

机械设计制造过程中的质量控制方法研究

刘 来

邢台纳科诺尔精轧科技股份有限公司, 河北 邢台 054000

[摘要]机械设计制造过程质量控制属于保证产品性能和可靠性的重要环节。针对目前质量控制以事后检验为主、全过程预防机制弱化等状况, 对设计阶段和制造环节存在的主要问题展开全面剖析, 进而给出包含设计优化、过程控制、检测监测以及智能化应用在内的关键方法体系。将动态公差优化、标准化作业、节点检验和信息化手段结合起来, 从事后检验转变为事前预防和过程控制, 给机械制造企业提高质量管理水平提供借鉴。

[关键词]机械设计制造; 质量控制; 过程管理

DOI: 10.33142/sca.v9i7.20017

中图分类号: TH165

文献标识码: A

Research on Quality Control Methods in Mechanical Design and Manufacturing Process

LIU Lai

Xingtai Naknor Technology Co., Ltd., Xingtai, Hebei, 054000, China

Abstract: Quality control in the mechanical design and manufacturing process is an important link in ensuring product performance and reliability. In response to the current situation where quality control is mainly based on post inspection and the prevention mechanism throughout the entire process is weakened, a comprehensive analysis is conducted on the main problems existing in the design and manufacturing stages, and a key method system including design optimization, process control, detection and monitoring, and intelligent application is proposed. By combining dynamic tolerance optimization, standardized operations, node inspection, and information technology, post inspection can be transformed into pre-prevention and process control, providing reference for mechanical manufacturing enterprises to improve their quality management level.

Keywords: mechanical design and manufacturing; quality control; process management

引言

随着我国制造业由大而强向高质量发展转变, 机械产品精度、复杂度越来越高, 对设计制造全过程质量控制的要求也越来越高。2019年7月中共中央、国务院发布《质量强国建设纲要》, 明确指出产业质量竞争力不断提高。机械制造企业急需破解质量瓶颈, 提高标准的引领力和质量的保障力。目前很多企业还使用传统的检验手段进行事后控制, 缺少对生产过程的系统性规则约束, 质量缺陷很难在源头上得到控制。从设计源头到制造终端全链条的质量控制, 已经成了提高机械产品竞争力的重要课题。

1 机械设计制造过程质量控制概述

机械设计制造过程质量控制, 就是指在产品从设计开发到加工制造的整个过程中, 用科学的方法和技术手段对影响质量的各种因素进行系统控制的过程。该过程包含设计输入评审、工艺方案拟定、原材料检验、加工过程控制、成品检测等诸多环节, 它的主要目的就是保证产品的最终

性能达到设计预期和客户的要求。

从质量控制的发展阶段看, 机械制造企业质量管理大体上分为事后检验、统计过程控制和全面质量管理三个阶段。目前行业内普遍存在的问题是, 大部分企业的质量控制手段仍然以过程检验、工序自检为主, 主要对半成品、成品进行抽样检测, 一旦出现不合格品, 已经完成批量生产, 返工、报废成本不可避免。以检验为主的事后控制模式不能有效地防止质量缺陷的发生。因此, 将质量控制重心前移到设计阶段, 在制造全过程中进行预防性控制, 实现从事后把关到事前预防的转变, 是提高机械产品质量水平的重要途径。

2 机械设计制造过程质量控制存在的主要问题

2.1 设计阶段质量控制体系不完善

设计阶段是决定产品质量的源头环节, 但是目前很多机械制造企业设计质量控制存在明显的不足。第一, 就是设计标准和制造能力之间无法有效地进行衡量。机械标准

参数(公差、材料强度等)同设计偏差有着明显的相关性,这种相关性对产品质量有着十分重要的作用。部分企业设计阶段没有考虑到现有的加工设备精度水平以及操作人员的技术水平,造成设计公差过大或者工艺方案不可行,给后期制造埋下了质量隐患。第二,设计评审制度形同虚设,没有对设计方案的可制造性、可检测性进行系统论证,设计变更随意性大,版本管理混乱,容易造成设计与制造脱节。第三,设计阶段质量风险识别不到位,没有用故障模式和影响分析等方法对可能产生的失效模式进行预测,质量问题源头治理能力差。

2.2 制造过程质量管理执行不到位

制造阶段是质量控制的重点环节,但是在实际生产过程中存在管理执行不到位的情况比较严重。A产品外径超差主要是由于操作人员质量意识不强、操作水平低、加工保守等直接原因造成的。很多操作人员对于质量主体责任的认知存在偏差,只重视检验环节的层层把关,忽略自己作为第一质量责任人所承担的主动管控义务,自检工作不到位,目标导向失衡,在高强度排产压力下片面追求产量指标而牺牲质量稳定性。另外,目前的培训方式有缺陷,采用“老带新”的方式只传授基本的操作步骤,没有对工艺原理和失误预防要点进行深入讲解,造成操作人员不能独立完成设备的调整和故障的预判。除此之外,精密零件制造企业所面对的主要问题就是生产过程不规范,不但会造成返工,产生因为返工影响准时交货的成本,还会造成报废以及顾客投诉等更大的成本。工艺方法上,部分工序没有给出具体的加工中心值,依靠操作人员的经验来调整,造成实际加工分布中心偏离公差中心,增大超差的概率。缺少对机床精度衰减的全面监测,砂轮、导轮等关键部件磨损后没有及时更换,造成加工的一致性受到影响。

3 机械设计制造过程质量控制的关键方法

3.1 强化机械设计阶段质量控制

设计阶段质量控制要从标准执行、公差优化、可制造性评审三个方面着手,从源头上打牢产品固有的质量基础。从标准执行角度出发,利用建立的机械标准参数和设计偏差的量化模型($R^2=0.95$)可以找出标准参数对设计偏差影响的程度,给出动态公差优化策略^[1]。该模型可以反映不同的标准参数对于最终的设计质量是非线性的,给设计人员在方案初期提供量化的决策依据。企业应该建立设计标准和制造能力相适应的评价体系,在设计阶段对公差分配进行合理性检验,用过程能力指数对现有的设备加工精度进行量化评价,保证设计指标在现有工艺条件下具有可行性和经济性。对超出目前制造能力的设计要求要及时组

织专项攻关或者和客户协商调整,防止由于设计脱离实际而造成后续的质量困境。

在可制造性评审上应该建立跨部门的设计评审制度,设计、工艺、质量、生产等相关部门一起参加评审,对设计方案的工艺可行性和检测可行性做系统的论证。评审时主要关注零件结构的可加工性、定位基准是否合理、关键尺寸能否测量等,把制造端的经验和约束提前到设计阶段考虑进去。同时将标准化方法应用于设计质量控制当中,就要创建基于5M1E的标准化文件体系,对标准化文件的实施过程加以策划,检验实施效果并开展适用有效性评价。将设计准则、典型结构库、优选参数表等知识固化成标准化文件,一方面可以提高设计效率,另一方面也可以减少由于设计人员经验不同而造成的质量波动,使设计质量控制由依靠个人能力变为依靠制度保障。

3.2 优化生产制造过程质量管控

制造过程质量控制的中心是标准化作业和过程受控,二者互相依存、缺一不可。标准化上应根据人、机、料、法、环、测六个方面制订详细的标准化作业文件,明确各个工序的加工参数、操作要点、检验要求及控制标准,尤其要对关键参数作出明确的加工中心值规定,以消除操作人员凭经验调整的随意性。标准化的应用可以解决现存的质量问题、预防潜在的风险,把标准化的过程同PDCA循环结合起来,可以规范生产过程,系统地消除变异因素,保证生产过程的统一性、稳定性。标准化文件的制定要充分吸收现场操作人员的实践经验,保证其具有可操作性、可执行性,还要建立定期评审和动态更新制度,根据质量数据反馈不断改进标准内容。

从过程受控角度出发,实行首件检验和自检互检相结合的制度,在每批加工开始前由操作人员做首件确认,加工过程中按规定频率进行自检并如实填写检测数据^[2]。对关键工序、特殊过程实行连续监控,用控制图等统计手段对过程能力指数做动态评价,及时找出并纠正偏差,防止批量质量事故的发生。同时应确定操作人员为本工序质量的第一责任人,将自检合格率作为岗位绩效考核指标之一,增强全员参与过程控制的主动性,使质量控制落实到每一个工位、每一道工序。

3.3 完善质量检测与过程监测机制

质量检测和过程监测属于发现质量问题、检验控制成效的主要方法。检测方式应该由原来的最终检验变为节点检验和过程监测相结合的方式。节点检验策略主要是针对节点进行定义、识别方法以及控制路径的整合,用质量功能展开、故障模式和影响分析等手段,提出以工序分析为

基础的节点检验框架。科学安排节点检验程序，加强动态监管，依靠数据推动决策，可以明显削减制造缺陷出现频次，改善设备的可靠性以及生产效能。由表 1 可知，不同类型的检验方式对于质量控制的作用不同，企业要根据产品的特点和工艺的要求来合理地安排各个检验环节的检验资源。

表 1 机械制造过程主要检验方式比较

检验类型	实施节点	控制重点	主要作用
来料检验	原材料入库前	材料规格、性能	防止不合格材料流入生产
首件检验	工序开始/换型后	首批加工质量	确认工艺状态正常
工序自检	加工过程中	关键尺寸、参数	实时发现偏差
节点检验	关键工序间	半成品质量	防止缺陷向下道流转
最终检验	成品完工后	全部性能指标	把关出厂质量

3.4 推进信息化与智能化质量管理应用

信息化、智能化技术的运用给机械制造质量控制增添了许多新的技术手段。企业应当逐步创建起包含设计、工艺、制造、检测等全部环节的质量信息管理系统，从而达到质量数据的自动采集、及时传递以及集中管控。在线检测设备和数据采集终端可以在生产现场安装，对重要的质量特性实施连续检测，检测的数据会及时上传到质量数据库里。五维质量管控模型的关键之处在于五大维度互相联系、互相约束，必须共同改善才能达成质量控制，依靠 PDCA 循环对五大维度展开持续改进之后，可以提高加工速度以及产品的一致性。在数据分析上可以使用统计过程控制的方法，对过程能力指数进行定期评价，发现过程波动的异常信号，在问题出现之前采取预防措施。通过质量数据的积累和挖掘来建立质量问题的知识库，给后续的产品设计、工艺改进提供数据支持。

4 机械设计制造过程质量控制保障措施

4.1 健全全过程质量管理体系

质量管理体系是质量控制得以正常运转的制度保证。企业按照 ISO 9001 质量管理体系标准建立设计输入、工艺策划、采购控制、生产过程、检验试验、交付服务等全过程的质量管理体系文件，明确各个环节的质量职责、工作程序和接口关系，保证质量职能在组织结构中得到明确界定，防止出现职责交叉、管理盲区等问题。在体系运行过程中要重视过程方法的运用，把每一个制造工序当作一个输入、处理、输出的过程单元，找出每一个过程的质量

控制要点、关键绩效指标和改进机会，从而形成过程之间的有机衔接和协同联动^[3]。另外建立内部审核和管理评审制度，对体系运行是否有效进行定期评价，用审核发现的不符合项来推动系统性的改进，保证质量管理体系同企业的发展实际相适应，不断保持其充分性、适宜性、有效性。

4.2 加强人员质量意识与技能培训

人员素质属于影响制造质量的重要因素之一。企业要创建分层分类的质量培训体系，就管理人员、技术人员以及操作人员展开培训并制定考核准则。操作人员要进行质量意识教育、标准化作业培训、岗位技能考核，形成一次做好质量的思想意识，明确自己在质量控制中所承担的责任和义务。操作人员质量意识薄弱造成生产过程失控，主要是对质量主体责任认识有误，只依靠分层检验制度而忽略自身主动管控责任。因此培训要纠正这种认识上的误区，把质量责任落实到每一个岗位、每一个环节上。对技术人员来说要加强对质量管理工具和方法的培训，提高他们使用统计技术、失效分析等手段解决问题的能力。

4.3 完善设备维护与工艺标准化管理

设备精度保持、工艺规范执行属于过程质量控制的基本条件。设备管理要实行设备全生命周期管理制度，制订设备点检、定期保养和精度校验计划，对关键设备的精度衰减趋势加以追踪分析，提前做好维修和校准工作，防止因为设备精度降低引发的批量质量事故。在工艺管理上要推进工艺文件标准化、可视化，把操作规程、控制参数、检验要求等用标准化作业指导书形式固定下来，在生产现场明示。根据 5M1E 制定标准化文件，对标准化文件的实施过程进行策划、检查、评价适用性。工艺变更要严格按照审批程序执行，对变更前后质量数据进行对比验证，保证变更不会对产品质量造成不良影响。

4.4 建立持续改进与质量追溯机制

持续改进属于质量管理体系螺旋上升的内在动力。企业要创建质量问题快速响应及闭环处理体系，对于生产过程里浮现的质量异常，客户投诉以及审核发觉的问题，立即开展原因剖析，制订纠正办法并加以跟踪检验成效。在原因分析时要综合使用因果图、直方图等质量管理工具来找出产品质量问题的原因以及可能存在的风险因素。如图 1 所示，因果分析是质量问题溯源的方法之一，从人、机、料、法、环、测六个方面系统查找，可以准确找到问题的根本原因。



图1 机械制造质量问题因果分析框架

质量追溯要创建起产品标识和批次管理制度,保证原材料进厂、生产过程、成品出厂每一个环节都能被追踪。使用质量追溯系统,当某一产品的质量问题的发现的时候,可以迅速地确定出问题的范围,从而降低召回造成的损失,也可以给质量改进提供数据支持。

5 结语

机械设计制造过程质量控制是包含设计、工艺、生产、检测、管理等各个环节的综合性工作。针对目前质量控制中存在设计阶段标准执行不到位、制造过程管理薄弱等现象,应该从设计源头入手,用标准化作业规范生产过程,用节点检验加强过程控制,用信息化手段提高质量数据的利用率,构建起全过程质量控制体系。实践表明,采用动态公差优化、标准化和 PDCA 循环相结合的方式可以有效地降低产品的不合格率,提高制造质

量。随着智能制造技术的发展,质量控制的智能化、数据化程度会越来越高,对机械制造企业高质量发展起到越来越大的作用。

[参考文献]

- [1]赵忠玉,王婷.机械标准与产品设计偏差关联性研究及其质量控制策略优化[J].标准科学,2025(6):104-108.
- [2]张倩,朱语豪,张念.标准化在精密零件生产过程质量控制中的应用研究——基于 H 机械厂实践[J].标准科学,2025(10):114-121.
- [3]高宏力,孙弋,郭亮,等.机械加工质量预测研究现状与发展趋势[J].西南交通大学学报,2024,59(1):121-141.

作者简介:刘来(1989—),男,汉族,河北邢台人,中级工程师,2012年6月毕业于邢台职业技术学院,大专,现主要从事锂电设备的设计与研发工作。