

*For citation:* Xie Yi. Structural design of a bar cutting machine // Grand Altai Research & Education — Issue 2 (22)'2024 (DOI: 10.25712/ASTU.2410-485X.2024.02) — EDN: <https://elibrary.ru/YZPUXQ>

UDK 666.9.05

## STRUCTURAL DESIGN OF A BAR CUTTING MACHINE

Xie Yi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> School of Mechanical Engineering and Automation, Wuhan Textile University, Wuhan, 430073, China  
E-mail: xieyi9963@163.com

**Abstract.** Aiming at the current bar cutting machine there are problems such as workpiece clamping is not firm and low machining accuracy, this paper proposes a cutting machine improvement method. First of all, based on solidworks software for three-dimensional modeling, the mechanical structure design of bar fixture, cutting blade, guide rail, frame structure. And finite element analysis was used to simulate the working condition of the bar fixture machining process, and the results show that the V-shaped fixture reduces the positioning error and improves the stability of the bar position and the machining accuracy of the workpiece. The bar cutting machine designed in this paper can enhance the stability of the bar position and the quality of bar cutting in the cutting process.

**Keywords:** Bar Cutting Machine; Structural Design; 3D Modeling; finite element analysis

## 一种棒料切割机的结构设计

谢艺<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 武汉纺织大学，湖北省数字化纺织装备重点实验室，机械工程与自动化学院，武汉，430073  
E-mail : xieyi9963@163.com

**摘要:** 针对当前棒料切割机存在工件夹持不牢和加工精度低等问题，本文提出一种切割机的改进方法。首先，基于 solidworks 软件进行三维建模，对棒料夹具，切割片，导轨，机架结构进行了机械结构设计。并采用有限元分析，对棒料夹具加工过程的工作情况进行模拟，结果表明：V型夹具降低了定位误差，提高了棒料位置的稳定性和工件的加工精度。本文设计的棒料切割机，能够在切割过程中增强棒料位置的稳定性以及棒料切割的质量。

**关键词:** 棒料切割机；结构设计；三维建模；有限元分析

## 0 引言

在现代制造业中,棒料切割机广泛应用于机械制造,汽车工业,航空航天等领域 [1]. 传统棒料切割机可以切割棒材的直径范围为 20mm~200mm, 在相同的加工条件下,是锯切的切割效率的 20 倍左右,且切口断面质量好 [2]. 然而,随着设计理念不断创新,应用领域不断扩大,传统的棒料切割机因其自动化程度低,加工过程中棒料稳定性差和切割质量低等缺陷已经不能满足现代工业发展的低成本,高生产率的需要 [3].

针对这一问题,本文旨在对棒料切割机进行改进,设计一个便于使用和维护具有高度智能和简单结构的棒料切割机装置. 其具有切割过程中棒材位置稳定,提高棒料质量的优点. 以下具体介绍了棒料切割机的工作原理,以及棒料切割机的夹具,切割片,导轨和机架 4 个部分的设计原理.

## 1 棒料切割机工作原理

棒料切割机的设计基于机械切削原理和材料塑性变形理论. 在刀具与棒料接触,通过刀具旋转或往复运动对棒料施加力,从而对棒料进行切割,在切割过程中,棒料在塑性变形作用下导致局部温升,局部升温进一步引发热软化,使棒料更易于切割. 棒料切割机的工作步骤如下:

1. 送料系统送入棒料;
2. PLC 程序控制棒料进入切割系统,并驱动电机控制切割片,切割出符合生产要求的棒料;
3. 切割完毕电机停止,成品棒料通过出料口送至成品托盘. 由此完成一个完整的流程.

棒料切割机系统具体如图1 所示. 包括棒料切割装置,棒料夹紧装置,棒料送料装置,控制系统装置 4 个组成部分. 其中棒料切割装置由电机,带轮,切割片和气缸构成,电机提供动力驱动带轮控制切割片完成圆周旋转运动,再由气缸控制切割片上下(前后)移动完成切割;棒料夹紧装置主要采用气缸,棒料夹具构成,气缸驱动一个固定的夹具,使之达到一个伸缩状态,以此来实现棒料的夹紧和放松;棒料送料装置由步进马达,丝杆,导轨构成,伺服电机作为动力源,通过与丝杆相连,导轨作为定位件,使夹紧装置沿导轨前进或返回;控制系统装置,负责控制整个系统的进行,使棒料按照导轨从夹紧装置运输到切割装置完成棒料的切割. 棒料的前进速度和切割速度都可以通过控制系统来进行调节.

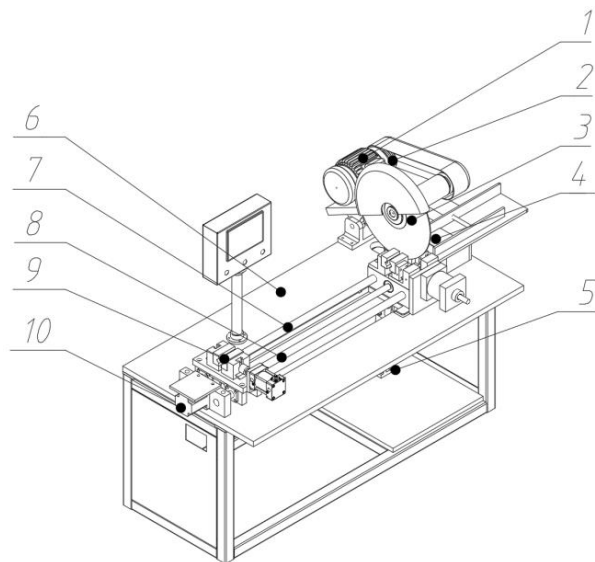


图1 棒料切割机结构图

- 1) 电机; 2) 带轮; 3) 切割片; 4) 成品托盘;  
5) 气缸; 6) 机架; 7) 导轨; 8) 丝杆;  
9) 棒料夹具; 10) 步进电机
- Figure 1. Structure of bar cutting machine  
1) Motor; 2) Belt wheel; 3) Cutting blade;  
4) Finished product pallet; 5) Cylinder;  
6) Frame; 7) Guide rail; 8) Screw;  
9) bar fixture; 10) stepping motor

## 2 主要零部件的结构设计

### 2.1 棒料夹具的设计

夹具由两块 V 型块组成, 可更好的固定和夹持形状类似圆柱体的棒料并且更换方便, 结构简单. 具有在切割过程中棒料的位置稳定等优势.

V 型块材料选用 45 号钢, 硬化处理后保证其具有足够强度以达到使用要求. 并将聚氨酯树脂贴附于 V 型块内表面与棒材的接触面, 以便更好地对棒料外部起到防护作用. 夹具的表面经过抛光处理, 以避免在加紧工序中损坏工件的表面, 夹具如图2 所示.

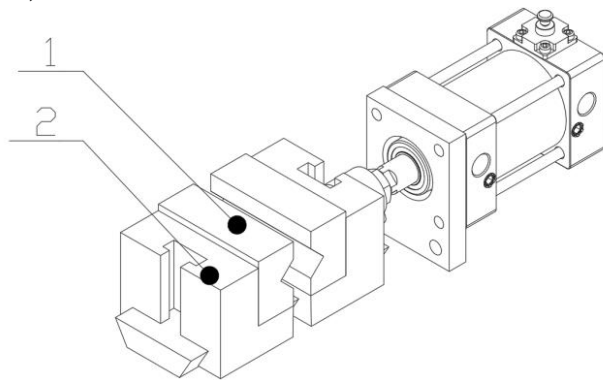


图2 棒料抓取示意图

- 1) 棒料夹具; 2) 夹具座
- Figure 2. Schematic diagram of bar gripping  
1) Bar fixture; 2) Fixture holder

从图3 中可以看出, 棒料的外圆柱面被定位在 V 型块上, 其定位面的外径存在公差  $\delta D$ , 假设  $\delta D=0.01\text{mm}$ , 在一批棒料中, 当直径从最小的  $D-\delta D$  增加到最大值  $D$  时, 工件中心 (即定位基准) 是在 V 型块对称的中心平面上上下运动, 即工件的中心由  $O_1$  移动到  $O_2$ , 即基准位移误差  $\Delta Y$ , 根据图3 (a) 几何关系得到:

$$\Delta Y = O_1O_2 = \frac{\delta D}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} \quad (1)$$

其中  $\alpha$  为 V 型块的开口角度, 根据图3 (b) 设计参考点和定位参考点不重叠, 假定定位参考点  $O_1$  不动且棒料直径从最小  $D-\delta D$  改变至最大  $D$ , 则设计参考点改变量  $\delta D/2$ , 即基准不重合误差  $\Delta B = \delta D/2$ .

由图3 (c) 知道设计的参考点是该部件的下母线. 其含义是从  $\alpha$  至  $\alpha'$  方向和定位参考点变向相反, 因此, 定位误差  $\Delta D$  等于  $\Delta Y$  和  $\Delta B$  之差.

$$\Delta D = \Delta Y - \Delta B = \frac{\delta D}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} - \frac{\delta D}{2} \quad (2)$$

计算得出  $\Delta D = 0.00207 < \frac{1}{3}T$  ( $T$  为公差), 相较于传统夹具, 可以提高工件的稳定性.

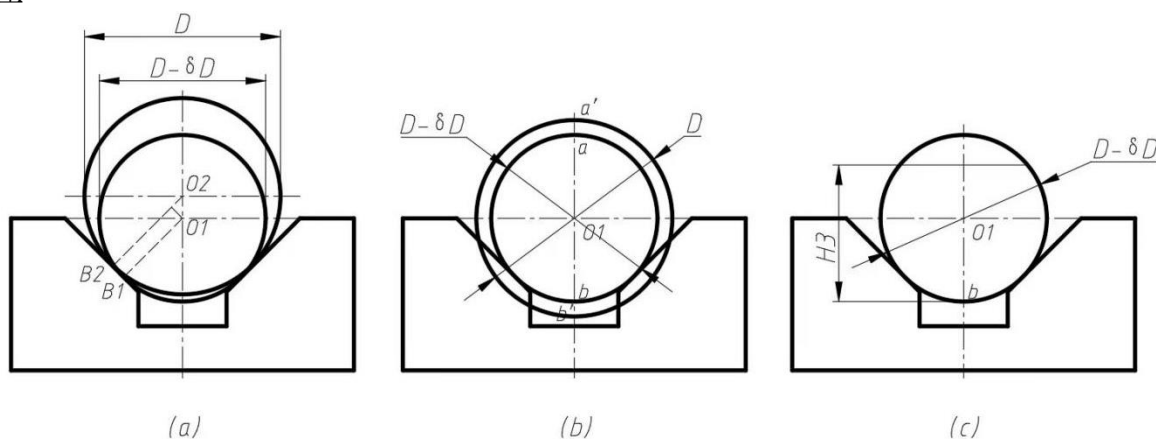


图3 V 型夹紧示意图:

- (a) 为工件在 V 型块上的定位示意图; (b) 为基准不重叠误差分析;  
(c) 为设计参考点与定位参考点关系

Figure 3. Schematic diagram of V-clamping:

- (a) for the workpiece positioning on the V-block schematic;  
(b) for the benchmark does not overlap the error analysis;  
(c) for the design of the reference point and the positioning reference point relation

棒料切割机在运行过程中夹具会随着运动状况的变化, 涉及到压溃, 拉伸, 剪切和塑性变形等三维变化, 其中夹具的应力变化会直接影响到棒料切割机的加工性能. 为此借助 SolidWorks 软件中 simulation 插件对棒料夹具进行简单的静力学分析. 仿真结果如图4 所示, 从图中可以看出, 由于零件受到外部扭矩的影响, 最小应力在夹具的右侧, 最大应力在夹具材料的顶部, 最大应力只有 1.657MPa, 45 号材料的屈服应力为 530.0MPa, 该应力远远高于实际生产应力, 满足应用要求.

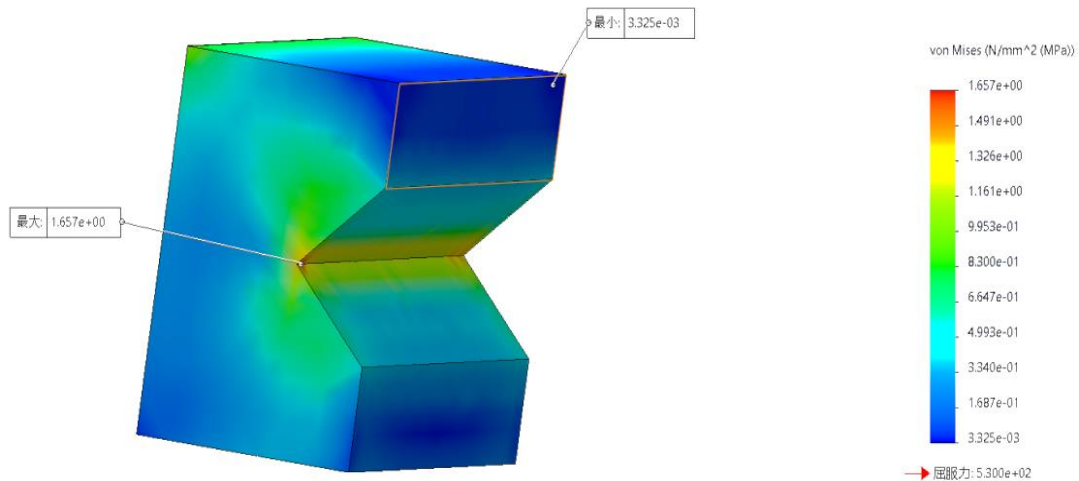


图4 送料夹具应力分析图

Figure 4. Stress analysis diagram of feeding fixture

## 2.2 切割片的设计

切割片是棒料切割机的主要切割工具，合适的切割片也决定了棒料的加工精度。切割片的切割性能的优劣取决于切割片的制造的材料。

对此，本文改进了切割片，切割片宽度窄节约原材料，且改进后的切割片材料选取了高性能高速钢，其具体参数如表1所示，三维模型如图5所示。高速钢具有高硬度和耐磨性在切割过程中能够保持高效的切削性能。且其在高温条件下仍可保持高硬度和高强度，使切割出的棒料光滑无毛刺且加工速度快等优点，提高了工件的加工质量和效率。此外，还可以减少因切削过程中产生的高温导致的刀具磨损，因此适用于棒料切割机的切割片。

表1 高速钢性能参数表

Table 1. Performance parameters of high speed steel

牌号	硬度/HRC	抗弯强度/GPa	冲击韧度/(MJ·m <sup>2</sup> )	600°时硬度/HRC
W6Mo5Cr4V3	65~67	1.5~2.1	0.25~0.35	51.7

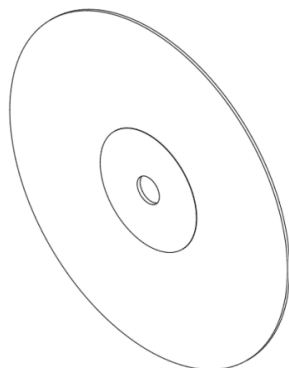


图5 切割片示意图

Figure 5. Schematic diagram of cutting blade

## 2.3 导轨的设计

导轨做为棒料抓手往复运动的辅助支撑零件,在直线轴承中,导轨的外圆周经常发生位移,这就需要通过让圆柱度和跳动等表面公差最小化.导轨直接加工在光轴  $\Phi 35$  上,使用光轴的好处是不需要加工圆柱面,从而节省时间,并且镀铬材料的强度足以满足应用的要求.导轨示意图如图6所示.

零件图显示了  $\Phi 35$  直线轴承接触面,用于安装和高度调整的 M12 $\times$ 1.5 螺纹螺母,以及右侧用于安装固定导轨的 M10 螺纹孔.导轨的材料一般为 45 号钢,40Cr, 高温合金等.考虑到轴受到循环外力时发生的共振.由于外力引起的轴的共振应被避免,以便轴和设备的寿命不受影响.本文导轨的材料采用 45 号钢,因其具有很高的强度,能够满足轴的高扭矩要求,并且在硬化处理后的硬度为 HB 220-230.

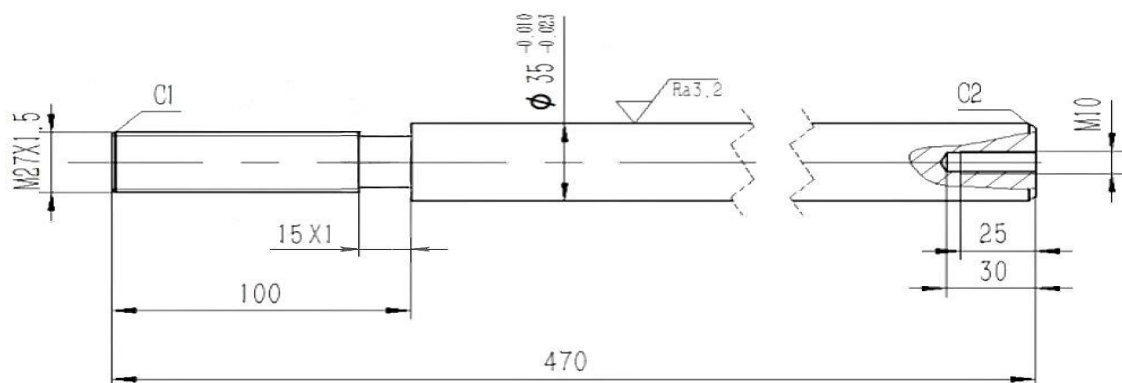


图6 导轨示意图

Figure 6. Schematic diagram of the guide rail

## 2.4 机架的设计

机架的一般分类有: (1) 梁柱式机架; (2) 框架式机架; (3) 平板式机架; (4) 箱壳式机架等. 由于棒料切割机的工作震动较大,支撑在机架上的传动装置和托料架总体重量大概有 200KG. 所以在满足强度和刚度的前提下,本文选定机架结构为框架式机架中的平板式机架,机架材料为 Q235A, 调质处理, 硬度 170HBS. 机架的重量轻,成本低,抗振性好,且便于铸造,焊接和机械加工 [4].

棒料切割机综合各方面考虑设计出机架的外形为如图7所示:

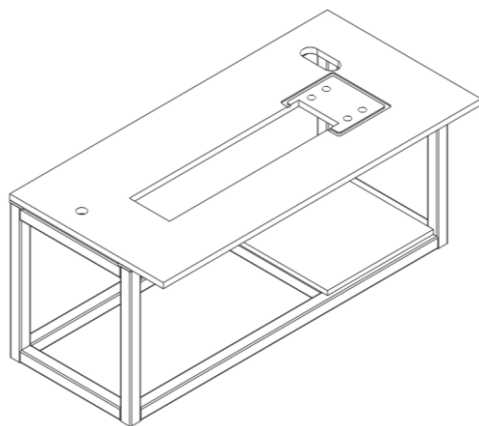


图7 机架示意图

Figure 7. Schematic diagram of the rack

### 3 结束语

本论文主要针对棒料切割机在切割过程中存在工件夹持不牢和加工精度低的问题，通过对棒料夹具等关键结构的改进，增强了工件的稳定性和夹持力。确保其在夹持过程中能够有效固定棒料，从而提高切割精度，为棒料切割机的设计提供了更高效的解决方案。

### 参考文献

- [1] 朱广滕, 顾晓辉, 肖坤, 等. 液压冲击式棒料快速切割机设计[J]. 机床与液压, 2013, 41(13):90-92.
- [2] 蒲娟, 陈勇. 棒料切割机自动上料机构设计与实施[J]. 机械工程师, 2019(9):126-127,130.
- [3] 夏哲伟, 徐昊天, 彭佳欣. 新型管道切割机的市场适应性与技术可行性分析: 第 13 届钢铁行业职业教育培训优秀多媒体课件活动系列研讨会[C]. 中国北京, 2024.
- [4] Julie Legrand, Mouloud Ourak, Tom Vandebroek, Emmanuel Vander Poorten. A large displacement model for superelastic material side-notched tube instruments[J]. International Journal of Mechanical Sciences, Volume 197, 2021, 106-329.

### References

- [1] Zhu Guangteng, GU Xiaohui, XIAO Kun, et al. Design of hydraulic impact bar rapid cutting machine[J]. Machine Tools and Hydraulics, 2013,41(13): 90-92.
- [2] Pu Juan, Chen Yong. Design and implementation of automatic loading mechanism for bar cutting machine[J]. Mechanical Engineer, 2019(9): 126-127, 130.
- [3] Xia Zhewei, XU Haotian, PENG Jiaxin. Market adaptability and technical feasibility analysis of new pipe cutting machine: The 13th seminar series of excellent multimedia courseware activities for vocational education and training in iron and steel industry[C]. Beijing, China, 2024.
- [4] Julie Legrand, Mouloud Ourak, Tom Vandebroek, Emmanuel Vander Poorten. A large displacement model for superelastic material side-notched tube instruments[J]. International Journal of Mechanical Sciences, Volume 197,1 May 2021, 106-329.