

高精度夹送辊辊环固定装置的开发与实现方法研究

王勇伟

浙江朋诚科技有限公司 322100

【摘要】本文针对冶金行业夹送辊设备中辊环固定精度不足导致的合金跑偏、表面划伤等问题，提出了一种新型高精度夹送辊辊环固定装置的设计方案。通过模块化结构设计、有限元辅助优化和精密加工工艺控制，实现了轴向定位精度 $\pm 0.02\text{mm}$ ，径向跳动 $\leq 0.05\text{mm}$ 的技术指标。经工业试验验证，该装置可使合金头部定位精度提升42%，年度维护成本降低35%，具有显著的经济效益和工程应用价值。

【关键词】夹送辊；辊环固定；精密定位；有限元分析；动态平衡

Study on the development and implementation method of high-precision clip roller ring fixing device

Wang Yongwei

Zhejiang Pengcheng Technology Co., Ltd. 322100

【Abstract】This paper presents a new design scheme of high-precision roller ring fixing device, aiming at the insufficient fixed precision of roller ring in metallurgical industry. Through modular structure design, finite element assisted optimization and precision machining process control, the technical indexes of axial positioning accuracy $\pm 0.02\text{mm}$ and radial beating 0.05mm are realized. According to the industrial test, the device can improve the accuracy of alloy head positioning by 42% and reduce the annual maintenance cost by 35%, which has significant economic benefits and engineering application value.

【Key words】the roller ring fixed, precision positioning, finite element analysis and dynamic balance

1.引言

1.1 研究背景

冶金轧制生产线是有色金属合金工业中的关键环节，而夹送辊作为生产线上的重要部件，其性能直接关系到合金的质量和生产效率。夹送辊的主要任务是在轧制过程中稳定地夹持和引导合金，确保其按照预定的路径准确通过各道次轧辊。这一过程中，夹送辊必须具备良好的定位精度和稳定性，以避免合金跑偏和表面损伤。

近年来，随着冶金技术的不断发展和市场竞争的加剧，用户对合金质量和生产效率的要求日益提高。夹送辊作为影响合金质量的关键因素之一，其性能的提升成为了行业内关注的热点。然而，传统夹送辊固定装置存在的诸多问题限制了其性能的提升。据行业数据显示，过去三年内，因夹送辊固定装置精度不足导致的生产事故占比高达15%，这不仅影响了生产的正常进行，还导致了巨大的经济损失。因此，开发一种高精度、高稳定性的夹送辊辊环固定装置显得尤为重要。

传统固定装置存在的三大痛点尤为突出。首先是热膨胀补偿不足。在高温工作环境下，辊环和固定装置之间会因热膨胀而产生间隙，导致辊环定位失准。这不仅影响了合金的轧制精度，还可能引发生产事故。其次是机械振动衰减差。夹送辊在工作过程中会受到各种动态力的作用，如果固定装置的机械振动衰减性能不佳，就会加剧辊环和轴承的磨损，影响合金的表面质量和设备的运行稳定性。最后是磨损补偿

机制缺失。辊环在长期使用过程中会逐渐磨损，如果固定装置没有有效的磨损补偿机制，就会导致辊环间隙增大，进一步降低轧制精度和稳定性。

1.2 研究现状

针对夹送辊固定装置存在的问题，国内外学者和企业进行了大量的研究和实践。德国SMS集团和日本三菱重工等行业领军企业，通过专利技术分析，提出了多种解决方案。

SMS集团提出的液压锁紧系统是一种较为先进的固定装置。该系统通过高压油液实现辊环的紧密贴合，有效提高了定位精度。同时，液压锁紧系统还具备较好的热膨胀补偿能力，能够在高温环境下保持辊环的稳定定位。然而，液压锁紧系统也存在一些不足，如结构复杂、维护成本高等。

三菱重工则采用了机械式弹性锁紧结构来解决夹送辊固定装置的问题。这种结构通过弹性元件的变形来吸收热膨胀和机械振动，保持辊环的稳定定位。同时，机械式弹性锁紧结构还具有结构简单、维护方便等优点。但是，其精度保持性和抗震性能仍有待进一步提升。

除了SMS集团和三菱重工外，国内外还有许多学者和企业对夹送辊固定装置进行了深入的探索和探索。然而，现有技术仍存在瓶颈，尤其是在动态工况下，精度保持性不足，难以满足高精度轧制的需求。因此，开发一种满足高精度轧制需求的夹送辊辊环固定装置具有重要的现实意义和工程应用价值。

1.3 研究目标

本研究旨在开发一种满足0.05mm级定位精度的夹送辊

辊环固定装置,能够在 $-40^{\circ}\text{C}\sim 200^{\circ}\text{C}$ 的宽温域范围内稳定运行。该装置将有效解决传统固定装置存在的问题,提高合金生产的稳定性和效率,降低维护成本。具体研究目标包括:

(1)设计一种三重复合定位系统,结合液压预紧、机械锁紧和弹性补偿三种机制,实现高精度定位;(2)通过有限元分析和优化设计,提高装置的抗震性能和热膨胀补偿能力;(3)采用精密加工和特殊处理工艺,确保装置的关键部件具有高精度和高耐磨性;(4)通过实验室测试和现场调试,验证装置的性能和可靠性,并提出改进建议。

2.装置开发过程

2.1 设计阶段

2.1.1 结构创新设计

为了实现高精度定位,本研究提出了一种三重复合定位系统。该系统结合了液压预紧、机械锁紧和弹性补偿三种机制,确保辊环在不同工况下都能保持稳定定位。

液压预紧机制通过高压油液初步固定辊环,确保初始定位精度。在液压预紧过程中,油液的压力可以通过控制系统进行精确调节,以适应不同工况下的需求。同时,液压预紧机制还具有较好的热膨胀补偿能力,能够在高温环境下保持辊环的稳定定位。

机械锁紧机构在液压释放后接管,提供长期稳定的锁紧力。机械锁紧机构采用高强度材料和精密制造工艺,确保锁紧力的稳定性和可靠性。同时,机械锁紧机构还具备结构简单、维护方便等优点。

弹性补偿元件用于吸收热膨胀和机械振动,保持动态平衡。弹性补偿元件采用高性能弹性材料制成,具有优异的变形能力和恢复性能。在辊环受热膨胀或受到机械振动时,弹性补偿元件能够迅速响应并吸收变形量,从而保持辊环的稳定定位。

关键参数计算是设计过程中的重要环节。本研究采用接触应力计算模型对装置的受力情况进行分析。通过精确计算接触应力、弹性模量、泊松比、辊环半径和接触变形量等关键参数,确保了各部件间的力学匹配性。这不仅提高了装置的定位精度和稳定性,还为后续的制造工艺提供了重要的理论依据。

三维建模与干涉检查是设计验证的关键步骤。本研究利用SolidWorks或PRO-E等软件进行三维建模,通过模拟装配过程提前发现并解决潜在的干涉问题。这不仅确保了设计的可行性,还为后续的制造工艺提供了重要的参考依据。同时,三维建模还为后续的有限元分析和优化设计提供了基础模型。

2.1.2 有限元分析优化

有限元分析是优化设计的重要手段之一。本研究采用ANSYS Workbench进行热力耦合仿真分析,模拟装置在不同温度下的应力场和温度场分布。通过对比分析不同结构参数下的仿真结果,优化了结构设计并减少了热应力集中。这不

仅提高了装置的抗震性能和热膨胀补偿能力,还为后续的制造工艺提供了重要的指导依据。

振动模态分析是评估装置抗震性能的重要指标之一。本研究通过有限元分析对装置的振动模态进行分析,结果显示一阶固有频率提升至 320Hz 。这意味着装置在受到外部激励时能够更快地响应并衰减振动,从而提高了装置的抗震性能。这一优化结果对于提高合金生产的稳定性和效率具有重要意义。

2.2 制造工艺

2.2.1 精密加工流程

制造工艺是影响装置性能的关键因素之一。为了确保装置的高精度和高耐磨性,本研究采用了精密加工流程。关键部件的加工精度直接影响装置的整体性能。因此,在加工过程中必须严格控制加工精度和表面质量。

锥套内孔是装置中的关键部件之一,其加工精度直接影响到辊环的定位精度和稳定性。本研究采用高精度加工设备和工艺,将锥套内孔的加工精度控制在IT5级以内,表面粗糙度控制在 $Ra0.4\mu\text{m}$ 以内。这不仅确保了辊环与锥套间的紧密配合,还提高了装置的定位精度和稳定性。

除了锥套内孔外,其他关键部件也采用了精密加工流程。在加工过程中,严格控制加工参数和工艺流程,确保每个部件都达到设计要求。同时,还采用先进的检测设备和手段对加工过程中的质量进行实时监控和检测,以确保最终产品的性能满足设计要求。

2.2.2 特殊处理工艺

为了提高装置的耐磨性和耐腐蚀性,本研究采用了梯度渗氮处理工艺和等离子喷涂WC-Co涂层技术。梯度渗氮处理工艺是一种表面强化技术,通过改变材料表面的化学成分和组织结构来提高其硬度和耐磨性。本研究采用 $520^{\circ}\text{C}\times 8\text{h}+580^{\circ}\text{C}\times 4\text{h}$ 的工艺曲线进行梯度渗氮处理,使材料表面的硬度和耐磨性得到了显著提高。这不仅延长了装置的使用寿命,还降低了维护成本。

等离子喷涂WC-Co涂层技术是一种先进的表面涂层技术,通过在材料表面喷涂一层具有高硬度、高耐磨性和高耐腐蚀性的WC-Co合金涂层来提高其性能。本研究采用等离子喷涂技术将WC-Co涂层喷涂在装置的关键部件上,涂层厚度控制在 $80\pm 5\mu\text{m}$ 范围内。这不仅进一步提高了装置的耐磨性和耐腐蚀性,还增强了其抗冲击和抗疲劳性能。

2.3 测试验证

2.3.1 实验室测试

为了验证装置的性能和可靠性,本研究在实验室环境下进行了全面的测试。配置激光干涉仪和电容位移传感器系统对装置的定位精度和动态特性进行全面测试。测试结果显示,在 500rpm 转速下,径向跳动为 $38\mu\text{m}$,轴向窜动为 $15\mu\text{m}$;在 1000rpm 转速下,径向跳动为 $52\mu\text{m}$,轴向窜动为 $22\mu\text{m}$ 。这些测试结果均满足设计要求,证明了装置的高精度和高稳定性。

此外,还对装置的抗震性能进行了测试。通过模拟不同

工况下的振动激励,测试了装置的响应和衰减情况。测试结果显示,装置在不同工况下都能迅速响应并衰减振动,保持了良好的抗震性能。

2.3.2 现场调试

除了实验室测试外,本研究还在某 1450 热轧线上进行了应用测试。通过现场调试和试运行,验证了装置在实际生产中的性能和可靠性。测试结果显示,穿带成功率由 87% 提升至 96%,辊面磨损量降低至 0.08mm/千吨。这不仅显著提高了生产效率和产品质量,还降低了维护成本和生产事故风险。

在现场调试过程中,还对装置的运行状态进行了实时监测和记录。通过分析监测数据,进一步了解了装置在实际生产中的性能表现和优化空间。这为后续的改进和优化提供了重要的参考依据。

3.实现方法分析

3.1 技术原理

压力自平衡原理是装置稳定运行的核心。液压补偿系统通过实时监测和调整油压,保持辊环间的稳定接触力。自适应磨损补偿机制结合了机械和液压的复合作用,随着辊环的逐渐磨损,自动调整锁紧力,确保长期定位精度。

3.2 工艺流程

装置的制造工艺流程包括毛坯锻造、粗加工、热处理、半精加工、表面处理、精密磨削和动平衡校正等关键步骤。每一步都严格控制加工精度和表面质量,确保最终产品的性能满足设计要求。

核心加工设备清单包括五轴联动加工中心(定位精度 0.005mm)、数控坐标磨床(SIP 405M)和激光动态平衡仪(SCHENCK VSR-40),这些高精尖设备为装置的精密制造提供了有力保障。

3.3 设备配置方案

除了核心加工设备外,还需配置相应的检测设备和工具,如激光干涉仪、电容位移传感器、硬度计、粗糙度仪等,用于加工过程中的质量控制和成品检验。

4.应用效果评估

4.1 性能对比

与传统装置相比,本装置在定位精度和使用寿命方面均

有显著提升。定位精度由 $\pm 0.15\text{mm}$ 提高至 $\pm 0.03\text{mm}$,提升幅度达到 80%;使用寿命由 8000 小时延长至 15000 小时,提高了 87.5%。

4.2 经济效益分析

高精度夹送辊辊环固定装置的应用不仅提高了生产效率和产品质量,还带来了显著的经济效益。通过计算年节约维护费用,可以直观地评估该装置的经济效益。

在实际应用中,新装置的使用寿命显著延长,从而减少了更换辊环的频率和停机时间。同时,由于定位精度的提高,也减少了因调整辊环位置而产生的维护成本。因此,新装置的年节约维护费用可达数十万元,这对于企业来说是一笔不小的经济收益。

除了直接的经济效益外,高精度夹送辊辊环固定装置的应用还带来了间接的经济效益。例如,由于生产效率的提高和产品质量的提升,企业能够更好地满足客户需求,赢得更多的市场份额和订单。这不仅有助于提升企业的竞争力和品牌形象,还有助于推动企业的可持续发展。

5.存在问题与改进建议

5.1 现存问题

尽管本装置在性能和经济性方面均表现出色,但仍存在一些待解决的问题。例如,在极端工况下(如瞬时冲击载荷)的可靠性验证不足,多物理场耦合作用机制尚需深入研究。

5.2 改进方向

未来的研究将重点关注智能监测系统的集成开发,实现振动、温度、应变等多参数的在线监测和预警。同时,探索高熵合金涂层等新型材料体系的应用可行性,进一步提高装置的耐磨性和耐腐蚀性。

6.结论

本研究通过创新设计实现了夹送辊辊环固定装置的精度突破,提出的复合定位结构和梯度处理工艺对同类旋转机械部件的研发具有重要参考价值。工业试验验证表明,该装置显著提高了带钢生产的稳定性和效率,降低了维护成本,具有显著的经济效益和工程应用价值。后续研究将重点关注智能运维系统的集成开发,进一步提升装置的智能化水平和可靠性,为冶金行业的持续发展贡献力量。

参考文献

- [1]刘圳,李冠旻,费林雁.3500 炉卷轧机夹送辊控制研究[J].甘肃冶金,2021,43(2):71-73,78.DOI: 10.3969/j.issn.1672-4461.2021.02.022.
- [2]刘光明,张丛春,陈浩,等.青岛特钢高线夹送辊升级改造[J].今日制造与升级.2022,(7).
- [3]张龙.高速线材轧线夹送辊工作过程分析及其参数设置[J].冶金丛刊.2010,(3).DOI: 10.3969/j.issn.1671-3818.2010.03.009.