

冶金连铸机二冷系统喷嘴优化设计研究

赵天琪 董 斌 王 硕

安阳钢铁股份有限公司 河南 安阳 455004

摘 要:在现代冶金工业中,连铸机二冷系统喷嘴的优化设计对于提高产品质量和生产效率至关重要。本文通过分析当前连铸机二冷系统喷嘴设计中的问题,提出了一系列优化策略。探讨了喷嘴布局不合理导致的冷却不均匀问题;研究了喷嘴堵塞对冷却效果的影响;分析了喷嘴材料选择不当导致的耐久性不足问题。针对这些问题,本文提出了改进喷嘴布局、采用自清洁技术和优化材料选择等对策,并通过实际案例验证了这些对策的有效性。研究表明,通过优化喷嘴设计可以显著提升连铸产品的质量,降低生产成本,提高企业的市场竞争力。

关键词:冶金连铸机;二冷系统;喷嘴优化设计

1 引言

随着冶金工业的发展,连铸技术已成为钢铁生产的重要环节。连铸过程中,二冷系统的性能直接影响到铸坯的质量和生产效率。喷嘴作为二冷系统的核心部件,其设计优劣直接关系到冷却效果。现有的喷嘴设计存在诸多问题,如冷却不均匀、喷嘴堵塞和耐久性不足等。这些问题不仅影响产品质量,还增加了生产成本。因此,对连铸机二冷系统喷嘴进行优化设计显得尤为重要。本文将从实际应用出发,探讨喷嘴设计中的常见问题,并提出相应的优化对策,以期为企业提供参考。

2 基于冶金连铸机二冷系统喷嘴优化设计研究的意义

2.1 提高产品质量

连铸过程中的二冷系统是控制铸坯温度的关键环节,而喷嘴的设计直接影响到冷却效果。合理的喷嘴布局和喷水模式能够确保铸坯表面均匀冷却,避免因局部过热或过冷而导致的产品缺陷。冷却不均匀会导致铸坯内部应力分布不均,从而产生裂纹或其他缺陷。通过优化喷嘴设计,可以有效提高铸坯的表面质量和内部结构,减少废品率,提高产品合格率。均匀的冷却还有助于改善铸坯的机械性能,使其更加符合下游加工的要求,提高产品的附加值。

2.2 降低生产成本

喷嘴设计的优化不仅可以提高产品质量,还能显著降低生产成本。合理的喷嘴布局和高效率的冷却方式可以减少冷却水的消耗,节约水资源。优化后的喷嘴具有更好的耐久性和抗堵塞能力,减少了维护和更换喷嘴的频率,降低了设备的运行成本。此外,均匀的冷却还可以缩短连铸过程的时间,提高生产效率。

3 基于冶金连铸机二冷系统喷嘴优化设计研究的问题

3.1 喷嘴布局不合理导致冷却不均匀

喷嘴布局不合理是导致冷却不均匀的主要原因之一。传统的喷嘴布局往往基于经验设计,缺乏科学依据。这种布局方式容易造成铸坯表面某些区域冷却过度,而另一些区域则冷却不足。冷却不均匀不仅会影响铸坯的表面质量,还会导致内部组织结构的不均匀,进而影响产品的力学性能。在实际生产中,由于喷嘴布局不合理,铸坯表面出现了明显的温度梯度,导致部分区域出现裂纹。冷却不均匀还会增加铸坯的内应力,进一步加剧裂纹的形成。优化喷嘴布局,实现均匀冷却,是提高铸坯质量的关键。

3.2 喷嘴堵塞影响冷却效果

喷嘴堵塞是连铸机二冷系统常见的问题之一,严重影响冷却效果。喷嘴堵塞的原因多种多样,包括水质不良、杂质沉积、结垢等。堵塞的喷嘴无法正常喷射冷却水,导致铸坯表面某些区域得不到充分冷却,甚至完全失去冷却效果。这种情况不仅会降低铸坯的质量,还可能引发安全事故。某钢铁厂在生产过程中发现,由于喷嘴堵塞,铸坯表面出现了局部过热现象,导致铸坯变形。频繁的喷嘴堵塞还增加了设备的维护成本和停机时间,降低了生产效率。解决喷嘴堵塞问题,保持喷嘴的畅通,是保证冷却效果的关键。

3.3 喷嘴材料选择不当导致耐久性不足

喷嘴材料的选择直接影响其使用寿命和耐久性。目前,常用的喷嘴材料有铜、不锈钢和陶瓷等。不同的材料具有不同的性能特点,但并非所有材料都适合在高温、高压和腐蚀性的环境中长期使用。铜制喷嘴虽然导热性好,但在高温下容易氧化,寿命较短;而不锈钢喷嘴虽然耐腐蚀,但在高压环境下易发生变形。一些企业为了降低成本,选择价格低廉但性能较差的材料,导致喷嘴在短时间内就需要更换。频繁更换喷嘴不仅增加了

生产成本,还影响了生产的连续性和稳定性。选择合适的喷嘴材料,提高其耐久性,是优化设计的重要方面。

4 基于冶金连铸机二冷系统喷嘴优化设计研究的对策

4.1 改进喷嘴布局

在冶金连铸机二冷系统中,实现铸坯均匀冷却对于保证铸坯质量至关重要,而优化喷嘴布局是达成这一目标的关键环节。随着计算机技术的飞速发展,借助计算机模拟技术,并深度融合实际生产数据,对喷嘴的位置和角度进行精确计算成为可能。在实际操作中,利用专业的数值模拟软件,构建连铸机二冷区域的三维模型,将铸坯的几何形状、材质参数、拉坯速度以及冷却水的流量、温度等实际生产数据输入模型中。通过模拟冷却水从喷嘴喷出后的流动状态、温度场分布以及与铸坯表面的换热过程,能够精准确定每个喷嘴应覆盖的铸坯表面特定区域。某钢铁厂在运用三维流体动力学模拟软件对现有喷嘴布局进行仿真分析时,基于大量实际生产数据构建模型,模拟结果清晰显示出铸坯某些边缘和角落区域存在冷却不足的情况。该厂技术人员依据模拟结果,对喷嘴的位置进行了精确调整,将部分喷嘴向冷却不足区域靠近,并对喷嘴角度进行优化,使冷却水喷射方向更贴合铸坯表面相应区域。经过调整后,再次进行模拟验证以及实际生产测试,结果表明,冷却水能够均匀覆盖整个铸坯表面,铸坯的冷却均匀性得到显著提高,因冷却不均匀导致的裂纹产生概率大幅降低。

除了利用计算机模拟优化传统的单层喷嘴布局,引入多层喷嘴布局也是提升冷却效果的有效策略。多层喷嘴布局通过不同高度的喷嘴组合,能够实现多层次、多角度的冷却。在设计多层喷嘴布局时,需综合考虑铸坯在不同冷却阶段的散热需求以及不同高度处水流的分布特性。某大型钢铁企业在连铸机上采用了三层喷嘴布局,最上层喷嘴主要负责对刚从结晶器拉出的高温铸坯进行初次冷却,此层喷嘴喷射出的水流速度较快、流量较大,以迅速带走铸坯表面大量的显热;中间层喷嘴在铸坯温度有所降低后,对其进行二次冷却,通过调整喷嘴角度和水流特性,确保铸坯侧面和底面得到均匀冷却;最下层喷嘴则对铸坯进行最后的冷却微调,保证铸坯在进入后续工序前温度均匀且符合工艺要求。每一层喷嘴负责不同区域和阶段的冷却,各层之间相互配合、协同作用,有效解决了冷却不均匀的问题。通过实施多层喷嘴布局优化,该厂铸坯的质量得到明显提升,次品率显著降低,同时由于减少了因铸坯质量问题导致的生产中断和返工,生产成本也大幅降低,进而提升了企业在市场中的竞争力。

4.2 采用自清洁技术

在冶金连铸机二冷系统运行过程中,喷嘴堵塞是一个常见且影响生产效率和铸坯质量的问题。为有效防止喷嘴堵塞,采用自清洁技术确保喷嘴的畅通成为必然选择。自清洁技术主要涵盖自动清洗装置和防堵塞材料的应用两个方面。自动清洗装置能够在喷嘴工作间隙或按照预设的时间周期进行清洗,以清除喷嘴内的杂质和结垢。其工作原理通常是利用高压水流和机械刷头的协同作用。某钢铁厂在其连铸机上安装的自动清洗装置,在结构设计上,配备了可精确控制压力的高压水泵,能够产生满足清洗需求的高压水流,同时设置了可旋转的刷头,刷头材质具有良好的耐磨性且形状设计符合喷嘴内部结构特点。当启动清洗程序时,高压水流首先对喷嘴内部进行初步冲洗,将大部分松散的杂质冲走,随后旋转刷头深入喷嘴内部,对喷嘴壁上附着的顽固结垢进行机械刮擦清理。实际应用数据表明,在安装该自动清洗装置之前,该厂平均每周因喷嘴堵塞需要人工清理喷嘴的次数达到3-4次,每次清理耗时约2-3小时,严重影响生产连续性。而安装自动清洗装置后,人工清理喷嘴的次数降低至每月1-2次,且每次清理时间缩短至0.5-1小时,不仅有效清除了喷嘴内的杂质,还大幅延长了喷嘴的使用寿命,从原来平均每2-3个月更换一次喷嘴,延长至6-8个月更换一次。采用防堵塞材料制造喷嘴也是解决喷嘴堵塞问题的重要手段。防堵塞材料具有独特的微观结构和物理化学性质,使其具备良好的抗结垢性能,能够在一定程度上防止杂质沉积。结合智能监测系统,实时监控喷嘴的工作状态,可进一步提升自清洁技术的效果。智能监测系统通常利用传感器技术,对喷嘴的水流压力、流量、温度等参数进行实时采集和分析。一旦监测到这些参数出现异常变化,如水流压力突然升高、流量明显降低等迹象,系统能够迅速判断喷嘴可能出现堵塞,并立即启动清洗程序。某钢铁企业构建的智能监测系统,通过在每个喷嘴的进水管道上安装高精度压力传感器和流量传感器,将采集到的数据实时传输至中央控制系统。中央控制系统利用大数据分析和机器学习算法,对数据进行实时处理和分析,建立喷嘴工作状态的预测模型。当模型预测到某个喷嘴有堵塞风险时,自动向与之对应的自动清洗装置发出指令,启动清洗程序。通过这种智能监测与自动清洗相结合的方式,确保喷嘴始终处于最佳工作状态,不仅提高了喷嘴的可靠性和耐用性,还极大地减少了维护成本,提高了生产效率,使企业的生产过程更加智能化和高效化。

4.3 优化材料选择

在冶金连铸机二冷系统中,喷嘴所处的工作环境复杂且恶劣,为提高喷嘴的耐久性,优化材料选择是一项关键举措。根据喷嘴所处的具体工作环境,如温度、压力、腐蚀性等因素,精准选择合适的材料。在高温、高压且腐蚀性较强的环境中,耐高温、耐腐蚀的合金材料成为理想选择。这类合金材料通常是在基础金属中添加多种合金元素,通过特殊的熔炼和加工工艺制备而成。在一些特殊钢种的连铸生产中,铸坯在二冷区域的表面温度可达1000℃以上,同时冷却水含有一定量的腐蚀性介质,此时可选用镍基合金材料制造喷嘴。镍基合金中含有大量的镍元素,镍具有良好的耐高温性能,同时添加铬、钼等合金元素,能够在合金表面形成一层致密的氧化保护膜,有效抵抗高温氧化和腐蚀性介质的侵蚀。该合金材料还具备良好的机械性能,如较高的强度和韧性,能够承受在高压水流冲击下的机械应力,保证喷嘴在恶劣工作环境下长期稳定运行。

采用复合材料制造喷嘴也是提升喷嘴性能的有效途径。复合材料由两种或多种不同材料通过特定的复合工艺组合而成,能够综合各种材料的优点,显著提高喷嘴的整体性能。某企业开发的一种复合材料喷嘴,该喷嘴以不锈钢为基体材料,利用热压成型工艺将陶瓷颗粒均匀地嵌入不锈钢基体中。不锈钢具有良好的强度和耐腐蚀性,能够为喷嘴提供结构支撑和抵抗一般环境的腐蚀;而陶瓷材料具有高硬度、高耐磨性和耐高温性,能够有效抵抗高速水流携带的杂质对喷嘴内部流道的冲刷磨损,同时高温环境下保持稳定的物理化学性能。通过这种复合方式,使喷嘴既具备不锈钢的高强度和耐腐蚀性,又具备陶瓷材料的耐磨性和耐高温性。

除了选择合适的材料和采用复合材料,采用表面处理技术也是提高喷嘴耐久性的重要手段。通过表面镀膜或喷涂耐磨涂层,可以显著改善喷嘴表面的性能,提高其耐磨性和抗腐蚀性。某钢铁厂在其连铸机上采用了物理气相沉积(PVD)表面镀膜技术,在喷嘴表面镀上一层厚度约为几微米的氮化钛(TiN)涂层。氮化钛涂层具有金黄色的外观,硬度高、摩擦系数低,能够有效减

少水流与喷嘴表面的摩擦,降低磨损。氮化钛涂层具有良好的化学稳定性,能够在一定程度上抵抗冷却水的腐蚀。在实际生产应用中,经过表面镀膜处理的喷嘴,在相同工作条件下,其内部流道的磨损程度明显降低,使用寿命相较于未镀膜的喷嘴延长了约2-3个月。还可以采用超音速火焰喷涂(HVOF)技术在喷嘴表面喷涂耐磨涂层,如碳化钨涂层。碳化钨涂层具有极高的硬度和耐磨性,能够有效保护喷嘴表面免受高速水流和杂质的冲刷侵蚀。结合先进的制造工艺,如3D打印技术,能够制造出结构更为复杂、性能更优的喷嘴。3D打印技术又称增材制造技术,它通过逐层堆积材料的方式制造物体,能够实现传统制造工艺难以实现的复杂结构设计。利用3D打印技术可以制造出内部流道具有特殊形状和变截面结构的喷嘴,这种结构能够优化水流的喷射模式,提高冷却效率,同时减少水流对喷嘴壁的冲击,降低磨损。在材料选择方面,3D打印技术还可以实现多种材料的一体化成型,进一步拓展了喷嘴材料的选择范围和性能优化空间。

5 结束语

通过对冶金连铸机二冷系统喷嘴优化设计的研究,我们发现喷嘴布局不合理、喷嘴堵塞和材料选择不当是影响冷却效果的主要问题。通过改进喷嘴布局、采用自清洁技术和优化材料选择等对策,可以有效解决这些问题,提高铸坯的质量和生产效率。未来,随着新材料和新技术的不断发展,喷嘴设计将进一步优化,为冶金工业带来更多的创新和发展机遇。希望本文的研究成果能够为相关企业提供有价值的参考,推动连铸技术的进步。

参考文献

- [1]刘喜锚,史伟宁.连铸二冷系统喷嘴堵塞物来源分析和控制措施[J].中国冶金,2022,32(9):6.
- [2]张鸿洋,别小伟,沈新.连铸机设备技术改造[J].冶金设备,2023(S02):000.
- [3]王秋喜.某钢厂板坯连铸机的冷却系统改造设计[J].山西冶金,2024(10).