

一种通过式微波-热风复合砂芯烘干设备

刘玲玲¹, 李保强², 郭毛毛¹, 景佳兴¹, 赵孟龙¹

(1. 郑州财经学院 机电工程学院, 河南郑州 450044; 2. 机械工业第六设计研究院有限公司, 河南郑州 450007)

摘要: 设计了一种通过式微波-热风复合砂芯烘干装置。该系统用于砂芯浸涂水基涂料后的表面干燥, 具有速度快、效率高、节能环保的优点。该烘干设备采用微波加热, 无需热传导, 砂芯内外同时加热, 腔体不吸收热量; 加入的辅助热风循环及加热装置解决了砂芯厚度大于300 mm时缝隙微波烘干效果差的问题, 优化了微波烘干系统的干燥效果, 有一定的推广价值。

关键词: 微波; 烘干设备; 砂芯; 热风循环

作者简介:

刘玲玲(1985-), 女, 工学硕士, 副教授, 主要研究方向为智能制造、智能控制系统等。E-mail: happyling_2006@163.com

中图分类号: TG242.6

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2020)12-1344-04

基金项目:

河南省高等学校重点科研课题(19B460012); 2020年国家级大学生创新创业训练计划项目(202013497002); 2019年郑州市地方高校大学生创新创业训练计划项目; 2019年校级教改项目“应用型本科院校‘政产学研用’协同创新机制研究”。

收稿日期:

2020-04-20 收到初稿,

2020-07-02 收到修订稿。

在铸造工业中, 常借助砂芯来形成铸件复杂的结构, 尤其是发动机缸体缸盖类铸件, 生产一个铸件需要十几甚至几十个砂芯。为了提高铸件表面的光洁度和防止砂芯烧结, 通常会在砂芯表面涂挂水基涂料然后进行烘干处理, 使其表面涂料层含水量降至0.3%以下。传统的烘干方式有电加热炉、远红外加热炉和天然气加热炉等基于热传导理论, 产生热量直接辐射到工件表面^[1]。而微波加热干燥除此之外还具有一定的加热快速特性, 在工业领域中, 工业微波炉与传统烘干炉对比, 其烘干效率几乎超出10倍, 热效率能够达到80%。现阶段, 其他烘干设备的热效率根本不可比拟^[2]。但微波辐射无法对砂芯厚度大于300 mm时的缝隙进行有效烘干^[3]。鉴于此, 本文研究了一种微波干燥融合热风辅助的烘干设备, 其具有节能环保, 加热快速, 而且温度分布均衡, 效率明显较高的特性。

1 设备组成与系统设计

本系统用于砂芯浸涂水基涂料后的表面干燥, 包括砂芯烘干设备的微波加热腔体、微波磁控管及电源、炉门、炉门压紧及密封装置、输送系统和电气控制系统六部分组成。系统结构如图1。

1.1 微波加热腔体

微波的基本性质通常呈现为穿透、反射、吸收三个特性。对于塑料和瓷器, 微波几乎是穿越而不被吸收; 对于水和食物等就会吸收微波而使自身发热; 而对金属类东西, 则会反射微波。本装置微波加热的原理是微波辐射到砂芯上, 砂芯中水分子运动产生摩擦进而加热。当微波投射到金属表面, 因金属表面原子排列很紧密, 微波打上去就会使电子发生振动。但是当金属板足够厚, 表面光滑规则, 微波打在上面电子会有纵深活动空间, 类似于被微波推进去, 然后再反弹回来, 微波同时也被反弹。所以设计合理的金属装置是不会吸收微波的能量的。但是金属属于导体, 微波在金属中会产生涡流, 发出大量的热, 足以熔化金属。在特定的情况下还可能产生火花, 比如金属物质的尺寸和形状(如天线振子), 如果很适合吸收微波, 就有可能在金属物质的表面和内部产生大量的感应电流, 瞬间产生高热, 甚至导致金属的燃烧, 产生火花, 乃至发生爆炸。微波炉不但会因此而超负荷, 而且可能损坏微波炉的功率组件, 如磁控管和电源变压器等, 对安全造成隐患。而提高金属表面

光滑度,降低曲率,可避免上述现象的产生。

微波加热腔体采用304不锈钢制成,加热腔体在设计时采用数理模型,提高金属表面的光滑度,降低曲率,并结合干燥工艺要求进行科学的腔体设计,确保热效率最高,同时避免腔体内“热点”“打火”等不良现象的发生^[4]。微波烘干炉进口和出口设置有防止微波泄露的炉门,并设有炉门开启时自动切断微波加热的安全联锁功能。每套炉门配备四点气动炉门压紧装置,炉门下降到位时,四点气动炉门压紧装置自动将炉门压紧,炉门上的不锈钢软密封条和炉体实现软硬密封,保证炉门与炉体实现可靠密封没有缝隙,炉门四周同时设有高可靠性的扼流装置,高可靠性的密封和微波扼流装置可保证炉门口的微波泄露满足国家标准要求的 $\leq 5 \text{ mW/cm}^2$ 泄露量。

1.2 磁控管

磁控管是一种用来产生微波能的电真空器件,把从恒定电场中获得能量转变成微波能量,从而达到产生微波能的目的^[5],它是一种消耗品,容易老化和消磁。为了满足不同类型砂芯的烘干,针对砂芯较厚,同时厚度方向上有缝隙部位需要烘干,并且受砂芯摆放方向的限制(需要大面积烘干的砂芯表面在炉门口方向,无法通过侧面布置的磁控管有效烘干)的特点,系统对磁控管的布置上进行了创新和优化设计。在进口炉门和出口炉门上布置磁控管,炉门上布置磁控管后可以保证宽度方向上需要大面积烘干的砂芯表面有效烘干,并且炉门上布置磁控管更有利于微波辐射到砂芯的缝隙部位,增强微波烘干效果。在炉体的两个砂芯工位之间设有1 m的间距,在砂芯和1 m间距的加热腔体部位设炉体顶部和炉体两侧磁控管,顶部磁控管倾斜布置,分别对砂芯表面进行微波辐射。两侧的磁控管在垂直方向上进行垂直和倾斜交错布置,分别对砂芯两侧和宽度表面进行有效辐射。在炉体底部和炉体侧面安装有菱形凸起结构的不锈钢反射板,用于提高炉内微波均匀性。

微波烘干炉设有防止微波空载的检测元件和程序,砂芯到位后自动开启微波,检测到没有砂芯时自动关闭相应的磁控管,通过微波防空载功能的实现,可提高磁控管的使用寿命。

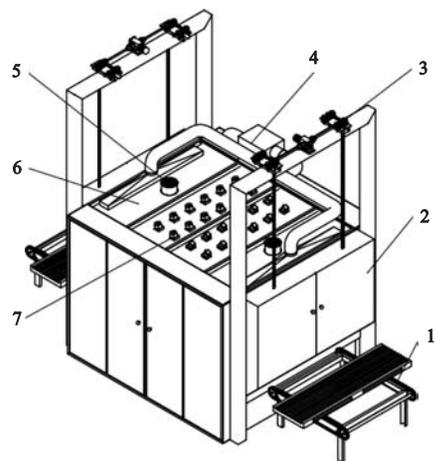
磁控管与砂芯位置关系示意图如图2所示。

1.3 辅助热风循环及加热装置

为了解决微波辐射可能无法对砂芯厚度大于300 mm时的缝隙进行有效烘干的问题,本系统在微波烘干炉中增加了辅助热风循环及加热装置。辅助热风循环系统由循环风机、管道、可调风嘴、回风口、加热装置、温度

传感器等组成,总循环风量约为 $5\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

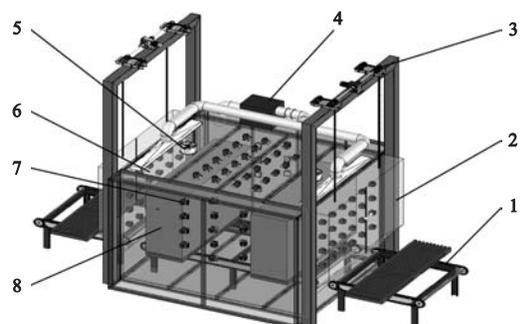
在炉内进口和出口的上方设集中风道和可调节风嘴,风嘴的吹风角度可根据不同的砂芯烘干特点进行调节,炉内中间下方设回风口,公司针对砂芯的特点对炉内热风的气流进行了优化设计,保证热风能通过砂芯厚度方向的缝隙,对缝隙中的水分进行辅助烘干。辅助热风循环的加热装置设50 kW的电加热管,在热风出风管道上设温度传感器,系统可根据不同种类砂芯的烘干特点,自由设置是否使用辅助热风循环



1. 砂芯链条输送装置 2. 炉门及压紧装置 3. 炉门提升系统
4. 辅助热风循环及加热装置 5. 排湿系统 6. 微波加热腔体
7. 磁控管及电源

图1 系统结构三维视图

Fig. 1 Three-dimensional view of drying equipment



1. 砂芯链条输送装置 2. 炉门及压紧装置 3. 炉门提升系统
4. 辅助热风循环及加热装置 5. 排湿系统 6. 微波加热腔体
7. 磁控管及电源 8. 待烘干的砂芯

图2 磁控管与砂芯位置关系示意图

Fig. 2 Schematic diagram of position relationship between magnetron and sand core

功能, 以及自由设置出风口温度, 出口热风温度50~120℃可调。

可调节风嘴布局图如图3所示。

1.4 输送系统

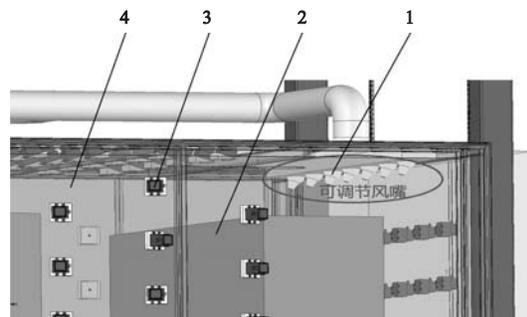
砂芯放置在托盘上, 托盘采用链条输送, 链条输送机的控制由微波烘干炉的控制系统进行控制, 炉内的链条输送采用变频控制, 进口炉门前和出口炉门前各设一个等待工位。在烘干过程中, 炉内的链条输送采用低速往返摆动的运动方式, 砂芯摆动的过程中更有利于提高微波烘干的效果和均匀性。托盘结构和托盘与砂芯之间的支架可根据不同砂芯设计, 避免出现浸有涂料的砂芯与托盘直接接触无法有效烘干的情况^[6]。因砂芯重量1 000 kg以上, 托盘和输送装置采用不锈钢材质, 不锈钢材质本身不吸收微波, 托盘和输送装置形状规则, 相对平整且无锋利的角等尖锐部位, 有效避免了引起电弧产生打火或爆炸现象。

1.5 电气控制系统

电气控制系统由控制柜、现场控制箱、接近开关、光电开关、温度传感器、电气管线材料等部分组成。

微波-热风复合砂芯烘干炉采用西门子S7-1500PLC作为控制器来完成微波加热控制、输送控制、炉门控制、排湿控制等。分为手动和自动控制两种模式, 手动情况下可实现微波加热和机械动作的全手动操作, 自动模式下可实现生产线的全自动运行, 并与生产线上的输送系统和立体库进行信号对接和连锁控制。采用西门子触摸屏作为人机界面, 人机界面上可显示微波烘干炉的所有磁控管和机械部分的动作和状态信息, 并可设置烘干功率、烘干时间等参数。触摸屏上还可预设多种烘干工艺, 操作人员可根据不同的工件调用不同的烘干工艺。触摸屏上还可以对所有磁控管进行配置, 对每个磁控管是否使用进行自由设置, 以满足不同工件对微波烘干的特殊要求。

系统装置设一个具有通讯接口电能表, 可在触摸屏上显示电压、电流、功率、电量等信息。微波烘干炉的PLC预留以太网接口, 用于车间数字化信息采集, 可提供微波烘干炉的所有状态信息, 并可进行集中参数设置和管理。本装置具有完善的安全连锁控制, 炉门开启时自动关闭微波加热, 炉门未压紧时自动关闭微波加热, 冷却水系统出现异常时自动关闭微波加热等。同时具有完善的故障诊断和报警系统, 当炉门密封系统出现异常, 冷却水出现异常时, 系统将自动做出判断并进行声光报警。控制系统设有针对每个磁控管的监控电路设计, 当磁控管或微波电源出现异常



1. 可调节风嘴 2. 待烘干的砂芯 3. 磁控管及电源
4. 微波加热腔体

图3 可调节风嘴布局图

Fig. 3 Layout of adjustable nozzle

时, 系统将自动检测出故障并进行声光报警提示。设有防止微波空载的检测元件和程序, 砂芯到位后自动开启微波, 检测到没有砂芯时自动关闭相应的磁控管, 通过微波防空载功能的实现, 可提高磁控管的使用寿命, 磁控管等电器元件使用寿命大于7 000 h。。

2 主要参数设计

微波属于超高频电磁波, 目前常用的频率为2 450 MHz和915 MHz, 微波功率渗透深度与波长成正比, 与频率成反比, 频率越高, 波长越短, 其穿透力也越弱。实验获知2 500 MHz恰恰就是能让水高效吸收光的频率, 所以本系统选用2 450 MHz微波频率。微波脱水能力一般为0.5~0.8 kg/(h·kW), 根据本项目砂芯浸涂水基涂料后的表面干燥的特点, 微波功率选择为102 kW, 采用102个工业用微波磁控管, 磁控管采用软化水冷却, 其耐高温、抗载能力强, 微波电源采用油浸水冷开关电源组, 稳定高效, 高可靠电子线路设计确保微波输出功率达到102 kW, 并根据不同砂芯种类和烘干要求系统可实现功率可调和烘干时间可调。微波加热时, 它以每秒24.5亿次的频率, 深入砂芯内部进行加热, 加速分子运转。因砂芯内部也同时被加热, 使整个砂芯受热均匀, 升温速度也快。

针对微波辐射可能无法对砂芯厚度大于300 mm时的缝隙进行有效烘干的问题, 系统增加辅助热风循环及加热装置, 根据砂芯吸热、水分蒸发潜热的需求, 结合循环热风温差不超过20℃的要求, 系统选择加热功率50 kW总循环风量约为5 000 m³/h的方案^[7]。

3 可行性分析

微波技术用于水分的快速烘干已经在食品、药材、木材等行业得到了广泛应用, 在铸造行业用于砂芯浸涂水基涂料后的表面干燥在近些年也越来越多,

主要用于外形表面比较简单的砂芯。由于微波技术的穿透性差和烘干不均匀,形状比较复杂的砂芯单纯使用微波进行烘干,会存在局部烘不干和局部烘糊等问题,而热风烘干技术用于砂芯浸涂水基涂料后的表面干燥已经得到了广泛应用^[8],因此需要将微波技术与热风烘干技术相结合,既能发挥微波干燥速度快效率高的特点,又能使用热风烘干较难烘干的部位和提高烘干的稳定性。实验证明这种复合的烘干方案具有可行性。

4 结束语

研究实践表明,通过式微波烘干系统采用微波加热无需热传导,砂芯内外同时加热,腔体不吸收热量,无其他热损失,能耗仅为电烘干的1/3,无需提前预热,安全环保,辅助热风循环及加热装置可以解决砂芯厚度大于300 mm时的缝隙烘干问题,优化了微波烘干系统的干燥效果,有一定的推广价值。

参考文献:

- [1] 刘东明. 树脂砂铸造生产线新型热风循环干燥炉国产化研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2007.
- [2] 刘挺. 以非接触式温度传感器为载体的工业微波炉控制系统设计与实践 [J]. 工业加热, 2019, 48(5): 43, 46.
- [3] 王永恩, 周鹏举, 王博. 大功率工业微波烘干设备在智能铸造工厂的应用 [J]. 铸造设备与工艺, 2018(3): 5-6.
- [4] 刘富初, 姜鹏, 黄映, 等. 复杂镁合金铸件的水溶性砂芯材料及高效清理技术研究 [J]. 铸造, 2016(12): 1178-1184.
- [5] 潘凤英, 扈广麒, 郭永斌. 微波技术在树脂砂芯涂层烘干过程中的应用 [J]. 铸造设备与工艺, 2016(5): 34-35, 64.
- [6] 王秉铨. 工业炉设计手册 [M]. 3版. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [7] 张广英, 刘超, 伍启华. 发动机缸体水套热芯盒制芯、浸涂与烘干工艺的优化 [J]. 铸造, 2016(7): 667-669.
- [8] 李玲, 尹绍奎, 谭锐, 等. 铸钢件3D打印砂型芯用水基涂料的开发与应用 [J]. 铸造, 2019(4): 359-363.

Microwave and Hot Air Combined Drying Equipment for Sand Cores

LIU Ling-ling¹, LI Bao-qiang², GUO Mao-mao¹, JING Jia-xing¹, ZHAO Meng-long¹

(1. Department of Electrical and Mechanical Engineering, Zhengzhou Institute of Finance and Economics, Zhengzhou 450044, Henan, China; 2. SIPPR Engineering Group Co., Ltd., Zhengzhou 450007, Henan, China)

Abstract:

A microwave and hot-air combined drying machine was designed. The drying equipment for the surface drying of sand cores after dipping water-based coating have the advantages of high drying efficiency, low energy consumption and environmental protection. It adopts microwave heating without heat conduction. Therefore, the whole sand core is simultaneously heated. Auxiliary hot air circulation and heating device solve the problem of low microwave drying effect for gaps in the sand core with the thickness greater than 300 mm.

Key words:

microwave; drying equipment; sand core; hot air circulation
