

真空自耗电弧炉电极杆制作工艺与质量控制研究

吴哲昆

宝钛集团 陕西 宝鸡 721014

摘要: 真空自耗电弧炉在特种金属熔炼领域具有关键作用,其电极杆的制作质量直接影响设备运行稳定性与熔炼产品质量。本文深入研究真空自耗电弧炉电极杆的制作工艺,分析制作过程中的关键技术环节,探讨质量控制措施,旨在提升电极杆制作水平,为真空自耗电弧炉高效稳定运行提供技术支撑。通过对材料选择、加工工艺、焊接技术以及质量检测等方面的研究,提出优化制作工艺和质量控制方案,有效提高电极杆的性能与可靠性。

关键词: 真空自耗电弧炉; 电极杆制作; 制作工艺; 质量控制

1 引言

真空自耗电弧炉作为一种用于熔炼高质量、高纯度金属的重要设备,广泛应用于航空航天、电子、核能等高端领域。在真空自耗电弧炉的运行过程中,电极杆承担着传输电流和支撑自耗电电极的重要作用,其性能优劣直接关系到电弧的稳定性、熔炼效率以及金属的质量。因此,深入研究真空自耗电弧炉电极杆的制作工艺与质量控制具有重要的现实意义。

2 真空自耗电弧炉电极杆的工作原理与性能要求

2.1 工作原理

真空自耗电弧炉的工作原理是利用自耗电电极与水冷铜坩埚中的金属熔池之间产生的电弧热量,将自耗电电极逐渐熔化并滴落到熔池中,经过精炼后凝固成锭。电极杆在这个过程中,通过与自耗电电极连接,将电流传输至电极,产生高温电弧。同时,电极杆需要保持稳定,确保自耗电电极在熔化过程中的位置精度,使电弧稳定燃烧。

2.2 性能要求

2.2.1 导电性良好

电极杆需要具备较低的电阻,以减少电流传输过程中的能量损耗,保证足够的电流能够顺利通过,维持稳定的电弧功率。良好的导电性有助于提高熔炼效率,降低生产成本。

2.2.2 高强度与刚度

在熔炼过程中,电极杆要承受自耗电电极的重力、电磁力以及热应力等多种载荷。因此,电极杆必须具有足够的强度和刚度,以防止在工作过程中发生变形、弯曲甚至断裂,确保设备的安全稳定运行。

2.2.3 耐高温性能

由于电极杆靠近高温电弧区域,工作温度较高,所以需要具备良好的耐高温性能,能够在高温环境下保持材料的力学性能和尺寸稳定性,避免因高温而导致材料

性能劣化。

2.2.4 气密性要求

为保证真空自耗电弧炉的真空环境,电极杆与炉体的连接部位需要具备良好的气密性,防止外界空气进入炉内,影响熔炼过程和金属质量。

3 电极杆制作材料的选择

3.1 材料特性分析

制作电极杆的材料通常选用铜合金或高强度合金钢。铜合金具有优良的导电性和导热性,能够满足电极杆对电流传输和散热的要求,如紫铜、铬锆铜等。其中,紫铜导电性极佳,但强度相对较低;铬锆铜在保持良好导电性的同时,具有较高的强度和硬度,高温性能也较为出色。高强度合金钢则具有高强度、高刚度和良好的耐高温性能,如42CrMo等,能够承受较大的载荷,但导电性相对较差。

3.2 材料选择依据

根据真空自耗电弧炉的工作条件和电极杆的性能要求,在选择制作材料时,需要综合考虑导电性、强度、耐高温性能以及成本等因素。对于小型真空自耗电弧炉,由于电流较小,对电极杆强度要求相对较低,可优先选用紫铜等导电性好的材料,以降低成本并满足基本性能需求。而对于大型真空自耗电弧炉,在满足导电性的前提下,更注重电极杆的强度和耐高温性能,可选择铬锆铜或高强度合金钢,并通过合理的结构设计和加工工艺来弥补其导电性不足的问题。

4 电极杆制作工艺

4.1 机械加工工艺

4.1.1 下料

根据电极杆的设计尺寸,选择合适规格的原材料进行下料。下料过程中要保证尺寸精度,采用锯床、等离子切割机等设备进行切割,并对切割面进行必要的处理,去除

毛刺和氧化皮,以保证后续加工的精度和质量。

4.1.2 车削加工

车削加工是电极杆机械加工的关键工序,主要用于加工电极杆的外圆、内孔以及螺纹等部位。在车削外圆时,要严格控制尺寸公差和表面粗糙度,确保电极杆与自耗电极以及其他部件的配合精度。内孔加工则需要保证其同轴度和圆柱度,为后续的装配和使用提供良好的条件。对于带有螺纹的电极杆,螺纹加工的精度直接影响到电极杆与自耗电极的连接可靠性,应采用高精度的螺纹刀具和先进的加工工艺,确保螺纹的牙型、螺距和中径等参数符合设计要求。

4.1.3 磨削加工

磨削加工主要用于进一步提高电极杆的表面质量和尺寸精度。通过磨削外圆和内孔,可以降低表面粗糙度值,消除车削加工留下的微小缺陷,提高电极杆的耐磨性和耐腐蚀性。在磨削过程中,要合理选择磨削参数,如砂轮的粒度、硬度和磨削速度等,以避免烧伤工件表面或产生磨削裂纹。

4.2 焊接工艺

当电极杆采用分段制作或需要连接其他部件时,焊接工艺就显得尤为重要。常用的焊接方法有钨极氩弧焊(TIG)、熔化极气体保护焊(MIG)等。

4.2.1 焊接材料的选择

焊接材料的选择要与电极杆制作材料相匹配,以保证焊接接头的性能。对于铜合金电极杆,通常选用与母材成分相近的铜基焊丝作为焊接材料;对于合金钢电极杆,则根据母材的化学成分和性能要求,选择合适的合金钢焊丝或焊条。同时,焊接材料的纯度和质量也直接影响焊接接头的质量,应选用优质的焊接材料,并严格控制其杂质含量。

4.2.2 焊接工艺参数优化

焊接工艺参数如焊接电流、电压、焊接速度、气体流量等对焊接质量有着重要影响。在焊接过程中,要根据电极杆的材料、厚度以及焊接位置等因素,通过试验确定最佳的焊接工艺参数。例如,对于较薄的铜合金电极杆,为防止焊接变形和烧穿,应采用较小的焊接电流和较快的焊接速度;而对于较厚的合金钢电极杆,则需要适当增大焊接电流,以保证焊缝的熔深和强度。此外,合理控制保护气体的流量,能够有效防止焊缝金属氧化,提高焊接接头的质量。

4.2.3 焊接质量控制措施

为确保焊接质量,在焊接前要对焊接部位进行严格的清理,去除油污、铁锈和水分等杂质,以保证焊接电

弧的稳定性和焊缝的质量。焊接过程中,要加强对焊接过程的监控,及时发现和纠正焊接缺陷,如气孔、裂纹、未焊透等。焊接完成后,对焊接接头进行外观检查 and 无损检测,如X射线探伤、超声波探伤等,确保焊接接头的质量符合设计要求。

4.3 表面处理工艺

4.3.1 镀覆处理

为提高电极杆的耐腐蚀性和导电性,可对其表面进行镀覆处理。常见的镀覆方法有镀银、镀镍等。镀银能够显著提高电极杆的表面导电性,降低接触电阻,同时银层具有良好的化学稳定性和抗腐蚀性,能够保护电极杆在恶劣环境下正常工作。镀镍则可以提高电极杆的硬度和耐磨性,增强其表面防护性能。在镀覆过程中,要严格控制镀液成分、镀覆时间和温度等工艺参数,确保镀覆层的厚度均匀、结合牢固。

4.3.2 钝化处理

对于合金钢电极杆,为防止其在空气中生锈,可进行钝化处理。钝化处理是通过在电极杆表面形成一层致密的钝化膜,阻止氧气和水分等与金属基体的接触,从而达到防锈的目的。常用的钝化方法有化学钝化和电化学钝化,根据合金钢的种类和使用环境选择合适的钝化工艺,能够有效延长电极杆的使用寿命。

5 电极杆制作过程中的质量控制

5.1 原材料质量检验

原材料的质量是保证电极杆制作质量的基础,在原材料采购过程中,要严格按照相关标准进行检验。检查原材料的化学成分、力学性能、金相组织等是否符合要求,对每批次原材料进行抽样检验,确保其质量的稳定性和可靠性。同时,要求供应商提供原材料的质量证明文件,如材质报告、检验报告等,以备追溯和查询。

5.2 过程质量监控

在电极杆制作过程中,要建立完善的过程质量监控体系,对每一道工序进行严格的质量检查。采用首件检验、巡检和末件检验等方式,及时发现和纠正加工过程中的质量问题。例如,在机械加工过程中,对首件产品进行全面的尺寸检测,确认加工工艺的正确性和稳定性;在焊接过程中,定期对焊接参数进行检查和调整,确保焊接质量的一致性;在表面处理过程中,对镀覆层或钝化膜的质量进行检验,保证表面处理效果符合要求。

5.3 成品质量检测

电极杆制作完成后,要进行全面的成品质量检测。除了对外观进行检查,确保无明显的缺陷和损伤外,还需要进行以下性能检测:

5.3.1 尺寸精度检测

使用高精度的测量仪器,如三坐标测量仪等,对电极杆的各项尺寸进行精确测量,检查其是否符合图纸要求。尺寸精度直接影响电极杆与其他部件的装配和使用性能,必须严格控制。

5.3.2 导电性检测

采用专业的电阻测量仪,测量电极杆的电阻值,判断其导电性是否满足要求。对于导电性不符合标准的电极杆,要分析原因并采取相应的改进措施,如检查材料质量、加工工艺是否存在问题等。

5.3.3 力学性能检测

通过拉伸试验、弯曲试验和硬度测试等方法,检测电极杆的力学性能,包括抗拉强度、屈服强度、延伸率、弯曲性能和硬度等指标。力学性能是衡量电极杆强度和刚度的重要依据,必须保证其在规定的范围内。

5.3.4 气密性检测

对于与炉体连接部位有气密性要求的电极杆,采用气密性检测设备进行检测,如氦质谱检漏仪等。向电极杆内部充入一定压力的气体,然后检测其泄漏率,确保气密性符合真空自耗电弧炉的工作要求。

6 案例分析

以某企业生产的大型真空自耗电弧炉电极杆为例,该电极杆采用铬锆铜材料制作,长度为3m,直径为200mm。在制作过程中,严格按照上述制作工艺和质量控制方法进行操作。

在机械加工环节,通过优化车削和磨削工艺参数,保证了电极杆外圆和内孔的尺寸精度和表面粗糙度,满足了设计要求。在焊接工艺方面,针对铬锆铜材料的焊接特性,选择了合适的焊接材料和工艺参数,并对焊接接头进行了严格的质量控制,经过X射线探伤检测,焊接接头质量达到一级标准。在表面处理过程中,对电极杆表面进行镀银处理,镀银层厚度均匀,结合牢固,有效提高了电极杆的导电性和耐腐蚀性。

通过对成品电极杆的全面质量检测,各项性能指标

均符合要求。该电极杆在真空自耗电弧炉上投入使用后,运行稳定,电弧燃烧正常,熔炼出的金属质量优良,得到了用户的高度认可。

7 结论

真空自耗电弧炉电极杆的制作工艺和质量控制是一个系统工程,涉及材料选择、机械加工、焊接、表面处理以及质量检测等多个环节。通过合理选择制作材料,优化加工工艺和焊接技术,严格控制每一个制作环节的质量,可以有效提高电极杆的性能和可靠性,满足真空自耗电弧炉的工作要求。在实际生产过程中,应不断总结经验,持续改进制作工艺和质量控制方法,以适应不断发展的真空自耗电弧炉技术和市场需求,为特种金属熔炼行业的发展提供有力的支持。

参考文献

- [1]徐光宪.稀土冶金与材料学[M].北京:化学工业出版社,2013.(涉及特种金属熔炼设备基础)
- [2]周振丰,张文钺.焊接冶金与材料焊接性[M].北京:机械工业出版社,2008.(焊接工艺理论支撑)
- [3]王祝堂.铜及铜合金加工手册[M].北京:冶金工业出版社,2010.(铜合金材料特性与应用)
- [4]GB/T 11345-2013焊缝无损检测超声检测技术、检测等级和评定[S].北京:中国标准出版社,2013.(焊接质量检测标准)
- [5]陈祝年.焊接工程师手册[M].北京:机械工业出版社,2012.(焊接工艺参数优化参考)
- [6]GB/T 31329-2014铜及铜合金加工材表面质量标准[S].北京:中国标准出版社,2014.(表面处理质量规范)
- [7]胡庚祥,蔡珣.材料科学基础[M].上海:上海交通大学出版社,2010.(金属材料性能分析基础)
- [8]JB/T 6440-2018真空自耗电弧炉技术条件[S].北京:机械工业出版社,2018.(设备制造与检验标准)
- [9]张万奎.机械加工工艺手册[M].北京:北京理工大学出版社,2015.(机械加工工艺参数依据)