

# 汽车涡轮增压零部件机加工生产过程的质量管理探讨

奚霞<sup>1</sup>,吕巍<sup>2</sup>,卢彬<sup>1</sup>

(1. 南京机电职业技术学院,江苏 南京 211135; 2. 南京精益铸造有限公司,江苏 南京 210022)

**摘要:**汽车涡轮增压器零部件的优劣直接影响涡轮增压发动机的性能和汽车总装的装配质量。为加强对重要零件制造过程各个环节的质量控制,提高其市场竞争力,以涡轮增压器重要零部件机械加工生产过程为例,分别从产品策划、生产、持续改进的过程质量控制进行探讨,并总结了信息技术及新型制造工艺装备在产品全过程质量管理中的应用,可为汽车零部件制造质量控制工作的改进提供参考。

**关键词:**涡轮增压器;零部件;机加工过程;质量管理;关键特性;质量控制

**中图分类号:**TH164 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2023)01-0072-03

## Discussion on Quality Management of Auto Turbocharger Parts Production Process

XI Xia<sup>1</sup>, LYU Wei<sup>2</sup>, LU Bin<sup>1</sup>

(1. Nanjing Institute of Mechatronic Technology, Nanjing 211135, China; 2. Nanjing Precision Casting Co., Ltd., Nanjing 210022, China)

**Abstract:** The quality of auto turbocharger parts has direct influence over the performance of turbocharged engine and the assembly quality. To enhance the quality control of all links in key parts machining process for strengthening market competitiveness, and with the machining process of turbocharger parts as an example, the quality control on product planning, production, and the continuous improvement quality control process are discussed respectively. The applications of information technology and advanced manufacturing process equipment in the whole process of quality management are summarized, which provides reference for the improvement of auto parts manufacturing quality control.

**Keywords:** turbocharger; parts; machining process; quality management; key characteristics; quality control

## 0 引言

涡轮增压器是一种通过压缩空气来增加进气量的空气压缩机,其运行环境多为高温、高转速,因此对各个零件的加工及其过程的质量控制提出了更高的要求。涡轮增压器的关键零件是中间体、叶轮、涡轮壳、压气机壳等,如图1所示,这些零件大多采用全球化采购的方式,其形状尺寸的优劣直接影响到涡轮增压发动机的性能,如果涡轮增压器零部件生产厂家不对其产品质量进行控制,最终将影响汽车总装的装配质量。

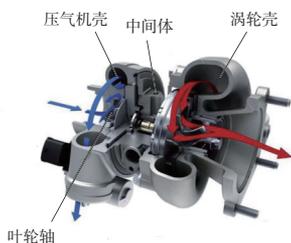


图1 涡轮增压结构图

现阶段汽车生产主要执行汽车行业质量管理体系IATF16949。在涡轮增压器零部件的质量控制中,不仅依靠最终检验,更大程度依赖于企业的全面质量管理。生产企业要合理把握IATF16949的技术规范,运用质量管理的五大工具为<sup>[1]</sup>:产品质量先期策划(APQP)、潜在失效模式和后果分析(FMEA)、统计过程控制(SPC)、测量系统分析(MSA)、生产件批准程序(PPAP)等,这五大工具主辅得当,相互促进。

## 1 过程设计中的质量控制

机械加工中,设计和生产过程的质量控制为重中之重。在设计过程要明确质量控制要求和标准,对涡轮增压器生产的客户需求、关键任务、按时批量生产的时间节点、持续改进等具有清晰的规划,严防质量问题的发生。

过程设计人员拿到产品设计图样及标准等,开发一个有效的机加工制造系统,首先应认识到质量管理与产品安全性、使用寿命的紧密关系,例如中间壳体 and 涡轮壳体都有气密性的要求,尤其中间壳体运行过程中不能漏油,否则直接导致产品运行安全没有保障。在此基础上,确定产品的关键特性,例如中间壳与叶轮轴配合的中孔,包括其

基金项目:“十四五”南京市教学创新团队建设项目(0201202);南京市“十四五”骨干专业建设项目(0201302)

第一作者简介:奚霞(1983—),女,江苏如皋人,讲师,本科,研究方向为机械制造及质量管理。

直径尺寸公差和圆柱度要求,如图2所示中间壳体中孔尺寸 $\phi 22_0^{+0.013}$ ,该尺寸为中间壳的关键尺寸。涡轮壳体与叶轮片相吻合的圆弧尺寸,圆弧半径及其轮廓度要求;叶轮的叶片及轴外圆尺寸更是其关键特性。如图3所示,直径 $\phi 62$ 处圆弧面到基准面的距离要控制在 $32.33 \pm 0.1$ 范围内,该尺寸为涡轮壳体的关键尺寸。

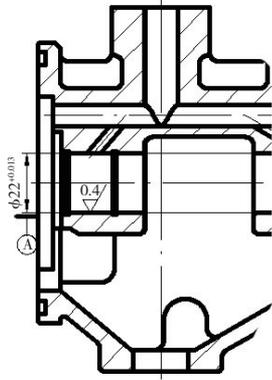


图2 中间壳体部分关键尺寸

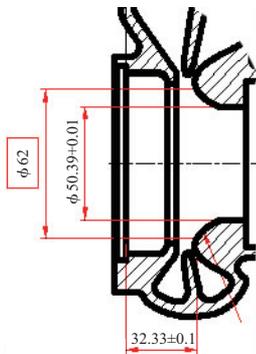


图3 涡轮壳部分关键尺寸

针对产品加工的关键特性,分析其潜在的失效模式及后果,并罗列出可以采取相应的控制措施,制订样件生产的控制计划和机械加工工艺规程,加工全过程所使用的工艺装备、测量方法、测量频率等。

因此,设计质量可通过设计过程的质量控制来保证,其内容包括:制定机械加工工艺规程、制定加工工艺规程、制定检验测试规程、进行评审和验证、改进设计、样品的试制与鉴定、小批量生产的准备工作等。

## 2 生产制造中的质量控制

根据过程设计中设置加工零部件关键控制点,在涡轮增压器零部件制造的质量管理中,对一些关键部件和重点工序着重检测和监控,使每一个零部件以及各个生产环节均达到质量标准,提高产品的合格率。例如中间体加工过程中要重点控制与叶轮轴配合的中孔,包括尺寸公差和几何公差;涡轮壳体加工过程中重点控制与叶轮片相吻合的圆弧半径及其轮廓度;叶轮加工时,重点控制它的叶片及轴外圆尺寸。严格执行符合客户要求的规范文件,编制生产线所需的各种检验卡片,例如中间壳中孔为产品的关键特

性,切换新的产品或者中途换刀都要进行首件检验,且正常批量生产过程中,检验频率相对其他尺寸也要有所提高。

一切都是从客户需求出发,因此生产的过程也必须得到客户认可,包括测量系统评价和生产过程能力评价。测量系统是在试生产过程中使用规定的测量装置和方法,来检查控制计划识别的关键特性,检测该测量方法能否满足测量要求。过程能力也是评价生产过程批量生产是否稳定的关键指标。

工序能力指数是工序能力满足产品质量标准或工艺规范要求的程度。

$$C_p = \frac{T}{B} = \frac{T}{6\sigma} = \frac{T_U - T_L}{6S} \quad (1)$$

式中: $C_p$ 为工序能力指数; $T$ 为公差; $B$ 为工序能力; $\sigma$ 为标准偏差; $T_U$ 为公差上限; $T_L$ 为公差下限; $S$ 为子样的标准偏差。

子样的标准偏差

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (2)$$

工序分布中心样本均值<sup>[2]</sup>

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

其中 $n$ 为取样个数。

过程能力指数评定指标见表1。

表1 过程能力指数评定表

序号	$C_p$ 或 $C_{pk}$	过程能力判断
1	$C_{pk} > 1.67$	过程能力充足,可考虑放宽检查
2	$1.67 \geq C_{pk} > 1.33$	过程能力充足,抽样检查可适当放宽
3	$1.33 \geq C_{pk} > 1.00$	过程能力稳定,不能放宽检查
4	$1.00 \geq C_{pk} > 0.67$	过程能力不足,需采取措施提高过程能力
5	$C_{pk} \leq 0.67$	过程能力严重不足,需立即采取措施提高

以图2中间壳体中孔尺寸 $\phi 22_0^{+0.013}$ 加工为例,该尺寸是由最后一道工序珩磨来保证的。从零件中随机取样30件,用数显气动量仪进行测量,检测数据如表2所示。

表2 零件检验数据 单位:mm

被测零件 序号	检验 结果	被测零件 序号	检验 结果	被测零件 序号	检验 结果
1	22.006 7	11	22.006 8	21	22.006 8
2	22.006 9	12	22.006 7	22	22.006 9
3	22.006 8	13	22.006 6	23	22.006 6
4	22.007 0	14	22.006 8	24	22.006 7
5	22.006 8	15	22.007 0	25	22.007 0
6	22.007 1	16	22.006 8	26	22.006 6
7	22.006 6	17	22.006 9	27	22.006 9
8	22.006 7	18	22.006 9	28	22.006 7
9	22.007 0	19	22.006 8	29	22.006 9
10	22.006 9	20	22.006 5	30	22.006 7

从表2中的测量数据,得到工序分布中心样本均值

$X = \Phi 22_0^{+0.0068}$ ,  $S = 0.00147$ , 而中孔尺寸公差中心  $M = \Phi 22_0^{+0.0065}$ , 工序分布中心与公差中心有偏移的情况, 如图 4 所示。

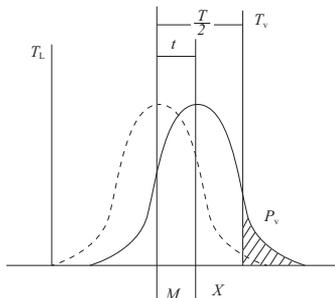


图 4 偏移示意图

此时,修正后的工序能力指数  $C_{pk}$  的计算公式如下:

$$C_{pk} = (1-K) \times \frac{T}{6\sigma} \quad (3)$$

$$K = \frac{e}{T/2} = \frac{|X-M|}{T/2} \quad (4)$$

式中:  $e$  为绝对偏移量;  $K$  为相对偏移量。

计算出该中间壳体的中孔尺寸  $C_{pk}$  值如下:

$$K = \frac{\left| \frac{1}{2(22.013+22.000)} - 22.0068 \right|}{\frac{(22.013-22.000)}{2}} = 0.04615 \quad (5)$$

$$C_{pk} = (1-K) \times \frac{T_U - T_L}{6S} = (1-0.04615) \times \frac{22.013-22.000}{6 \times 0.00147} = 1.4059 \quad (6)$$

根据上面的计算得到  $1.67 \geq C_{pk} > 1.33$ , 说明该工序能力充足<sup>[3]</sup>。但在生产过程中, 由于该尺寸为关键特性, 且工序能力指数稍大于 1.33, 所以应保证加工过程抽样检验的频次, 不能放宽检查, 确保能稳定地生产出优质产品。

### 3 持续改进的质量控制

在制造完成后, 根据设计标准进行产品检验, 对不合格产品进行科学处理。在产品最终检验过程中, 重点关注关键特征以及经常发生质量问题的部位, 一旦发现不合格品及时反馈给产品过程设计人员, 便于其更新工艺文件。如果不合格品流向客户, 客户发生投诉, 必须及时采取整改措施, 进行问题分类, 分析问题发生的原因, 了解制造过程中产生不合格品的系统因素, 查看产品目前生产的状态, 根据标识确定责任人员, 排查生产线上线产品, 制订管控措施, 并定期查看纠正预防措施是否实施到位。

这期间检测人员和量具是关键, 检验人员要加强质量管理体系与检测技能培训, 量具要统一并处在有效期, 对关键尺寸进行测量系统分析, 确保其测量系统适合被测量的参数。

另外, 重视“LESSON LEARNED”, 进行经验学习, 对同类产品进行归纳总结, 举一反三, 当一个产品发生的质量问题, 对其他同类型的产品需要预防, 避免类似的问题重复发生或人员重蹈覆辙。

## 4 信息技术及新型制造工艺装备在产品全过程质量管理中的应用

### 4.1 产品生产策划过程的质量控制<sup>[4]</sup>

在汽车涡轮增压零部件制造行业中, 普遍重视对生产过程的关键特性进行质量控制。产品生产策划过程中的机械加工工艺设计, 属于制造业中的设计源头, 重中之重, 把控好设计环节是后续质量的根本保障。信息技术和制造技术的结合, 专家系统帮助工艺工程师快速高效地消化并理解图样和标准, 识别关键尺寸和关键工序, 甚至给出接近的系列产品的参考工艺及工装, 结合公司实际情况, 考虑人员、设备、材料、法律法规、环境等因素, 设计出最符合公司实际的加工制造方法。

### 4.2 高效应用新型制造工艺装备(生产与检测数据采集)

在生产过程中应用智能传感器, 无论接触式测量还是非接触式测量, 都能实时在线感知产品生产状态、质量、设备动作、设备安全和生产成本等关键信息, 再通过设备层 PLC 或控制器模块进行实时采集并进行逻辑分析与计算。建立生产信息数据库, 实时把生产过程的所有生产者、机床、工装、加工参数信息传输到控制中心, 做到每件产品全过程的信息记录和生产质量全追溯。

在生产设备内安装刀具视觉检查系统, 防止生产过程中出现异常情况, 设备在加工过程中通过专用探测刀具断刀, 进行刀具寿命控制。

生产过程开始在每件产品上打上 Datamatrix 二维码, 在流程的每道工序扫码装夹, 既可根据原辅料批号追溯该批次原辅料生产的产成品信息, 又可反向追溯产成品的原辅料批次、供应商及相关生产过程检验信息和 IQC 检验信息, 当产品质量异常时, 可以结合过程统计分析方法, 确定质量异常产生的人、机、料、法、环原因。

应用在线检测, 对零件的尺寸和技术要求信息进行记录和生产能力控制, 出现异常做到实时反映。例如, 设计一台全自动在线检测机用于涡轮壳部分尺寸的在线测量, 所需检测的项目列表已经传入软件系统, 产品通过在线检测机, 测量机先扫码后测量, 测量合格件向后继续流转, 不合格件由机械手送至 NG 处理, 并将测量结果送至生产线控制系统。测量软件自动统计并显示合格品和不合格品件数, 统计出平均值、标准偏差  $S$ 、极差  $R$ 、 $\bar{X}$ -bar/ $R$ 、 $\bar{X}$ -bar/ $S$  控制图、 $C_p$ 、 $C_{pk}$  等结果, 并在屏幕显示出来, 以便对生产现场做出实时判断与控制。

### 4.3 应用多元化智能管理系统

除了硬件技术以外, 智能制造软件系统在汽车零部件质量管理中也是不可或缺的。在大数据时代, 对于中国汽车零部件制造企业来讲, 数字化质量管理信息系统辅助零部件制造企业建立有效运行的质量保证体系, 包括制定质量方针、目标以及质量策划、质量控制、质量保证和质量改进

(下转第 99 页)

处的 Poincare 截面表现为密集的无规则的离散点,由此分析系统处于混沌运行状态。随着时滞量的增大,系统在混沌中逐渐走向失稳。

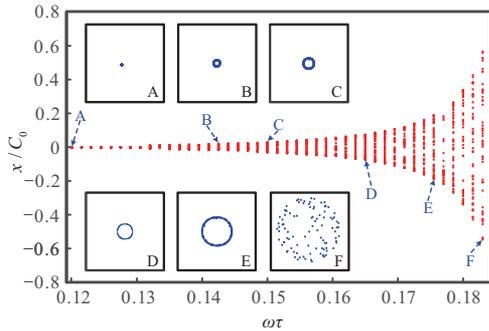


图6 系统随时滞变化的分岔图

### 3 试验研究

#### 3.1 试验设备介绍

本试验基于如图7所示的磁悬浮转子试验台进行,其中主要包含控制器、功率放大器、磁悬浮轴承、转子及位移传感器5大部分。基于dSPACE控制系统进行控制算法的实现及信号的在线分析,其采样频率设置为20kHz,并利用PID控制器使转子稳定悬浮。



1—上位机; 2—示波器; 3—磁悬浮转子实验台; 4—传感器电路; 5—功放驱动电路; 6—变频器; 7—dSPACE控制系统。

图7 试验现场图

#### 3.2 试验分析

为了模拟压缩机等磁悬浮旋转机械在远程运行时产生的传输延时,在该试验台的控制回路中人为增加一延时环节作为外部输入时滞,后面所提时滞均指人为增加的外部输入时滞。为与仿真保持一致,试验也在300Hz定速下进行,通过调节延时环节来改变系统控制输入的时滞。之后结合时域分析、Poincare映射等手段,对不同时滞量下转子系统所表现出的动力学特性进行分析。

图8为各时滞量下系统的轴心轨迹。在系统时滞量从0逐渐增加到0.4ms的过程中,系统的轴心轨迹表现出增大的趋势且波动程度随之增大。与此同时,轴心轨迹由稳定的圆环变为不稳定的振荡状态。为了更加清楚地展

现出这一点,图中给出了时滞为0以及0.4ms时系统轴心轨迹的时域变化情况。通过对比发现,当系统时滞量为0时,轴心轨迹表现为存在微小振荡的稳定的圆柱体;而当系统时滞量为0.4ms时,轴心轨迹则表现为振荡的不稳定的圆柱体。

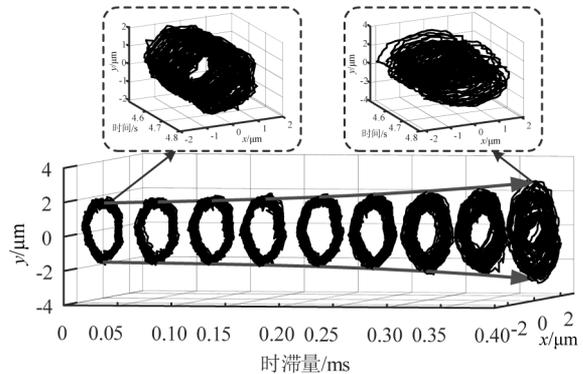


图8 各时滞量下的轴心轨迹

为了进一步分析时滞作用下系统的动力学行为,采用Poincare映射法对系统进行分析。时滞量为0及0.4ms时的Poincare截面图如图9所示,当系统内的时滞量为0时,转子的Poincare映射为一封闭圆环,此时系统处于拟周期运动状态;当系统内的时滞量增加到0.4ms时,Poincare截面上表现为众多离散的无规律的点,此时系统处于混沌运动状态。当时滞继续增加,系统失稳。值得注意的是,由于系统内诸如固有时滞、非线性电磁力等非线性因素的存在以及采样误差等诸多因素的影响,实验中未出现单周期运动。

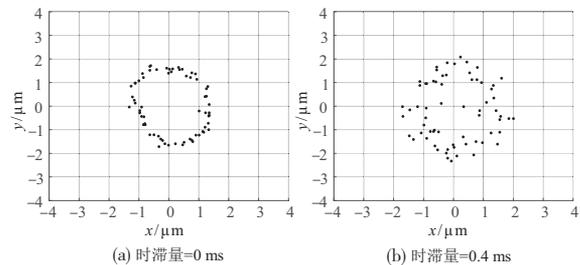


图9 不同时滞量下的Poincare截面对比图

### 4 结语

本文对时滞影响下磁悬浮转子系统的动力学特性进行了研究。基于PID控制背景,建立了四自由度磁悬浮转子系统时滞动力学模型,基于该模型进行了相关的数值仿真,并利用磁悬浮转子试验台进行了相应的试验研究。从仿真和试验上阐明了随时滞变化的磁悬浮转子系统动力学特性,具体结论如下。

- 1) 系统内时滞量的增加将使转子轴心轨迹表现出增大的趋势且波动程度随之增大,位移信号的表现形式趋于复杂。
- 2) 时滞的增加可使转子系统由稳定的单周期运动状态逐渐转变为较为复杂的拟周期运动状态。随着时滞量