

柴油机零部件制造过程质量检测与控制

宋正军 张 杨 史 诗

潍柴重机股份有限公司 内燃机与动力系统全国重点实验室 山东 潍坊 261000

摘 要：柴油机零部件制造质量直接影响动力设备的运行稳定性与使用可靠性，复杂的加工流程极易产生各类质量偏差。本文梳理零部件制造全流程的质量影响因素，从设备工况、工艺参数、工装状态、原材料特性四个维度，划分各加工阶段的检测内容与实施方式，明确尺寸精度、形位公差、表面质量、内部组织及工序衔接的核心管控要点，逐步搭建适配生产实际的常态化质量管控体系，能够有效规范加工流程，弱化生产波动带来的质量隐患，稳固零部件批量生产质量。

关键词：柴油机零部件；制造工序；质量检测；质量控制；管控体系

引言：柴油机作为动力装置的核心设备，零部件加工精度与质量水平，直接决定整机运行效能与服役年限。零部件制造涵盖毛坯铸造、粗精加工、表面处理及前置装配等多道工序，各环节均存在不同类型的质量干扰因素。加工过程出现的设备精度失准、铸造缺陷、工艺装备异常等问题，都会降低构件适配性与使用性能。依托零部件制造的工序特征，落实分层检测与精准管控，搭建长效质量管控模式，可有效改善零部件加工品质，保障柴油机可靠性

1 柴油机零部件制造工序质量影响因素分析

1.1 加工设备工况对零部件制造质量的影响

柴油机零部件多为精密机械构件，尺寸精度与一致性要求较高，加工设备是保障工件质量的核心条件。设备长期运行会产生机械磨损，传动部件间隙会发生细微变化，主轴转动平稳性下降、导轨磨损不均、进给系统卡顿等设备状态偏差，让工件出现尺寸偏移、表面纹路粗糙等问题。环境温度变化、设备热伸长，都会影响光栅尺精度、机械部件变化，都会直接传递至加工工件尺寸偏差。设备内部零部件老化、校准偏差未及时修正，会持续造成加工误差，破坏零部件整体加工一致性。

1.2 加工工艺参数对零部件质量的影响

加工工艺参数是决定零部件最终质量的直接执行变量。切削速度、进给量、切削深度等核心参数，需要根据零部件的材质的机械性能的选取，合理选择和优化这些参数，能够在加工效率、加工成本与零件质量之间取得最佳平衡。参数设定偏大，会让工件表层产生形变，出现毛刺、崩边等外观缺陷。参数设定偏小，会降低加工效率，还会引发刀具长时间摩擦工件，造成表层烧

伤、硬度异常等质量问题^[1]。磨削、镗孔、铣削等不同加工工序，对参数配比的要求存在差异。参数配比不合理，会打乱零部件成型节奏，造成孔径、平面度、垂直度等关键指标出现偏差。

1.3 工装夹具对零部件加工精度的影响

工装夹具是连接机床与工件的桥梁，其核心作用是定位、夹紧和支撑工件，直接影响加工过程的稳定性与重复性。夹具定位元件的磨损、变形，会改变工件的装夹位置，造成每批次工件加工位置存在偏差。夹具夹紧力度把控不当，力度过大会挤压工件产生弹性形变，力度过小会让工件加工过程中出现位移。夹具长期使用产生的积屑、锈蚀，会影响定位贴合度，引发细微加工误差。工装夹具未进行定期调校，会持续产生精度偏差，影响零部件加工的规整度。

1.4 原材料对零部件成品质量的影响

原材料的材质性能、内部组织与外观状态，从源头决定柴油机零部件成品质量。原材料内部存在气孔、夹渣、裂纹等内部缺陷，经过切削、热处理等加工工序后，缺陷会进一步暴露或扩大，降低成品结构强度。材料硬度、韧性、耐磨性等机械性能不达标，会让成品无法适配柴油机复杂的工作工况。材料表面存在氧化皮、锈蚀、凹凸不平等问题，会增加加工难度、生产成本，导致后续加工后表面质量不达标，造成零部件成品质量不满足技术标准。

2 柴油机零部件制造各工序质量检测内容与方式

2.1 毛坯加工阶段质量检测

毛坯是柴油机零部件成型的基础载体，本身状态对

后续加工质量有着决定性作用。检测工作聚焦铸件、锻件毛坯的内部结构、外观形态与机械性能,重点排查成型过程中产生的孔洞、疏松、裂纹、等结构性缺陷,检测毛坯硬度、抗拉强度、材料成分等是否满足技术要求。工作人员核对毛坯整体外形尺寸,把控余量分布的均匀程度,报废形态偏差超标的物料。细致检视毛坯表面存在的粘砂、氧化皮、磕碰破损等问题,剔除存在硬性缺陷的毛坯。扎实的毛坯检测可以从源头规避基础缺陷,减少后续加工工序的无效作业与物料浪费。

2.2 粗加工阶段质量检测

粗加工以去除多余加工余量、规整工件基础轮廓、建立后续加工基准为核心任务,是精密加工的重要铺垫。该阶段检测工作侧重基础尺寸与成型状态的核查,校验工件加工后的基础轮廓与形体规整度。认真排查切削作业引发的表面划痕、边缘崩损、整体变形等常见加工问题,及时标记不合格工件。逐一核验各加工面预留余量,保证余量分布均匀合理,满足精加工的作业条件。着重检测粗加工产生的基准,能够达到工艺定位要求。严谨的粗加工检测能够遏制基础误差积累,为后续精密加工提供稳定可靠的工件基础。安排专人开展工序巡检,每批次工件随机抽样复核基准精度,及时整改加工变形、余量不均等问题,杜绝基础误差累积传递。

2.3 精加工阶段质量检测

精加工直接产生零部件关键尺寸,检测标准更为严苛。检测工作围绕轴孔尺寸、距离位置、粗糙度以及平面度垂直度、平行度等形位参数展开细致核验。根据工件精度等级要求,选取合规的量检具,按照工艺要求对零件进行检验、并做好记录。细致的精加工检测可以锁定零部件核心加工品质,保障构件装配适配性和柴油机可靠性。

2.4 多余物的质量检测

多余物是指在产品制造、组装、维护等过程中引入的,与产品设计要求无关的异物或杂质(如金属铁屑、包装袋、灰尘、油渍等)。这些多余物若未被及时发现并清除,可能导致柴油机性能下降、划瓦、拉缸甚至引发润滑失效产生重大致命故障。多余物的质量检测通常分为宏观检测与微观检测,根据零部件的使用场景、结构特性,确定清洁度的技术要求和检验标准,通过内窥镜观察与清洁度、颗粒度检验,以确保零部件清洁度达到装机要求。

2.5 装配前置工序质量检测

装配前置检测是零部件投入装配前的最后一道质检

环节,承担最终筛查的作用。全面复核工件整体加工状态,确认尺寸精度、外形结构、表层质量均符合生产规范。清理工件表面残留的铁屑、污渍与各类杂质,检查孔位、边角等关键结构的完整程度。细致排查各类细微缺陷,完成工件合格性筛选工作。规范的前置检测可以阻断不合格工件流入装配环节,稳固柴油机整机生产的质量水平。

3 柴油机零部件制造过程关键质量控制要点

3.1 尺寸精度偏差过程控制

尺寸精度是柴油机零部件装配匹配与整机稳定运行的基础,是机械加工过程中必须严格把控的核心指标。加工设备运行磨损、工艺参数设置不当、刀具损耗变化都会造成工件尺寸出现偏差。生产加工需要结合不同零部件的结构特点和加工要求,建立完善的尺寸管控方式。密切关注切削、镗削、磨削等重点工序的加工状态,及时识别余量不均、数值超差、定位偏移等常见问题^[2]。结合现场生产情况灵活调整加工参数和操作方式,逐步修正加工过程中产生的尺度误差。持续细化各工序的尺寸管控标准,规范每一步加工操作。有效减少尺寸偏差累积,保障批量生产工件的尺寸统一性。

3.2 形位公差精度过程控制

形位公差体现零部件加工后的结构规整程度,对装配精度和柴油机运行可靠性有着直接影响。加工形变、装夹不稳、刀具进给异常等问题,都会破坏工件原本的标准结构形态。日常生产需要重点管控圆度、平面度、垂直度、同轴度等关键参数,细化精密加工的操作规范。全程跟踪工件轮廓变化与定位状态,及时修正加工产生的结构偏差与位置误差。严格约束各工序的成型精度标准,规避工件形态不规整引发的装配间隙异常、部件卡滞等问题。扎实做好形位公差全过程管控,稳固零部件整体加工精度水平。

3.3 表面质量缺陷过程控制

工件表面加工质量直接决定零部件耐磨性能、耐腐蚀性能和实际使用寿命。加工操作不规范、刀具状态劣化、生产环境杂质堆积,都会对工件表层造成损伤。生产过程需要落实常态化预防措施,减少毛刺、划痕、起皮、微裂纹等常见表层缺陷的产生。持续优化各工序加工细节,降低外界因素对工件表面的干扰与破坏。细致检查每一件工件的表层成型状态,对轻微缺陷开展针对性修复与处理。严格把控表面加工工艺执行标准,杜绝不合格表层质量流入下一加工环节。切实提升零部件表面成型品质,优化构件实际使用性能。定时清理加工车

间粉尘与杂质,定期打磨修复加工刀具,规范操作人员走刀方式,从源头预防各类表面缺陷产生。

3.4 工序衔接稳定性过程控制

柴油机零部件制造涵盖多道连续加工工序,各环节流转质量直接决定成品整体品质。各工序需要建立统一的作业标准与验收要求,统一车间加工执行尺度。明确单道工序完工后的质量判定依据,筛查加工存在的各类问题。及时拦截存在缺陷的工件,避免问题工件进入后续加工流程。细化工序交接的管理规范,规范工序流转流程与查验流程。减少人工操作疏漏、加工节奏混乱带来的质量波动。有效规避加工误差层层叠加的问题,维持零部件批量生产的质量稳定性。设置专职工序质检交接岗,每道工序完工后验收备案,明确上下游工序责任,杜绝问题工件流转,保障生产衔接稳定。

4 柴油机零部件制造质量常态化管控体系构建

4.1 制造工序标准化管控流程搭建

柴油机零部件制造工序繁杂,加工流程的随意性会直接造成质量波动,标准化流程搭建是实现长效质量管控的核心举措。结合零部件加工全流程特点,梳理毛坯加工、粗细机加工、表面处理、前置装配等各环节的作业内容。梳理各工序的操作规范、加工标准与作业边界,摒弃零散化、经验化的传统作业模式。针对不同零部件的加工特性,制定专属的工序操作细则,明确每一步加工的操作要求与质量底线。规范工序启动、加工执行、工序收尾的全流程步骤,统一车间整体作业节奏^[3]。固化成型的标准化管控流程,能够约束人员操作行为,从流程层面稳定批量生产的质量水平。结合生产实际更新标准化作业手册,定期组织员工实操培训考核,确保全员严格依规作业,杜绝人为操作差异引发质量波动。

4.2 质量检测流程规范化管控

质量检测是筛选加工缺陷、把控成品质量的关键环节,不规范的检测流程会造成缺陷漏查、误判等问题。围绕零部件全加工工序梳理检测节点,明确各阶段检测的重点内容、检测方式与判定标准。细化毛坯抽检、工序巡检、成品终检等不同检测环节的执行细则,规范检测工具的使用方式与数据读取标准。明确检测人员的岗位职责,细化检测记录、问题登记、缺陷上报的完整流程。杜绝随意检测、记录缺失、标准模糊等不规范行为,让每一次检测都具备严谨性与可追溯性。规整的检测流程可以精准捕捉各类加工缺陷,为质量管控提供可靠的数据支撑。

4.3 生产设备与工装常态化管控

设备与工装的运行状态,直接决定零部件加工精度与成型质量,长效稳定的硬件管控是质量可控的基础条件。针对各类加工设备、工装夹具建立常态化管控机制,制定分级维护、定期校验的管理规则。设备日常保养周期设定为15天/次,精度全面校验周期为90天/次,根据设备使用频次、运行负荷制定保养计划,及时处理设备磨损、精度偏移、运行卡顿等问题。定期对工装夹具进行精度校准、磨损检查与清洁维护,修复变形、松动、定位失效等各类故障。做好硬件设备的使用记录、保养记录与检修登记,把控设备全生命周期运行状态。持续的常态化管控可以维持设备与工装的加工精度,规避硬件故障引发的批量质量问题。

4.4 工序质量动态管控机制搭建

零部件制造过程存在诸多可变影响因素,固定管控模式无法适配生产中的各类质量波动。搭建动态化工序质量管控机制,适配生产过程中工艺、设备、操作的各类状态变化。针对加工过程中出现的质量波动、精度偏差、缺陷异动等情况,建立实时监测与快速响应机制。结合各工序质量波动规律,灵活调整管控重点与检查频次,聚焦高频质量问题开展重点防控。完善质量问题处置流程,明确缺陷整改、工序复盘、风险预判的执行步骤。动态化的管控模式可以精准适配生产变化,持续优化整体制造质量管控效果。

结束语

零部件制造质量管控是柴油机生产加工的重点环节,质量波动源于设备、工艺、物料、工序衔接等多个生产维度。通过细化各工序的检测标准与管控要点,针对性解决加工过程中的精度偏差与质量缺陷问题,系统化的管控体系能够规范全流程加工行为,弱化各类不稳定因素带来的质量影响。持续优化工序管控流程、检测规范与动态管控机制,可以持续提升零部件加工品质,为柴油机整机生产质量筑牢基础。

参考文献

- [1] 李昕. 柴油机汽车零部件制造质量控制措施[J]. 内燃机与配件,2025(7):126-128.
- [2] 苏国庆,刘亚华. 船舶柴油机润滑油质量检查及换油周期探讨[J]. 船舶物资与市场,2023,31(7):80-82.
- [3] 方喜峰,张杰,程德俊,等. 数字孪生驱动的船用柴油机关键件加工质量管控方法[J]. 机械设计与制造,2023,385(3):46-52.