

# 具有变频调速功能的镁合金搅拌设备的设计

赵 赛 吴建龙 邹文兵 成群林 曹雪峰 别亚星

(上海航天精密机械研究所, 上海 201600)



**摘要:** 在镁合金熔炼过程中, 为了实现对镁合金熔液的自动搅拌, 并探索出自动搅拌工艺参数, 研制了一台具有调速功能的镁合金搅拌设备。介绍了设备的结构、工作原理和关键部件的设计, 采用变频器和变频电机组成变频调速系统, 在控制面板上通过电位器对搅拌速度进行调节。通过试验验证了设计的合理性, 并获得了镁合金自动搅拌工艺参数。该设备结构简单, 成本低, 可用于自动搅拌工艺的研究, 提高了镁合金熔炼的自动化水平。

**关键词:** 镁合金; 搅拌设备; 变频控制; 设计

## Design of Magnesium Alloy Mixing Equipment with Frequency Control Function

Zhao Sai Wu Jianlong Zou Wenbing Cheng Qunlin Cao Xuefeng Bie Yaxing

(Shanghai Spaceflight Precision Machinery Institute, Shanghai 201600)

**Abstract:** In the melting process of Magnesium alloy, to realize automatic mixing for Magnesium alloy melt and to explore automatic mixing parameters, a magnesium alloy mixing equipment with speed control function is developed. The structure and working principle of the equipment and the key parts design are introduced. Using inverter and variable-frequency motor to regulate mixing speed. The design rationality is verified by experiment, and automatic mixing parameters of magnesium alloy are obtained. The equipment has simple structure, low cost, can be used to research automatic mixing process, and improves automatic level of magnesium alloy melting.

**Key words:** magnesium alloy; mixing equipment; frequency control; design

### 1 引言

镁合金作为目前工程应用中最轻的合金材料之一, 较多应用于航空航天、汽车、电子等行业<sup>[1]</sup>。镁合金熔炼是镁合金铸件生产过程中的重要工序。在镁合金熔炼过程中, 需对撒入精炼剂的镁合金熔液进行充分搅拌, 以达到精炼的目的。搅拌作为过程作业的基本操作单元已广泛应用于化工、冶金、医药、食品等行业<sup>[2]</sup>。同镁合金日益增长的需求相比, 目前国内镁合金熔炼的工艺和设备仍比较落后。在一些中小企业中, 镁合金熔炼过程中的搅拌作业仍靠人工搅拌, 存在搅拌质量难以控制、生产效率不高、劳动强度大等问题。敞开式坩埚常用于熔炼镁合金, 周围热辐射

强、有毒气体浓度高, 人工搅拌的劳动环境比较恶劣。用自动搅拌代替人工搅拌已成为发展趋势。实现镁合金自动搅拌需要确定合理的搅拌速度, 搅拌速度过快, 则液面起伏剧烈, 镁合金与空气中的氧气、氮气、水蒸气发生反应生成夹杂物较多; 搅拌速度过慢, 则搅拌不充分、生产效率低。为解决这些问题, 研制了一台结构简单、成本低、具有调速功能的镁合金搅拌设备。通过变频器对变频电机的转速进行调节, 用仪表显示搅拌速度, 通过工艺试验探索合理的搅拌速度和搅拌时间。

### 2 镁合金搅拌设备结构设计及工作原理

作者简介: 赵赛 (1986-), 工程师, 机械设计及理论专业; 研究方向: 非标机电产品设计。

收稿日期: 2014-02-27

## 2.1 设备组成

图 1 为镁合金搅拌设备结构图。镁合金搅拌设备主要由传动系统、搅拌装置和控制系统组成。其中，传动系统由变频电机 1、减速器 2、联轴器 3、传动轴 4、套筒 5 通过直连的方式组成；搅拌装置由搅拌轴 6、搅拌器 7 和导流筒 12 组成；控制系统的部件是变频器。底架 10 用于承载传动系统、搅拌装置和电气柜 8，底架 10 内填充隔热材料。传动轴 4 采用双支点支撑方式，由轴承 9 和轴承 11 固定在底架 10 上。

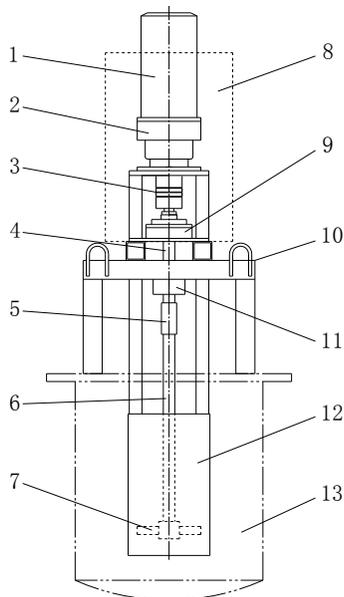


图 1 镁合金搅拌设备结构图

## 2.2 工作原理

变频电机 1 通过减速器 2 将扭矩传递给搅拌器 7，降低了输出转速，增大了输出扭矩。

搅拌器 7 选用推进式叶轮，使熔液形成轴向流动，沿导流筒 12 向上排出，导流筒 12 外的熔液从坩埚底部补充进导流筒 12，从而形成内外流动循环，使镁合金熔液充分与从液面上方撒入的精炼剂接触，达到精炼的目的。

通过变频器控制变频电机 1 的转速。搅拌速度越高，熔液的轴向流动越明显，液面的起伏也越剧烈，液面与空气中的氧气、氮气和水蒸气发生反应生成夹杂物也越多。根据人工搅拌的经验，通过电气柜 8 控制面板上的电位器旋钮将搅拌速度控制在合理的速度上。这个速度就是在坩埚、搅拌器和导流筒结构型式确定条件下的最优搅拌速度。

## 2.3 关键部件设计

镁合金搅拌设备的关键部件设计包括电机选型、

减速机选型、轴的设计、搅拌器选型和导流筒设计。其中电机选型、轴的设计与搅拌器、导流筒和坩埚的结构形式有关。坩埚的结构形式是确定的，直径为 550mm，因此首先进行搅拌器选型和导流筒设计。减速机选型与电机额定转速和搅拌速度有关。

### 2.3.1 搅拌器选型

为了与撒入的精炼剂充分接触，搅拌器需使坩埚内镁合金熔液产生以轴向流动为主的流动效果。推进式叶轮是典型的轴流型搅拌器，高排液量、低剪切性能，适合镁合金搅拌。根据经验公式，叶轮直径与坩埚内径之比通常为 0.2~0.5，以 0.33 居多<sup>[3]</sup>。综上所述，搅拌器选用推进式叶轮，直径约为 0.33 倍坩埚直径。

### 2.3.2 导流筒设计

导流筒主要用于推进式、螺杆式搅拌器的导流。导流筒形状为圆筒，紧紧包围着桨叶，使桨叶排出的液体在导流筒内部和外部形成上下循环流动。应用导流筒有利于镁合金熔液与精炼剂充分接触，提高精炼质量。根据经验公式，导流筒直径与搅拌器直径之比通常为 1.1<sup>[4]</sup>。

### 2.3.3 电机选型

变频电机根据搅拌功率来选型。搅拌功率与合金液的密度、粘度，搅拌速度，搅拌器、坩埚结构等参数有关<sup>[5]</sup>，由于缺乏相关参数，难以通过公式计算出搅拌功率。工程应用中可采用类比法，即参考相似的搅拌设备估算电机功率。

将搅拌器和导流筒安装在一台现有的电机功率为 1.5kW、额定搅拌速度在 210r/min 的旋转喷吹除气机上进行镁合金自动搅拌试验，以估算电机功率和搅拌速度范围。试验结果表明，1.5kW 电机满足使用要求，合理的搅拌速度应在 150~250r/min 范围内。表 1 为镁合金搅拌设备关键设计参数。

表 1 镁合金搅拌设备关键设计参数

电机功率	搅拌器直径	导流筒直径	搅拌速度
1.5kW	200mm	240mm	150~250r/min

### 2.3.4 减速器选型

虽然变频器可以直接对变频电机进行速度调节，但采用减速器可避免“大马拉小车”现象<sup>[6]</sup>。设最大搅拌速度  $n_{max}$  对应的搅拌功率为  $P_{n_{max}}$ ，如果不采用减速器，只通过变频器降低电机转速，则电机额定功率  $P_0$  应大于  $n_0 P_{n_{max}} / n_{max}$ 。如果采用减速器，电机额定

功率  $P_0$  只要大于  $P_{n_{max}}$  就能满足要求, 减速器减速比为:

$$i = \frac{n_0}{n_{max}} \quad (1)$$

式中:  $n_0$  ——电机额定转速;  $n_{max}$  ——最大搅拌速度。

### 2.3.5 轴的设计

传动轴的轴径根据扭转强度计算公式校核, 搅拌速度越大, 则扭矩越大。需要说明的是, 在最大搅拌速度对应的传动轴实际扭矩未知条件下, 为保险起见, 可将减速器额定扭矩作为实际扭矩进行轴径校核。由于篇幅所限, 计算过程在此省略。

## 3 控制系统设计

控制系统用来实现搅拌速度的调节, 同时对搅拌时间、熔液温度等工艺过程参数进行实时的反馈显示。控制系统设计的内容主要包括: 控制系统硬件架构、人机交互界面设计和电气接口设计。

### 3.1 控制系统硬件架构

控制系统通过变频器对搅拌速度进行控制, 利用定时器实现搅拌时间的设定, 利用速度表显示搅拌速度, 利用温度控制表和 K 形热电偶实现对熔液温度的采集与显示。整个控制系统的硬件架构原理图如图 2 所示。

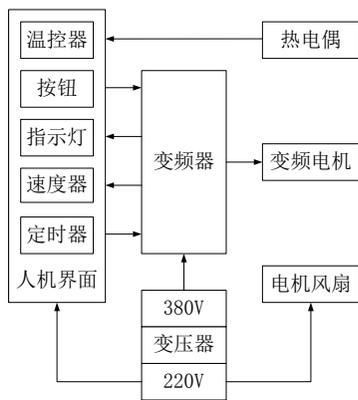


图2 控制系统硬件架构原理图

图2中的变压器用来实现对不同电压用电器件的供电; 指示灯用来实现开关量状态信号的显示, 如报警信号; 按钮开关用来实现工艺过程控制命令的输入。

### 3.2 人机交互界面设计

根据设备的功能要求设计合理的人机交互界面,

实现系统控制信号输入以及过程状态信号输出。本系统的人机界面如图3所示。

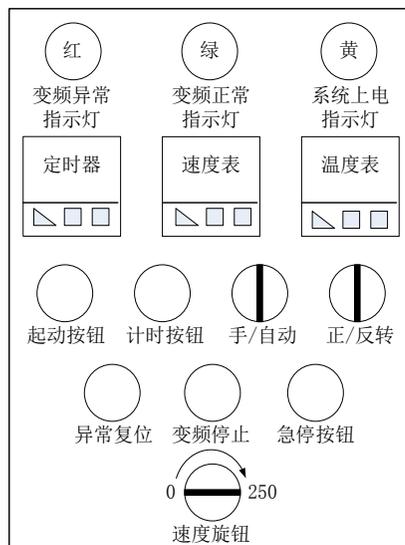


图3 控制系统人机界面示意图

图3所示的人机交互界面的元器件按功能划分主要包括系统命令的输入器件——定时器、按钮开关、电位器和工艺过程参数显示反馈器件——转速表、温控表、指示灯。各元器件的具体功能设计见表2。

表2 人机交互界面元器件功能设计

类别	功能元器件	功能设计
系统命令输入器件	定时器	自动搅拌过程中, 设定搅拌时间, 时间到搅拌停
	电位器	改变变频器输入端口电压, 实现不同搅拌速度
	起动按钮	按下按钮, 系统上电
	计时按钮	自动搅拌时, 按下按钮, 计时开始
	手/自动开关	搅拌模式选择, 旋左边手动、旋右边自动
	正/反转开关	搅拌器运转方向选择, 左右代表顺时针旋转
	异常复位	因过热、过电流等原因变频器报警后, 按下按钮复位
	变频停止	按下按钮, 变频器无输出, 电机立即停转
	急停按钮	系统断电, 设备停运行
过程参数显示反馈器件	转速表	采集电机速度的模拟量为搅拌速度并数字显示
	温控表	与 K 型热电偶配合采集熔液温度, 并数字显示
	系统上电指示灯	系统上电后, 该灯点亮
	变频指示灯	变频正常时, 变频正常指示灯亮, 反之, 异常灯亮

### 3.3 电气接口设计

控制系统中电气接口主要包括系统上电的电气接口和变频器电气接口两部分。系统上电接口电路通过一个自锁电路给变频器提供动力电源,同时通过单相变压器为电机风扇、温控表等智能仪表提供AC220V电源。变频器接口电路通过外部的开关或按钮的通断来改变变频器相应输入端子的电平信号,从而实现电机状态的改变。在自动搅拌过程中,当搅拌的时间达到定时器的设定时间时,定时器的常闭延时触点断开,从而停止搅拌。

### 4 试验

将该设备用于镁合金自动搅拌工艺试验。通过观察不同的搅拌速度下的搅拌效果,确定合理的搅拌速度和搅拌时间。坩埚内径550mm,镁合金熔液250kg,保护熔剂采用RJ-2,精炼温度750℃,使用前对搅拌器和导流筒进行烘干。调节搅拌速度,从150r/min逐渐上升到250r/min,其间撒入保护熔剂,观察搅拌效果。试验结果表明,在150~200r/min搅拌速度范围内,液面起伏不明显,保护熔剂不能迅速与镁合金熔液混合,搅拌不充分、搅拌效率较低;在200~250r/min搅拌速度范围内,液面起伏剧烈,镁合金熔液氧化燃烧现象明显。因此将搅拌速度初步定为200r/min,搅拌时间初步定为10min,再通过试样分析进行验证。

精炼效果的评定通常采用断口分析法。将搅拌后的镁合金熔液静置一段时间后,浇注随炉断口试样,敲断后观察断口形貌。图4是镁合金试样断口形貌。



图4 镁合金试样断口形貌

由图4可见,断口晶粒较细,精炼效果较好,所定的自动搅拌工艺参数达到了镁合金熔炼的要求。

### 5 结束语

a. 立式镁合金搅拌设备结构简单、成本低、使用维护方便。用变频器控制搅拌速度的方法简单可行。该设备可用于研究镁合金熔炼过程中的自动搅拌工艺参数。

b. 以本文的试验为例,人工搅拌需两人用时15min,而自动搅拌只需一人操作用时10min,生产效率提高了30%,人力成本节约了50%。该设备使工人远离镁合金熔炼的恶劣环境,保护了健康和安

全,实现了绿色制造。  
c. 研制集熔化、处理、浇注为一体的自动化、封闭型、连续化的设备,实现安全、高效、清洁、高质量的镁合金熔炼,是未来的发展趋势<sup>[7]</sup>。

### 参考文献

- 1 付彭怀,王渠东,蒋海燕,等. 镁合金熔炼技术研究进展[J]. 铸造技术, 2005, 26(6): 489~492
- 2 冯连芳. 搅拌设备设计的发展与建议[J]. 化工设备与管道, 2010, 47(5): 1~4
- 3 胡宗武,徐履冰,石来德. 非标准机械设备设计手册[M]. 北京:机械工业出版社, 2002
- 4 王凯,虞军. 化工设备设计全书: 搅拌设备[M]. 北京:化学工业出版社, 2003
- 5 刘欣. 关于搅拌设备设计中的几个问题[J]. 精细化工中间体, 2002, 32(6): 48~50
- 6 王晓明. 试论变频调速装置在搅拌设备设计中的应用[J]. 化工设备与管道, 2002, 39(2): 16~18
- 7 张诗昌,段汉桥,蔡启舟,等. 镁合金的熔炼工艺现状及发展趋势[J]. 特种铸造及有色合金, 2000(6): 51~54