

高效质量管理在机械加工中的应用

汪 静

中车福伊特传动技术(北京)有限公司 北京 102202

摘要:在机械加工领域,高效质量管理是提升产品竞争力的关键要素。通过原材料与零部件质量管控(加工过程的前期策划)、加工工艺优化、生产过程监控及成品质量检验等多环节协同管理,采用数据驱动的质量管理,可有效提升产品质量。面对复杂生产环境、数字化转型壁垒及成本质量平衡难题,构建智能化生产环境、加速数字化转型并优化管控体系成为重要应对策略。这些实践与策略的有效运用,有助于实现机械加工行业质量与效益的双重提升。

关键词:高效质量管理;机械加工;应用

引言

随着制造业的快速发展,机械加工产品质量直接影响企业生存与行业发展。高效质量管理作为保障产品质量的核心手段,在机械加工全流程中发挥着不可替代的作用。本文聚焦原材料管理、工艺优化、过程监控及成品检验等关键环节,深入探讨高效质量管理的具体应用。针对应用过程中复杂生产环境、数字化转型、成本质量平衡等挑战,提出相应应对策略,旨在为机械加工行业质量提升提供理论与实践参考。

1 高效质量管理概述

高效质量管理是企业在激烈市场竞争中实现可持续发展、塑造核心竞争力的关键路径,其核心在于通过系统性方法与工具的应用,确保产品或服务持续稳定地满足甚至超越客户期望。如今,质量涵盖产品或服务全生命周期的用户体验,企业需建立贯穿各环节的管理体系,将质量理念融入每个业务流程,以精细化、科学化手段消除潜在缺陷与浪费。 6σ 管理法是高效质量管理的卓越实践代表,它以“零缺陷”为目标,运用统计学工具精确分析流程变异,识别关键质量影响因素。其DMAIC流程(定义、测量、分析、改进、控制)系统性解决质量问题,从界定客户需求到量化质量水平,再到剖析根源、制定改进方案、建立控制机制,每一步都以数据为依据,确保改进科学有效、成果稳定。高效质量管理结合 6σ 方法,能显著降低企业运营成本、减少资源浪费,增强客户满意度与忠诚度,助力企业树立良好品牌形象。通过持续优化流程、降低变异,企业在保证质量的同时提升效率,实现经济效益与社会效益的双重提升,为长期发展奠定坚实基础。

2 高效质量管理在机械加工中的具体应用

2.1 原材料与零部件质量管控

(1) 机械加工的质量根基在于原材料与零部件质量

把控,引入 6σ 管理可将质量波动降至最低限度。对于原材料管控,需要在先期质量策划时详细解读客户技术规范,识别客户需求,制定详细的质量控制计划(CP),SQE与供应商签订QTA,公司内部编制详细的采购件检验规范,对于性能检验,借助光谱分析仪精准测定化学成分,依据金相显微镜观察材料内部组织结构,分析晶粒度、夹杂物等关键指标,如有更高的客户需求,可以借助PMI技术,实现产品现场100%检测。从源头确保材料性能稳定,避免因成分偏差或组织缺陷导致加工后产品性能不达标,造成更大的损失。(2)对于产品加工过程管控,根据工艺流程和质量控制计划,团队讨论编制PFMEA,按照严重度、探测度、及频度进行风险顺序数打分,识别潜在质量风险,制定推荐措施并进行验证、标准化。样件加工完成后进行FAI,依据设计图纸要求,编制样件检验规范,落实FAI过程中发现的质量问题,通过PDCA循环,在小批量生产中进行关闭并形成标准化。(3)针对功能性零部件开展模拟工况测试,如对螺杆空气压缩机中的双螺杆,我们会进行减小0.01mm中心距位置进行啮合检测以及转速达到额定机组转速时的动平衡检测,确保零部件在后续装配和使用中能可靠运行。(4)建立完善的原材料与零部件追溯体系,对每批次材料和零部件赋予唯一标识,详细记录其生产厂家、批次号、采购日期等信息,在ERP系统模块将锻件号与热处理炉号相关联,生成产品编号,整合所有的信息关联产品加工过程质量卡。一旦在后续加工或使用中出现质量问题,可快速精准追溯到具体来源,及时采取处理措施,避免问题扩大化,同时为供应商评估和改进提供依据^[1]。

2.2 加工工艺优化与管理

机械加工工艺直接决定产品质量与生产效率,运用 6σ 方法对工艺参数进行优化和管理意义重大。在切削加工中,通过实验设计(DOE)方法系统研究切削速度、

进给量、切削深度等参数对加工精度、表面粗糙度和刀具寿命的影响，构建参数优化模型，找到各因素的最佳组合，以较少加工缺陷（磨削振纹、尺寸超差等）、降低加工成本、缩短加工周期。

例如：螺杆型线磨削过程中粗糙度不稳定

明确目标：将Ra控制在0.4-0.8μm

关键因素与水平：

因素	低水平	高水平
砂轮线速度	25m/s	35m/s
工作台进给	50mm/min	100mm/min
磨削深度	0.01mm	0.03mm
冷却液压力	0.3MPa	0.6MPa

按照每种因素的高、低水平分别实验并收集粗糙度数据；

进行主效应分析及交互作用分析，找出关键影响因素组合；

回归模型进行优化；

验证实验后标准化；

(2) 对复杂加工工艺进行过程能力分析（PCA），计算过程能力指数（CPK），评估工艺的稳定性和加工精度满足要求的程度。若CPK值低于标准值1.33，按照质量管控要求，生产车间及质量部门需要策划进行100%自检和比例专检，特别是三坐标的频次增加，会造成质量成本的增加及生产效率的损失，所以需要深入分析工艺过程中的潜在变异源，如设备振动、工装夹具精度下降等，针对性地采取改进措施，如调整设备安装基础、更换高精度夹具，以增强工艺过程能力。我公司负责加工的螺杆产品，通过对关键工序的过程监控与数据统计，采用MINITAB软件进行CPK分析计算，分析、查找、验证，目前关键尺寸cpk已稳定，三坐标检测频次已经逐步降低为50%，同时也在争取采用在线检测替代离线检测，提升三坐标的产能。

2.3 生产过程质量监控与控制

(1) 在机械加工生产过程中，构建基于6σ的实时质量监控系统是保障产品质量的关键。利用传感器技术实时采集加工过程中的关键参数，如切削力、主轴转速、温度等，将采集数据传输至监控中心，通过数据分析软件进行实时处理和分析，及时发现参数异常波动，以便迅速采取调整措施。(2) 运用统计过程控制（SPC）方法，针对质量特性选约30个样本（每样本2-5件），计算初始UCL/LCL，操作者自测描点绘图，培训其判异、判稳法则，判断过程是否受控。技术质量部门关注异常，分析原因并纠正。控制图贴机台旁。定期（如每季度）

评审SPC有效性，优化控制策略。(3) 对生产线上的关键工序设置质量控制点，安排专人进行重点监控和检验。在装配工序中，对关键部件的装配精度、配合间隙等进行100%专检，采用专用检具和测量仪器确保检测准确性。建立质量信息反馈机制，一旦发现质量问题，快速传递信息至相关工序，以便及时调整生产参数或工艺方法，实现生产过程质量的动态控制^[2]。

2.4 成品质量检验与管理

(1) 成品质量检验是机械加工质量管理的最后一道防线，引入6σ理念可显著提高检验的准确性和有效性。样件全尺寸检测，批量后按终检表单出厂检验，均需多种检验结合，用无损检测确保产品无隐藏质量隐患。

(2) 建立严格的产品质量判定标准，结合产品使用要求和6σ质量目标，明确各质量特性的合格范围和判定准则。对检验数据进行统计分析，计算产品的合格率和不良率，通过帕累托分析（Pareto Analysis）找出关键的主要质量问题，集中资源进行改进，不断提升产品整体质量水平。(3) 对检验不合格的成品进行详细的失效分析，运用5WHY或者8D等根源分析方法，深入探究导致不合格的根源，从原材料、加工工艺、生产过程等多个环节进行排查。针对分析出的原因制定切实可行的改进措施，并对改进后的产品进行重新检验和验证，形成质量改进的闭环管理，确保产品质量持续提升。

3 高效质量管理在机械加工应用中面临的挑战与应对策略

3.1 面临的挑战

3.1.1 复杂多变的生产环境

机械加工生产环境是一个涵盖物理、设备、工艺等多重复杂因素的综合性体系，这些因素相互交织、彼此影响，对产品质量的稳定构成了直接且严峻的威胁。车间内物理环境参数如温度、湿度等频繁波动，会使设备精度下降，进而引发加工尺寸偏差；设备老化、突发故障以及原材料质量差异，也会造成质量波动；多品种小批量生产模式下频繁换型，还易因操作不当引发质量事故。传统质量控制方法难以有效应对这种复杂局面，严重制约着机械加工企业实现高效、稳定的质量管理目标。

3.1.2 数字化转型的技术壁垒

机械加工行业迈向数字化转型，面临着诸多技术瓶颈。设备联网上，不同厂商设备通信协议、数据接口差异大，数据难互联互通与实时共享。采集的数据格式不统一、噪声干扰严重，缺乏有效清洗、分析技术，难挖掘质量关联信息。数字化质量管理软件与企业现有系统集成难，兼容性差，易出数据传输错误等问题。智能化质

量预测与诊断模型构建技术门槛高，严重阻碍了企业数字化转型进程，影响了高效质量管理体系的数字化升级^[3]。

3.1.3 成本与质量的平衡难题

在机械加工领域，成本与质量的平衡始终是企业面临的核心难题。提升产品质量，需采购高精度设备、用高品质原材料、增加质检工序等，成本大幅增加；单纯压缩成本，如降低设备维护频次、用低等级原材料、减少质检，又会使质量下降，引发客户投诉、退货，损害品牌声誉。且质量改进时，难以准确评估每项质量提升措施对成本和质量的影响，缺乏科学分析模型，无法精准找到成本与质量的平衡点。这种两难困境使得企业在质量管理决策时陷入被动，限制了企业的可持续发展。

3.2 应对策略

3.2.1 构建智能化生产环境

构建智能化生产环境是应对复杂生产环境挑战的关键举措。引入智能传感器，实时监测调控车间温湿度等物理参数，保持环境稳定。借助物联网技术实现设备互联，采集运行数据，结合6Σ管理方法评估设备性能、预测维护，提前发现潜在故障。利用自动化生产线与智能工装夹具，减少人工干预，提升换型操作准确性与效率。借助人工智能算法实时分析生产质量数据，自动调整加工参数，实现自适应控制，让生产过程始终保持稳定、高效的质量状态，有效应对复杂多变的生产环境。

3.2.2 加速数字化转型进程

加速数字化转型是突破技术壁垒的重要途径。统一设备通信协议与数据接口标准，借助工业互联网平台实现数据无缝对接共享，实时精准采集生产数据。运用大数据技术对海量数据清洗、处理与剖析，结合6Σ统计过程控制方法构建质量数据模型，挖掘质量波动关联因素。强化数字化质量管理体系与生产系统的集成，优化兼容性，实现质量数据全流程追溯与协同。加大智能化质量预测与诊断模型研发投入，引入机器学习等算法优

化模型精度，提供科学质量决策支持。通过这些举措，推动企业数字化转型，提升质量管理的数字化水平。

3.2.3 优化成本质量管控体系

优化成本质量管控体系是解决成本与质量平衡难题的有效手段。运用6Σ管理的质量成本分析方法，剖析预防、鉴定等成本，构建成本质量函数模型，量化质量活动对成本与质量的影响，确定最佳平衡点。在确保质量基础上，通过工艺优化、设备升级提升生产效率，削减单位成本。引入无损检测等先进技术，精简质检工序，降低人工成本，提升检测效率。搭建质量成本预警机制，实时跟踪变化，出现异常波动立即调整，达成成本与质量的动态平衡。确保企业在提升产品质量的同时，有效控制生产成本，提高企业的经济效益和市场竞争力^[4]。

结语

综上所述，高效质量管理贯穿机械加工从原料到成品的各个环节，对提升产品质量、增强企业竞争力意义重大。通过对原材料与零部件严格把控、加工工艺优化、生产过程实时监控及成品全面检验，可有效提升产品品质。尽管面临生产环境、数字化转型和成本控制等挑战，但借助智能化、数字化手段与优化的管控体系，能够实现质量与效益的协同发展。未来，机械加工行业应持续深化高效质量管理实践，探索创新模式，推动行业高质量发展。

参考文献

- [1] 谢仕梅.基于高效测试模式的软件质量管理研究[J].信息技术时代,2024(1):61-63.
- [2] 韦兰花.冲孔加工工艺在机械加工中的应用研究[J].中国设备工程,2025(6):20-23.
- [3] 佟超.探究数控加工技术在机械加工中的应用[J].玻璃,2024,51(8):61-64,68.
- [4] 冯剑鹏.自动焊接技术在机械加工中的应用分析[J].装饰装修天地,2021(24):57-58.