

汽车结构件低压压铸后处理关键非标设备开发与应用研究

刘永刚, 汤天昊

杭州亚太智能装备有限公司, 浙江 杭州 311200

DOI:10.61369/ME.2026020008

摘 要 : 汽车工业规模持续扩大, 相关工艺水平也在逐步提升。而在汽车结构件的加工生产中, 多采用低压压铸成型工艺, 后处理工序则关系着结构件表面完整性、尺寸精度等。文章围绕汽车结构件低压压铸后处理关键非标设备开发应用相关内容展开论述, 分析了现阶段的后处理工艺需求, 探讨了后处理关键非标设备开发的核心内容, 总结了具体的应用场景, 以期提升设备利用率和运行稳定性。

关 键 词 : 汽车结构件; 低压压铸; 后处理; 非标设备

Research on the Development and Application of Key Non-standard Equipment for Post-processing of Low-pressure Die Casting Automotive Structural Components

Liu Yonggang, Tang Tianhao

Hangzhou Yatai Intelligent Equipment Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang 311200

Abstract : The scale of the automotive industry continues to expand, and the level of related processes is also gradually improving. In the processing and production of automotive structural components, low-pressure die casting is commonly used as the molding process, while post-processing steps are crucial for ensuring the surface integrity and dimensional accuracy of the structural components. This article discusses the development and application of key non-standard equipment for post-processing low-pressure die casting automotive structural components, analyzes the current post-processing process requirements, explores the core aspects of developing key non-standard equipment for post-processing, and summarizes specific application scenarios, aiming to enhance equipment utilization and operational stability.

Keywords : automotive structural components; low-pressure die casting; post-processing; non-standard equipment

随着新能源汽车产业的蓬勃发展, 对于车身与底盘轻量化提出了更高的要求, 一体化底盘已然成为汽车制造领域的主流趋势。相较于传统的高压压铸工艺而言, 低压压铸具有平稳充型以及材料利用率高等优势, 在大型复杂薄壁件成型加工领域应用较为广泛, 但低压压铸件的后处理工序繁多, 热-力耦合较为敏感, 不同程度上影响着尺寸一致性。针对此类问题, 大力开发面向汽车结构件专用的关键非标设备以及集成方案, 对于缩短节拍、提升良率等大有裨益。

一、汽车结构件低压压铸后处理工艺需求

(一) 低压压铸后处理的核心工序

结构件作为车辆承载传动等核心部件, 制造精度关系着车辆整体的行驶安全和使用寿命^[1]。在汽车结构件低压压铸工艺中, 铝合金材料具有强度高、密度小且耐腐蚀等优势, 已然成为汽车转向节、控制臂、变速箱壳体等结构件的主要材料。但成型后却容易出现尺寸偏差、浇冒口残留或毛刺等问题, 往往需要后处理工序, 进一步消除缺陷, 以此保障产品质量。低压压铸后处理

核心工序主要有以下几类: ①毛刺清理, 主要处理压铸件排气槽、分型面等位置的毛刺、飞边缺陷, 避免后期使用阶段应力集中, 处理后区域毛刺残留量不超过0.1mm, 非关键位置不超过0.3mm; ②浇冒口切除, 作为金属液补给通道, 成型后需完全切除, 保证切口平整, 误差不超过0.2mm/m, 避免凸起影响后续装配; ③表面清洁工序, 清理铸件表面残留的油污、氧化皮等杂质, Ra不超过1.6 μ m, 便于后期电镀和涂装等工艺处理; ④尺寸检测, 精准测量验证工件关键尺寸是否合乎设计标准, 剔除不合格产品; ⑤整形校正, 针对压铸中冷却收缩不均等因素造成的轻

微变形进行校正,保证工件尺寸规格符合标准;⑥防锈处理,对铝合金工件进行表面钝化以及喷涂防锈剂进行防锈处理,盐雾试验耐腐蚀时间在48h以上,用于延缓工件的氧化腐蚀速度^[2]。

(二) 非标设备开发的核心需求

现有的汽车结构件低压压铸后处理工艺普遍存在人工处理方式效率低、强度大、风险大等问题,加之通用自动化设备处理方式仅能满足单一规格且结构简单的汽车结构件,精度和适配性等方面存在较大的局限性。现有非标设备功能单一,难以支持多工序协同处理,设备故障率较高,往往需要人工频繁调整参数,影响生产线连续运行。针对此类问题,结合汽车结构件低压压铸产业发展趋势,围绕功能、性能以及安全环保等几大核心需求开发非标设备,以便更好地满足批量化工业生产需要,提高后处理效率和质量^[3]。功能需求方面,要求非标设备具有多工序集成能力,整合表面清洁、毛刺清理、浇冒口切除等核心工序,实现工件压铸成型到成品入库的一站式处理,缩短生产节拍。性能需求方面,保证设备高效且稳定是其核心指标,设备需要具有高效处理能力,面对汽车结构件单件处理时间保持在2~3分钟内,连续运行故障率不超过1%,以此保证生产线的连续、稳定。另外,设备需具有操作、维护简便的特性,设计更为直观的人机交互界面,人员简单培训后即可上岗操作;后标准化生产零部件,便于快速维修与更换,降低总体维护成本^[4]。

二、汽车结构件低压压铸后处理关键非标设备开发

(一) 确定核心技术参数

结合后处理工艺需求,设定核心技术参数:

(1) 毛刺处理工序,选择硬度 HB 80~100 的铝合金材质的结构件,根据毛刺分布特点设定刀具转速8000r/min~12000r/min,切削深度0.05mm~0.3mm,进给速200mm/min~500mm/min,全面清理结构件毛刺,避免本体受损。

(2) 浇冒口切除工序,根据浇冒口具体尺寸规格、连接强度,设定锯片转速3000r/min,锯切速度在200mm/s~40mm/s之间,刀具功率13kW~15kW,夹紧力5kN~15kN,切口平整。

(3) 表面清洁工序,结合具体表面杂质类型,设定高压气流压力在0.4MPa~0.6MPa范围内,清洗液温度40℃~60℃,清洗时间30s~60s。

(4) 尺寸检测工序,根据 CT5~CT7 级的结构件关键尺寸公差要求,确定设备检测精度在 ±0.01mm,检测效率不超过10s/件,测量范围0mm~500mm。

(二) 优化设计设备整体结构

选择正交实验法优化参数,以汽车转向节和控制臂等典型结构件作为研究对象,设计正交实验方案,对结构件的进给速度、刀具转速、夹紧力等核心参数全面优化。根据试验数据极差分析、方差分析,寻求最佳的参数组合。以控制臂毛刺处理工序为例,刀具转速10000r/min,切削深度0.15mm,进给速度350mm/min,毛刺残留量不超过0.08mm,设备单位能耗不超过

0.2kWh/件^[5]。

(1) 进出料模块设计。进料模块选择传送带式输送结构,根据最大工件尺寸不超过500mm的规格,确定传送带宽度为600mm,输送带在0.5m/min~2m/min区间无极调节,并配备各类传感器实现工件精准定位;出料模块设置产品分流通道,借助气动推料装置实现合格以及不合格产品分类输送,响应时间不超过0.5s。设备整体结构推行模块化设计理念,如多工序处理模块、进出料模块、控制系统模块等,模块独立又协同,便于后期安装调试、维护管理。整体结构要布局合理、操作便捷,为设备安全稳定运行提供保障^[6]。

(2) 多工序处理模块设计。该模块集合了浇冒口切除、毛刺处理、表面清洁等多个工序。毛刺清理模块,借助多轴联动机械臂进行,机械臂配备了可更换刀具以及高速电动主轴,能够结合不同工件、不同部位毛刺特点,基于程序自动化控制机械臂运行,从而实现结构件毛刺的全方位清理;浇冒口切除单元设计液压驱动的圆盘锯高速锯切技术,适合去除结构件浇口、冒口及流道残余。该工艺操作风险较高,可由六轴机器人抓持工件锯切,从而实现全过程的自动化及柔性化作业,有效提高切口质量和切割效率。配备金刚石切割片,基于伺服电机控制切割速度进给量,为结构件切口质量提供保障;表面清洁单元,提供超声波清洗以及高压气流吹洗等功能,其中超声波功率为500W~1000W,高压气流喷嘴支持360°旋转,频率28kHz~40kHz,充分清除结构件表面杂质;尺寸检测单元配备视觉检测、激光位移传感器等装置,可精准测量结构件尺寸、检测表面缺陷;整形校正单元配备精度 ±0.01mm 的位移传感器,在液压驱动下实现闭环控制,为结构件整形精度提供保障^[7]。

(3) 工件定位夹紧模块设计。对于尺寸规格多样且形状复杂的汽车结构件,应设计自适应、动态定位的夹紧机构^[8]。该机构结合可调节定位销,实现不同规格结构件的精准定位;采取气动夹紧方式,配备多组可调节的夹紧单元,从而根据作业需要实现5kN~15kN范围内的动态调节,并借助柔性夹紧垫保护工件完整性,避免表面受损影响总体质量。

(三) 深度开发控制系统

控制系统作为非标设备的智能化核心所在,设计分层架构,具体包含 PLC、机器人控制器以及 MES 上位机。系统主控制器为 Siemens S7-1500 的高性能 PLC,具有 I/O 信号处理、逻辑互锁等功能;机器人控制器实现轨迹、控制器控制;运动控制卡,驱动伺服进给与整形缸、切割主轴运作,实现闭环控制与反馈;传感器网络,全面采集位移、压力、温度等信号,实时获取结构件各项参数^[9]。

控制系统提供安全连锁以及故障诊断等功能,基于 PLC 技术实时采集传感器信号,从而智能分析设备的运行状态,精准定位设备故障所在,发出声光报警信息,在人机交互界面显示故障位置、类型以及处置建议。同时,第一时间停机,避免设备故障扩大,造成不必要的损失。安全连锁功能则是软硬件联合方式实现,其中硬件配备紧急停机按钮以及安全防护栏连锁开关,软件层面则设置不同的管理权限以及负载过载保护等,借此全面保障

设备与人员安全^[10]。

软件程序开发，功能如下：①状态机调度：依托有限状态机模型，动态该管理各工位运行、故障、等待等状态，实现各工序自动、高效衔接；②多设备协同：PLC与机器人控制器联动，主要借助 Ether CAT 高速总线实现数据同步传输；③工艺参数管理，实现切割路径、冷却速率、模温等参数采集、存储和利用；④在线检测集成，检测结果输送至 PLC 后统一控制；⑤故障预警与诊断；识别刀具磨损、通信中断等异常问题，第一时间发送预警信息，并做好故障记录，为技术人员远程维护提供支持。

（四）设计辅助系统

为保证设备高效稳定运行，需设计辅助系统提供支撑。基于螺旋输送 + 斗提机联动方式，将护罩内部铝屑输送至排屑机，将金属以及非金属杂质精准分离，待杂质干燥后统一回收；冷却液经由多层过滤后回收利用，减少不必要污染物排放，延长设备使用寿命。切割与整形工位配备抽风罩，提供净化油雾功能，处理合格后方可排放到自然环境中，营造安全、洁净的车间环境。

三、汽车结构件低压压铸后处理关键非标设备应用

以某国内大型汽车零部件制造企业为例，转向节、控制臂等低压压铸结构件采用人工和通用设备联动后处理方式，产品合格率波动大、生产效率偏低，需针对性开发非标设备。应用方案实施要点如下：

（1）产线布局与集成。根据汽车结构件加工生产需要，在压铸机下游区域逐一配备机器人取件工位、双工位六轴切割单元、

线上检测与打码工位、整形与冷却工位、成品缓存区。基于工厂内部现有的柱网和天车通道，设计紧凑的 U 型布局，缩短机器人的输送距离，减少不必要的能源损耗。

（2）设备联动与优化。将电气、机械和气路安全连接，随后单机空载以及负载调试，检验双工位轮转同步以及自动换刀的可靠性；离线仿真以及试运行后，针对性优化 PLC 状态机调度逻辑，便于产线节拍达到设计标准。

（3）工艺参数优化与培训。针对电池托盘纵梁、副车架等不同结构件，设定差异化的工艺参数配方，具体涵盖冷却速率、模温设定以及整形压力等参数，将其统一存储在配方库中；定期组织设备操作和维护人员参加专业培训活动，重点学习设备操作、故障排查以及刀具更换等方法，为产线高效、稳定运行保驾护航。

（4）MES 对接。将设备 PLC 与工厂 MES 系统对接，生产订单、加工参数以及质量数据源等同步传输，支持全流程数字化转型。

四、结论

综上所述，结合汽车结构件低压压铸后处理的痛点和需要，加强智能化、自动化以及柔性化的非标关键设备开发是必然选择，便于改善传统后处理工序效率低、产品质量波动大的问题，提高结构件后处理效率和质量，减少不必要资源损耗，为企业创造更加理想的经济效益。

参考文献

- [1] 王家麟. 碳纤维复合材料模具成型压铸控制参数优化方法 [J]. 冶金与材料, 2025, 45 (12): 40-42.
- [2] 黄丽容, 乔艺, 何毅, 等. 多筋薄壁铝合金结构件数值模拟与工艺优化 [J]. 特种铸造及有色合金, 2025, 45 (12): 1838-1843.
- [3] 黄腾佐, 滕兴宇, 李清华, 等. 减震塔一模两件压铸工艺设计与优化 [J]. 中国铸造装备与技术, 2025, 60 (05): 59-64.
- [4] 徐清魁, 饶旭东, 王跃, 等. 钢丝螺套在一体化压铸铝合金车身结构件上的应用 [J]. 农业装备与车辆工程, 2025, 63 (07): 128-131.
- [5] 张传泽, 马飞, 柴恒辉. 大型车身结构件压铸工艺研究及 9000t 压铸岛开发 [J]. 锻压装备与制造技术, 2025, 60 (03): 13-16.
- [6] 毕星瑞, 刘朝彤, 张星. 基于无定位基准压铸结构件的余量在机测量技术 [J]. 锻压技术, 2025, 50 (06): 196-203.
- [7] 刘付曙, 黄祥, 万里, 等. 一体化压铸车身结构件的自冲铆接技术开发及应用 [J]. 特种铸造及有色合金, 2025, 45 (06): 954-957.
- [8] 宋学磊, 陈亚荣, 耿明亮, 等. 新能源汽车用一体化压铸铝合金研发现状与趋势 [J]. 汽车知识, 2025, 25 (03): 16-18.
- [9] 赵海, 王晓璐, 罗丰源, 等. 汽车箱体结构件高压压铸数值模拟及参数优化 [J]. 郑州航空工业管理学院学报, 2025, 43 (01): 64-72.
- [10] 刘波, 唐永鑫, 伍毅, 等. 一体压铸铝合金车身结构件的轻量化设计研究 [J]. 汽车工程, 2024, 46 (12): 2154-2163.