



烧结炉的旋转式底盘设计

马国龙

安泰天龙钨钼科技有限公司，北京 100094

通信作者，E-mail: maguolong@atmcn.com

摘 要： 为改善钨钼合金制品在烧结过程中，它的各部位受热程度不同，导致压还在烧结过程中出现液相的时间不同，靠近发热体部位温度高，先出液相，而远离发热体处受热滞后，出现液相的时间推迟，且钼存在高温自动迁移性能，结果导致产品内部组织结构及各项物理力学性能指标出现密度梯度、硬度梯度、强度梯度、磁力梯度、粘结相分布不均匀等致命缺陷，同时还引起产品几何形状的严重变形，极大的影响了钨钼合金产品的使用性能及寿命，也影响了大制品钨钼合金制造的合格率，这些致命缺陷在烧结特大型制品时将更为突出。因此迫切需要有一种全新的烧结炉，通过旋转式的底盘使加热工件各方向受热均匀，解决钨钼合金制品在烧结过程中的问题，特别是特大型制品烧结这个技术难题，否则很难生产出内部组织结构及各项物理力学性能均匀一致的产品。

关 键 词： 烧结炉；旋转；底盘

Rotary Chassis Design of the Sintering Furnace

Ma Guolong

Antai Tianlong Tungsten and Molybdenum Technology Co., LTD., Beijing 100094

Corresponding author, E-mail: maguolong@atmcn.com

Abstract： To improve it in all parts of the heat in varying degrees during the sintering process, tungsten and molybdenum alloy products, resulting in compacts during sintering in the liquid phase at different times, near the site of the heater temperature is high, first-out liquid from the heating element Department postponed due to the compact thermal lag, the liquid phase time, and molybdenum automatic migration performance at high temperatures, resulting in the internal organization and the physical and mechanical properties to density gradient, the hardness gradient, intensity gradient, the magnetic gradient, bonded phase uneven distribution of fatal flaw, but also cause serious deformation of the product geometry, which greatly affected the use of the product performance and life of tungsten and molybdenum alloys, but also affect the rate of qualified products of tungsten and molybdenum alloy, these fatal flaw in the sintered oversize products will be more prominent. There is an urgent need for a new sintering furnace – Rotary chassis sintering furnace, to solve the problem in the sintering process of tungsten and molybdenum alloy products, in particular, oversize products sinter technical problems, otherwise can not be produced to create the internal organizational structure and physical and mechanical properties of uniform products.

Key words： sintering furnace; rotate; chassis

一、介绍

（一）烧结炉

1. 烧结炉的种类与应用

工业领域烧结炉涵盖了市场上大部分的高温烧结炉，按照行业来分，烧结炉的种类主要有：

（1）硬质合金领域：

真空烧结炉，低压 (60bar) 烧结炉，真空脱脂烧结炉，低压脱脂烧结炉，低压脱脂烧结气淬炉 (20bar)

（2）粉末冶金领域：

连续式网带烧结炉 (1150 度)，推杆式烧结炉 (1250 度)，钢带烧结炉 (1000 度)，回转式烧结炉，粉末冶金烧结炉等

（3）太阳能领域：

多晶硅铸锭炉也属于烧结炉的一种

2. 烧结炉的发展状况

随着科学技术的不断发展，我国工业、国防、航天等领域都取得了长足的进步，这其中真空装备制造行业不管是设备水平、制作

工艺、控制技术也有了很大的提高。加之科学技术的不断提高也促使材料领域的不断发展，在航空、航天、军工、能源、化工等领域一些特种材料、新材料得到材料、新材料的生产制造过程起着越来越重要的作用。立式高温真空烧结炉主要适合于硬质合金、陶瓷材料、磁性材料、多孔材料等的真空烧结，能够满足各种耐高温氧化零件表面涂层的烧结要求，是为国内某航天军工企业研制的航天装备专用设备，主要由真空系统、炉体、底炉门平移与锁紧机构、封闭式水系统、加热电源系统及电气自动控制系统等组成。

（二）旋转式底盘烧结炉

1. 旋转式底盘烧结炉存在的意义

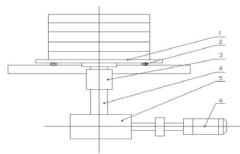
烧结是粉末冶金材料经压制成型变成成品后的主要工艺过程。烧结的实质是将压制成型后的粉末毛坯料在真空状态下受热，通过一系列的物理变化、化学变化、使粉末制品粘合在一起，毛坯的强度和密度迅速增加，并增加其物理和力学性能。目前烧结炉采用电阻加热，包括炉体外壳、加热电阻、和真空炉膛等，当加热电阻通电时自身产生大量的热，通过辐射将热量传导给被烧结炉料。在被加热的炉料较多时，会产生阴影效应，没被直接辐射到的炉料温度



会远远小于被直接辐射的部分，造成温度场的不均匀，以至于被烧结炉料本身的温度不均匀，这样也很容易造成被烧结材料收缩不均匀而形成内应力，从而造成材料的开裂。

2. 旋转式底盘烧结炉的主要组成

主要是由炉膛和旋转系统组成，旋转系统有：1料盘、2圆形导轨、3密封系统、4旋转主轴、5减速器、6变频调速电机。如图1



>图1

二、圆形导轨的设计

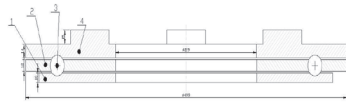
(一) 设计的基本原理

推力球轴承是一种分离型轴承，轴圈、座圈可以和保持架、钢球的组件分离。轴圈是与轴相配合的套圈，座圈是与轴承座孔相配合的套圈，和轴之间有间隙；推力球轴承只能承受轴向负荷，单向推力球轴承是只能承受一个方向的轴向负荷，双向推力球轴承可以承受两个方向的轴向负荷；推力球轴承不能限制轴的径向位移，极限转速很低，单向推力球轴承可以限制轴和壳体的一个方向的轴向位移，双向轴承可以限制两个方向的轴向位移。

(二) 设计的基本结构

1. 结构组成及材料

此旋转轨道的基本结构和推力球轴承结构大体相似包括：1轴座、2保持架、3钢珠、4轴圈。



>图2

三、旋转轴的设计与轴承的选用

(一) 材料的选择

因速度不是很大，并对质量和尺寸没有特殊要求，故选用的材料为45钢，调制处理。

(二) 初算直径

$$d_{\min} \geq C \sqrt[3]{\frac{P}{n}}$$

$$M = J \alpha \quad J = \frac{\pi r^4}{2} = \frac{3000 \times 0.25^4}{2} = 93.75 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad \alpha = \frac{\omega}{t} = \frac{2\pi}{2} = \pi$$

$$V = r \cdot \omega = 1.75 \text{ m/s}$$

$$M = 93.75 \times 3.14 = 294.34 \text{ N} \cdot \text{m} \quad M = F \cdot d = > F = \frac{M}{d} = \frac{294.34}{0.25} =$$

$$1177.34 \text{ N}$$

$$P_w = F \cdot V = 1177.34 \times 1.75 = 1.848 \text{ kw} \quad C = 120$$

$$d_{\min} \geq C \sqrt[3]{\frac{P}{n}} = 120 \sqrt[3]{\frac{1.848}{60}} = 37.66 \text{ mm}$$

考虑到轴上有键槽所以轴径应增大3%~5%所以主轴最小直径为d=40mm

(三) 结构与尺寸的设计

1. 确定轴各段直径、长度和轴承的选用

①从输入端开始右起第一段，且还有一个键与联轴器想连，直径扩大5%，为了满足更多扭矩要求选择D1=Φ50mm，轴段长于锥形齿轮的轮毅略长L1=66mm

②该段装有滚动轴承，选用深沟球轴承，则轴承有径向力，而轴向力为零，选用6211型轴承，其尺寸为d×D×B=60×95×18，该段的直径为D2=Φ60mm，长度为L3=74mm。

③右起第三段，是一个轴肩，该段直径D4=69mm，L4=41mm

④右起第四段，该段装有圆锥滚子轴承，选用圆锥滚子轴承，则轴承有径向力和轴向力，选用3007116型轴承，其尺寸为d×D×B=80×125×36那么该段的直径为D3=Φ80mm，该段除了装有轴承还有机械密封件所以轴段较长，长度为L3=125mm。

⑤右起第五段，是一个轴肩，该段直径D4=90，L4=20mm

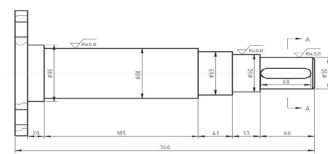
右起第六段，为圆形法兰主要链接轴与炉台，所以该段直径D5=200mm，厚度为15mm，并且圆形法兰端面上平均分配四个Φ24的链接孔

2. 键联接的选择及校核计算

此段链接是轴与锥形齿轮链接

$$d=50 \text{ mm}, L=66 \text{ mm}$$

查得，选用C型平键，得：b=16mm，h=10mm，键长范围L=18~90mm。



>图3

键长取L=L1-(5~10)=60mm。键的工作长度l=L-b=44mm。

强度校核 $\sigma_p = 4T_2/dhl = 4 \times 299230 / 50 \times 10 \times 44 = 54 \text{ Mpa} < [\sigma_P] (100 \text{ Mpa})$

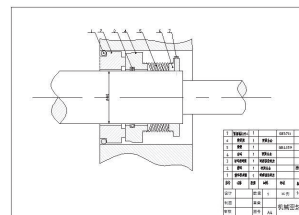
所选键为：键C8×50GB/T1096

四、机械密封的选用

(一) 机械动密封的工作原理与结构形式

机械密封结构多种多样，最常用的机械密封结构是端面密封，端面密封的静环、动环组成一对摩擦副，摩擦副的作用是防止介质泄漏。他要求静环、动环具有良好的耐磨性，动环可以在轴向灵活的移动，自动补偿密封面磨损，是之与静环良好的贴合；静环具有浮动性，起缓冲作用。为此，密封面要求有良好的加工质量，保证有良好的贴合性能。

(二) 原理图



>图4

(三) 机械密封在此处使用的优点

- 1.密封可靠，在长期运转中密封状态稳定，泄漏量很小，其泄漏量仅为填料密封的1%左右；
- 2.使用寿命长，在油、水介质中一般可达1—2年或更长，在化学介质中一般能工作半年以上；
- 3.摩擦功率消耗低，起摩擦功率仅为填了密封的10%—50%；

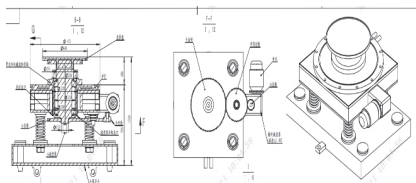


- 4.轴或轴套基本不磨损；
- 5.维修周期长，端面磨损后可自动补偿，一般情况下不需要经常性维修；
- 6.抗震性好，对旋转轴的震动，偏摆以及轴对密封腔的偏斜不敏感；
- 7.适用范围广，能用于高温、低温、高压、真空、不同旋转频率，以及各种腐蚀性介质和含磨粒介质的密封。

五、减速器的设计与变频电机的选用

（一）传动方案

由于炉托盘较重，采用三级减速加一涡轮减速箱，增加扭矩。



>图5

（二）电动机的选择

1.电动机的的类型和结构形式

按工作要求和工作条件，选用 Y 型系列三相异步变频调速电动机（因为可以条件速度、价廉、性能好、防爆、结构简单、维修方便）。

2.电动机功率的选择

（1）由旋转轴计算可知所需的工作功率为： $p_w = F \cdot V = 1177.34 \times 1.75 = 1.848 \text{kw}$

（2）传动装置的总效率： $\eta_{\text{总}} = \eta_{\text{轴承}}^5 \times \eta_{\text{齿轮}}^2 \times \eta_{\text{联轴器}} = 0.98^5 \times 0.97^2 \times 0.99 = 0.842$

（3）电机所需的工作功率： $P_{\text{工作}} = FV/1000 \eta_{\text{总}} = 1.848/0.842 = 2.2 \text{kw}$

考虑变频变速所以选用电动机的额定功率 $P_d = 3 \text{kw}$

3.确定电动机转速

$n_{\text{盘 max}} = 60 \text{r/min}$

按推荐的传动比合理范围，取圆柱齿轮传动一级减速器传动比范围 $i_1 = 3 \sim 4$ 。取锥形齿轮传动比 $i_2 = 2 \sim 4$ ，则总传动比范围 $i_{\text{总}} = 8 \sim 16$ 。

故电动机转速的可选范围为： $N_d = i_{\text{总}} \times n_{\text{盘}} = (8 \sim 16) \times 60 = 480 \sim 960 \text{r/min}$

所以此选定电动机型号为 Y132S-6 的变频电机，其主要性能

电机型号	额定功率	满载转速	启动转矩	额定转矩
Y132S2-6	3kw	960 (r/min)	2.0	2.0

（三）确定传动装置总传动比及分配各级的传动比与功率

1.传动比的确定

总传动比： $i_{\text{总}} = n_{\text{电动}}/n_{\text{盘}} = 960/60 = 16$

由于此电机的最大转速为 960，在实际工作中要调低速度所以 $i_{\text{总}} < 16$ 即可，则选 $i_{\text{圆柱}} = 4$ ， $i_{\text{圆锥}} = 3$ ，所以总传动比为 12

2.各轴功率和转矩的确定

（1）各轴最大转速： $n_1 = 960 \text{r/min}$

$n_2 = n_1/i_{\text{圆柱}} = 240 \text{r/min}$

$n_3 = n_2/i_{\text{圆锥}} = 80 \text{r/min}$

（2）各轴功率： $p_1 = p_d \times \eta_{\text{轴承}} \times \eta_{\text{齿}} = 2.2 \times 0.99 \times 0.97 =$

2.11kw

$P_2 = p_1 \times \eta_{\text{轴承}} \times \eta_{\text{齿}} = 2.11 \times 0.99 \times 0.97 = 2.03 \text{kw}$

$P_3 = p_2 \times \eta_{\text{轴承}} \times \eta_{\text{轴承}} \times \eta_{\text{齿}} = 1.93 \text{kw}$

（3）各轴转矩： $T_1 = 9550 \frac{p_1}{n_1} = 9550 \frac{2.11}{960} = 20.49 \text{N} \cdot \text{m}$

$T_2 = 9550 \frac{p_2}{n_2} = 9550 \frac{2.03}{240} = 78.79 \text{N} \cdot \text{m}$

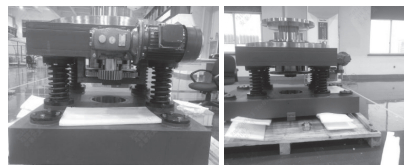
$T_3 = 9550 \frac{p_3}{n_3} = 9550 \frac{1.93}{80} = 230.39 \text{N} \cdot \text{m}$

（4）计算汇总表

	1 轴	2 轴	3 轴
转速 (r/min)	960	240	80
输入功率 (kw)	2.11	2.03	1.93
输入转矩 (N.m)	20.49	78.79	230.39
传动比	4		3

六、组装调试

通过图纸设计，将加工完成的配件进行组装，并通电调试。



>图7

七、结论

通过实际运行，旋转烧结对于提高大件钨钼坩埚，管状产品的椭圆有很好的作用，合格率从 70% 提高到 95%，由此可见旋转式底盘的设计，基本解决生产过程由于受热不均匀而产生的裂纹、变形、组织等问题起到关键作用。从而解决了对原材料浪费的问题以及对产品质量和产品的合格率的提高起到一定的作用。

鉴于现在高温烧结的发展状况及烧结制品的不断增长，该产品具有良好的市场。

参考文献

- [1] 彭先明、肖军. 粉末冶金技术——烧结炉结构设计及发展趋势. 1996.5
- [2] 懂爱国、王利民等. 一种粉末冶金大制品旋转烧结炉. 2006.1
- [3] 刘杰 魏唯. 旋转底式软磁气氛烧结炉的开发与设计. 2007.6
- [4] 刘敏、张春宜. 减速器设计实例精解. 机械工业出版社, 2009.7
- [5] 张展. 减速器设计与使用数据速查. 机械工业出版社, 2009.7
- [6] 张展. 齿轮设计与使用数据速查. 机械工业出版社, 2009.7
- [7] 张惠宁. 烧结设计手册 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1998
- [8] 徐军. 旋转轴动密封的工作原理及维护技巧. 2011.2
- [9] 郭茂. 工业电炉. 冶金工业出版社. 2002.4
- [10] 张春宜, 郝广平, 刘敏主编. 减速设计实例精解 [M]. 北京工业出版社出版, 2009.
- [11] 赵林源主编. 机械密封实用方法与技巧. 石油工业出版社, 1996.
- [12] 陈宏钧. 实用机械加工工艺手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- [13] Theoretical analysis of the pumping effect of rotary hydrodynamic seals with elastomeric lips, Tribology International 40 (2007) 896 - 905.
- [14] Heat transfer in a mechanical face seal, International Journal of Thermal Sciences 48 (2009) 781 - 794.