

制动器装配工艺流程设计与改进

周洪兴

湖北航特科技有限责任公司 湖北 荆门 448124

摘要: 本文聚焦制动器装配工艺流程设计与改进。分析了制动器结构、装配要求及现有工艺流程,指出装配效率低、质量一致性差等问题。基于精益生产理念,从流程优化、装配线布局、关键工序标准化、防错设计等方面进行工艺流程设计。提出自动化与智能化升级、质量控制体系改进等改进策略。最后探讨数字孪生技术和人工智能在装配工艺未来发展的应用方向,为制动器装配工艺优化提供全面参考。

关键词: 制动器装配; 工艺流程设计; 精益生产; 质量控制

引言: 制动器作为车辆制动系统核心部件,其装配质量关乎车辆行驶安全。当前制动器装配工艺存在诸多问题,如装配效率偏低、质量一致性差、防错措施不足、流程衔接不合理等,难以满足批量生产需求。在精益生产理念盛行、自动化与智能化技术快速发展的背景下,对制动器装配工艺流程进行设计与改进迫在眉睫。本文旨在通过系统研究,提出有效的设计与改进方案,提升制动器装配效率与质量。

1 制动器装配工艺现状分析

1.1 制动器结构与装配要求

制动器作为车辆制动系统的核心部件,主要由制动盘、制动钳、摩擦片、活塞、弹簧及密封件等组成,其结构精度直接决定车辆行驶安全性。装配过程需严格遵循精准定位、密封可靠、间隙合理的核心要求,确保各零部件配合公差控制在 $\pm 0.02\text{mm}$ 以内,摩擦片与制动盘贴合度不低于95%,密封件无破损、渗漏现象。同时,装配需满足批量生产的一致性要求,每台制动器的制动间隙、回位性能需符合行业标准,装配完成后需通过气密性、制动力矩等检测,杜绝因装配缺陷导致的制动失灵、异响等问题,为后续装配工艺优化奠定基础^[1]。

1.2 现有装配工艺流程

现有制动器装配工艺流程主要分为五大环节,依次为零部件预处理、核心部件装配、辅助部件安装、整体检测及包装入库。零部件预处理阶段主要对制动盘、制动钳等进行清洗、除锈及表面润滑处理;核心部件装配先将活塞、密封件装入制动钳缸体,再完成摩擦片与制动钳的组合安装;辅助部件安装包括弹簧、导向销、油管等的装配与固定;整体检测环节通过专用设备检测气密性、制动力矩及制动间隙,不合格品需拆解返工;最后对合格产品进行清洁、防锈处理及包装入库。整个流程以人工操作为主,部分关键工序采用简易工装辅助,

单台装配耗时约8-10分钟,流程衔接依赖人工调度。

1.3 主要问题诊断

通过对现有装配工艺的全面排查,诊断出四大主要问题。一是装配效率偏低,人工操作占比过高,核心工序缺乏自动化设备,易出现操作疲劳导致的效率波动,批量生产时瓶颈工序明显。二是装配质量一致性差,人工装配对操作技能依赖度高,存在零部件安装错位、螺栓拧紧力矩不均、密封件安装不到位等问题,不合格率维持在3%-5%。三是防错措施不足,缺乏有效的防错工装与检测手段,易出现零部件错装、漏装现象,且故障排查难度大。四是流程衔接不合理,预处理与装配环节、检测与返工环节存在等待时间,物料调度混乱,导致生产节拍不稳定,影响整体生产效率与交付周期。

2 制动器装配工艺流程设计

2.1 基于精益生产的流程优化原则

基于精益生产“消除浪费、持续改进、全员参与”的核心理念,制动器装配流程优化遵循四大原则。一是价值流优化原则,梳理装配全流程,识别并消除等待、返工、过度加工等无效浪费,明确各工序的价值贡献,确保每道工序都能创造实际价值。二是标准化原则,制定统一的装配操作规范、质量标准及工装使用标准,减少人为操作差异,提升装配一致性。三是柔性化原则,设计可适配多型号制动器的装配流程,确保在产品型号切换时,无需大规模调整设备与工装,降低切换成本。四是持续改进原则,建立流程优化反馈机制,定期收集装配过程中的问题与建议,结合生产实际动态调整流程,实现装配效率与质量的持续提升。

2.2 装配线布局设计

结合精益生产追求高效、消除浪费的核心理念,装配线创新性地采用U型布局设计。这种独特布局能够最大程度实现物料流转距离最短化,让物料以最便捷的路径

在各区域间移动,同时显著提升人员操作效率,减少不必要的动作与时间损耗。装配线依据工艺流程科学划分为预处理区、核心装配区、辅助装配区、检测区及包装区,各区域紧密相连、无缝对接,形成高效的闭环流转系统,确保生产过程流畅无阻^[2]。核心装配区运用流水线作业模式,精心设置6个装配工位,每个工位都配备专用工装与物料架,满足精准装配需求。物料通过AGV小车自动配送至各工位,彻底摒弃人工搬运,有效避免搬运浪费。检测区与装配区相邻布局,一旦检测出不合格产品,可直接返回相邻返工工位,极大缩短返工流转时间。另外,在装配线两侧合理设置物料缓冲区,储备常用零部件,有效预防因物料短缺引发的生产中断。整体布局充分兼顾生产效率、操作便利性与空间利用率,单台装配耗时成功缩短至6~7分钟。

2.3 关键工序标准化设计

针对制动器装配中的核心关键工序,制定详细的标准化操作流程,确保工序质量可控。核心工序包括制动钳缸体装配、摩擦片安装、螺栓拧紧及气密性检测。制动钳缸体装配标准化明确活塞、密封件的安装顺序、力度及检测方法,要求操作人员使用专用工具,确保密封件无扭曲、活塞安装到位。摩擦片安装标准化规定摩擦片的安装方向、间隙调整范围,装配后需人工检查贴合度。螺栓拧紧采用扭矩扳手标准化操作,明确各部位螺栓的拧紧力矩与顺序,避免出现力矩不均导致的零部件松动。气密性检测标准化制定统一的检测压力、时间及合格标准,采用自动化检测设备,检测数据实时记录,确保每台产品都符合密封要求。

2.4 防错设计(Poka-Yoke)

为切实杜绝装配过程中错装、漏装、装反等严重影响产品质量与生产效率的问题,我们积极引入先进的Poka-Yoke防错设计理念,从工装、物料、检测三个关键维度精心构建一套全面且严谨的防错体系。在工装防错方面,针对各零部件的独特形状与安装要求,专门设计专用定位工装。例如,为制动钳缸体设计精准的定位销,其尺寸与缸体安装孔完美匹配,只有当缸体按正确方向放置时,定位销才能顺利插入,否则无法安装,有效避免装反情况;为摩擦片设置防反卡槽,利用卡槽的特殊形状限制摩擦片的安装方向,确保其只能正确安装。物料防错上,采用颜色编码与清晰标识相结合的方式,对不同型号、规格的零部件进行区分,让操作人员一目了然。同时,在物料架上巧妙设置限位装置,根据每个工位的实际需求,精确限定可放置的零部件种类与数量,保证每个工位只能获取对应所需的零部件,从根源上杜

绝错拿错用的现象。检测防错环节,在关键工序安装自动化防错检测设备,如螺栓拧紧检测设备可实时监测螺栓拧紧力矩,零部件漏装检测设备能迅速识别是否遗漏安装零部件。一旦出现异常,设备立即发出警报并停止生产,及时提醒操作人员处理,将不合格率严格控制在0.5%以下。

3 制动器装配工艺改进策略

3.1 自动化与智能化升级

鉴于现有装配工艺自动化程度较低的现状,实施全面且深入的自动化与智能化升级策略迫在眉睫。在核心工序中,精准引入一系列先进的自动化装配设备,像制动钳缸体自动装配机,能精准高效地完成缸体装配;摩擦片自动安装机可快速准确安装摩擦片;螺栓自动拧紧机则能保证螺栓拧紧力矩的一致性。这些设备替代人工完成重复性、高精度操作,大幅提升装配效率与产品一致性^[3]。同时,搭建智能化生产管理系统,该系统整合装配线各设备的运行数据与检测数据,实现对生产过程的实时监控,能提前预警故障,还可进行数据追溯。在物料调度环节,采用AGV小车与智能物料架联动模式,AGV小车按指令自动配送物料,智能物料架实时监控库存,避免物料短缺或积压。引入机器视觉检测技术,对装配后的产品进行全方位、高精度检测,替代人工目视检测,有效提升检测精度与效率,进一步降低产品不合格率。

3.2 质量控制体系改进

为切实保障装配质量,建立全流程、多层次的质量控制体系至关重要,以此实现装配质量的全程可控。首先,在零部件入厂环节加强检验力度,制定严格细致的入厂检验标准,对每批次零部件进行尺寸、材质、性能等多方面检测,只有检测合格的零部件才能入库,从源头上把控质量。其次,强化过程质量控制,在各关键工序设置质量控制点,安排专业人员负责工序检验,详细记录装配过程中的关键数据,确保每一道工序质量都符合标准。然后,优化成品检测流程,增加制动力矩动态检测、高低温环境适应性检测等项目,全面考核产品在不同工况下的性能。最后,建立完善的质量追溯体系,为每台产品分配唯一追溯码,记录零部件信息、装配人员、检测数据等详细信息。一旦出现质量问题,可迅速定位原因并采取整改措施,同时定期开展质量分析,持续优化质量控制措施。

3.3 人员与组织优化

围绕装配工艺改进,开展人员与组织优化工作,全面提升团队专业能力与协作效率。在人员优化方面,开展分

层培训模式。针对操作人员,进行自动化设备操作、标准化流程、防错设计等内容的培训,考核合格后方可上岗,确保操作人员能熟练掌握新工艺与新设备。同时,注重培养技术骨干与复合型人才,让他们负责设备维护、流程优化、质量管控等关键工作,提升整体技术水平。建立科学合理的绩效考核机制,将装配效率、产品质量、设备利用率等关键指标纳入考核体系,充分调动员工工作积极性。在组织优化方面,调整生产组织架构,成立工艺优化小组、质量管控小组等专业小组,明确各小组职责,加强各部门、各工位之间的协作。建立快速响应机制,及时解决装配过程中出现的问题,确保工艺改进措施能够落地执行,有效提升整体生产效能。

3.4 供应链协同改进

加强与供应链上下游企业的协同合作,构建高效、稳定的供应链体系,为装配工艺改进提供坚实保障。对于上游供应商,建立战略合作伙伴关系,明确零部件质量标准与交付周期,要求供应商提供详细的质量检测报告,确保零部件质量符合要求。同时,定期开展供应商审核,推动供应商不断提升产品质量。与供应商共享生产计划,实现物料的精准配送,减少库存积压与物料短缺情况的发生。针对下游企业,及时收集客户反馈的产品质量问题,结合客户需求优化装配工艺,提升产品适配性,增强市场竞争力。另外,搭建供应链信息共享平台,实现零部件库存、生产进度、质量数据等信息的实时共享。通过该平台,供应链各环节企业能及时了解相关信息,提升供应链响应速度与协同效率,有效降低供应链成本,实现互利共赢。

4 未来研究方向

4.1 数字孪生技术在装配工艺虚拟调试中的应用

数字孪生技术将成为制动器装配工艺优化的重要方向,其核心是构建与实际装配线1:1的虚拟数字模型,实现装配过程的虚拟调试与仿真优化。通过数字孪生模型,可在实际装配线搭建前,模拟各工序的装配流程、设备运行状态、物料流转过程,提前发现流程中的瓶颈、设备干涉、零部件配合问题,降低实际调试成本与周期^[4]。同时可通过虚拟模型模拟不同生产场景、产品型号切换的过程,优化装配流程与设备参数,提升装配线的柔性

化水平。此外,数字孪生模型可实时同步实际装配线的运行数据,实现装配过程的动态监控与预测性维护,及时发现设备故障隐患,减少生产中断,进一步提升装配效率与质量稳定性。

4.2 基于人工智能的装配质量预测与动态优化

基于人工智能的装配质量预测与动态优化,将实现制动器装配质量的精准管控与流程的自适应调整。通过收集装配过程中的大量数据,包括零部件参数、设备运行数据、操作参数、检测数据等,利用人工智能算法构建质量预测模型,可提前预测装配过程中可能出现的质量缺陷,及时发出预警并给出调整建议,从源头避免不合格品的产生。同时,人工智能算法可对装配流程进行动态优化,根据实时生产数据、产品质量反馈,自动调整各工序的操作参数、设备运行状态、物料配送节奏,实现装配流程的自适应优化。结合机器学习技术,可不断积累装配经验,持续提升质量预测精度与流程优化效果,推动制动器装配工艺向智能化、自主化方向发展。

结束语

制动器装配工艺流程设计与改进是一项系统性工程,通过基于精益生产的流程优化、自动化与智能化升级、质量控制体系改进等多方面举措,能有效提升装配效率与质量。数字孪生技术和人工智能的应用为未来装配工艺发展指明方向。未来,需持续探索新技术在装配工艺中的应用,不断优化工艺流程,以适应市场变化,提升制动器产品的市场竞争力,推动行业持续发展。

参考文献

- [1]孙红磊,朱腾宇,马瑞,等.制动器壳体多工位成形工艺分析及冲模设计[J].锻压技术,2022,47(7):68-79.
- [2]叶娜,周学良,张映锋,等.改进YOLOv8的汽车制动器装配缺陷检测算法[J].组合机床与自动化加工技术,2025(4):140-145,151.
- [3]许世维,郭少雄,朱代坤.重载车辆全盘式制动器有限元分析与散热性能优化研究[J].机床与液压,2026,54(1):192-197.
- [4]杨恒,张宇鹏,杨鹏凯,等.磁流变液制动器系统区间动态可靠性分析[J].哈尔滨工程大学学报,2025,46(2):301-308,319.