	0.050	0.170	0.000	0.010
6	0.060	0.210	0.000	0.000
7	0.040	0.170	0.000	0.010
8	0.040	0.100	0.000	0.000
9	0.060	0.260	0.000	0.000
10	0.040	0.230	0.000	0.020
11	0.040	0.240	0.000	0.010
平均值	0.040	0.180	0.000	0.010

3 结论

通过对腐竹切割作业中的直刃平刀与圆形切刀进行

静力学分析,得到腐竹切割作业中的应力、应变、位移量等数据;通过磨损质量和体积动态数据的分析,发现圆形切刀切刃上长度与厚度上的磨损量都大于直刃平刀,圆形切刀在作业过程中,刃口处磨损严重,相应会增加生产成本。通过综合分析,选择直刃平刀。在磨损量上的数据均优于圆形刀片,且直刃平刀更适合连续机械化切割,对提高腐竹生产有着重要的研究意义,同时,在食品加工及其他用途刀具的优化设计和选用方面,同样有着重要的参考价值。本研究仅仅选了 2 种形状的刀具进行优化分析,具有一定的局限性,后续可选用多种形状刀具进行优化分析。

参考文献

[1] 袁夫彩, 孙海亮. 一种新型腐竹生产设备的研究[J]. 食品与机械, 2015, 31(3): 119-121, 144.

[2] 秦燕, 黄琼涛, 张荣强, 等. 基于 SolidWorks 零件曲线参数化设计系统的研究[J]. 机械设计, 2015, 12(1): 114-118.

[3] 张胜民. 基于有限元软件 ANSYS 7.0 的结构分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003: 46-49.

[4] 袁志林, 高翠芝, 江海蛟, 等. 基于 ABAQUS 的 PET 切片包装机钢结构有限元分析[J]. 包装与食品机械, 2018, 5(6): 45-49.

[5] 安红印. 两轴速率转台 U 型架结构设计及有限元分析[J]. 锻压装备与制造技术, 2018, 53(6): 66-69.

[6] 杨广泽, 李振亮. 概率筛筛箱有限元分析[J]. 煤矿机械, 2016, 26(1): 112-114.

[7] 徐颀, 蔡春源. 机械设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000: 9, 33-37.

[8] 田家林, 袁长福. 输气管道气固耦合振动特性分析[J]. 机械科学与技术, 2016, 35(7): 1 028-1 034.

[9] 曹雷. 羽毛球训练机结构设计及研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2018: 52-53.

[10] 王洪发. 金属耐磨材料的现状与展望[J]. 铸造, 2000, 49(增刊): 577-581.

[11] 王洪琪, 蔡金君. 卧螺机模态分析及结构优化[J]. 过滤与分离, 2012, 22(2): 15-17.

(上接第 96 页)

[9] SHI Qi-long, XUE Chong-hu, ZHAO Ya, et al. Drying characteristics of horse mackerel (Trachurus japonicus) dried in a heat pump dehumidifier[J]. Journal of Food Engineering, 2008, 84(1): 12-20.

[10] 张绪坤, 李华栋, 徐刚, 等. 热泵干燥系统性能试验研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(4): 94-98.

[11] 张联英, 付永霞, 张宏飞, 等. 闭式热泵干衣机干衣性能实验研究[J]. 上海理工大学学报, 2013, 35(4): 382-386.

[12] 刘林, 王强. 热式热泵干燥装置的设计分析[J]. 制冷与空调: 四川, 2018, 32(5): 520-523.

[13] 胡传坤, 高建民, 张璧光. 木材除湿干燥过程中循环风旁通率调控理论分析[J]. 干燥技术与设备, 2011(5): 239-245.

[14] 刘圣春, 李雪强, 邹文思. 带辅助冷凝器的封闭式热泵干燥系统理论分析[J]. 制冷与空调, 2014, 14(12): 59-62.

[15] 陈东, 谢继红. 热泵干燥装置[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007: 3-4.

[16] MINEA V. Drying heat pumps-Part II: Agro-food, biological and wood products[J]. International Journal of Refrigeration, 2013, 36(3): 659-673.

[17] SEYFI Şevik. Mushroom drying with solar assisted heat pump system [J]. Energy Conversion & Management, 2013, 72(72): 171-178.