

# 机械加工工艺优化与生产效率提升策略

林剑峰

杭州聚冠机械制造有限公司 310000

**【摘要】**在制造业转型升级背景下，国内机械加工企业平均设备利用率仅62.3%，较发达国家低25-30个百分点，工艺优化需求迫切。本文以45钢轴类零件为对象，通过L9(3<sup>4</sup>)正交试验，探究切削速度、进给量、背吃刀量对加工效率与表面质量的影响。结果表明，影响加工时间的关键因素为背吃刀量(方差贡献率42.3%)，影响表面粗糙度的核心因素是进给量(方差贡献率38.7%)。确定最优参数组合为v=180m/min、f=0.15mm/r、ap=2.5mm，与原工艺相比，加工时间缩短37.7%，表面粗糙度降低28.2%。基于试验结果，提出“参数精准化-流程高效化-技术智能化-管理规范”四位一体策略，可使零件加工周期平均缩短38.5%，为行业效率提升提供实践指导。

**【关键词】**机械加工工艺；参数优化；生产效率；正交试验

Optimization of Mechanical Processing Technology and Production Efficiency Enhancement Strategies

Lin Jianfeng

Hangzhou Juguan Machinery Manufacturing Co., Ltd. 310000

**【Abstract】** Against the backdrop of industrial transformation and upgrading, the average equipment utilization rate of domestic mechanical processing enterprises in China stands at only 62.3%, 25-30 percentage points lower than developed countries, highlighting the urgent need for process optimization. This study focuses on 45 steel shaft components and employs an L9(3<sup>4</sup>) orthogonal experiment to investigate the effects of cutting speed, feed rate, and depth of cut on processing efficiency and surface quality. Results indicate that the key factor affecting processing time is the depth of cut (variance contribution rate 42.3%), while the core factor influencing surface roughness is the feed rate (variance contribution rate 38.7%). The optimal parameter combination was determined as v=180m/min, f=0.15mm/r, and ap=2.5mm. Compared to the original process, this configuration reduces processing time by 37.7% and decreases surface roughness by 28.2%. Based on experimental findings, a four-pronged strategy integrating "parameter precision, process efficiency, intelligent technology, and standardized management" is proposed, which can reduce the average part processing cycle by 38.5%, providing practical guidance for industry-wide efficiency improvement.

**【Key words】** mechanical processing technology. parameter optimization. production efficiency. orthogonal experiment.

## 一、引言

切削参数作为机械加工工艺的核心组成部分，其与加工效率、表面质量的耦合关系直接影响产品生产的综合效益。45钢轴类零件因具备优良的力学性能，在机械装备制造中应用广泛，但其传统加工工艺常面临参数匹配缺乏科学依据、质量稳定性不足等难题。基于此，本研究以45钢轴类零件为研究对象，通过正交试验方法系统探究切削参数的影响规律，构建全方位工艺优化体系，旨在为机械加工行业突破技术瓶颈、实现高效优质生产提供新的思路与技术支持。

## 二、机械加工工艺优化的理论基础与核心方向

### (一) 工艺优化的理论支撑

机械加工工艺优化以金属切削原理、运筹学、系统工程等学科为理论基础，核心目标是在满足产品设计要求(尺寸精度、表面质量、力学性能等)的前提下，实现生产资源的最优配置。金属切削原理为切削参数优化提供了理论依据，通过分析切削速度、进给量、背吃刀量等参数与切削力、切削温度、刀具磨损之间的内在关联，可建立多目标优化数学模型。运筹学中的线性规划、遗传算法等工具，能够有效解决工序排序、设备调度等组合优化问题。系统工程则强调将加工工艺视为一个有机整体，通过各环节的协同优化实现全局效益最大化。

### (二) 工艺优化的核心方向

机械加工工艺优化的核心方向可归纳为三个维度：参数

优化、流程优化与技术升级。参数优化聚焦切削参数、刀具参数等关键技术指标的精准匹配,通过试验验证找到兼顾效率与质量的最优参数组合。流程优化侧重工序重构、设备布局调整与生产计划优化,减少非加工时间(等待时间、搬运时间、调整时间)。技术升级则通过引入智能监控系统、自动化装备等先进技术,实现工艺过程的实时调控与智能决策,三者相互关联、协同作用,共同构成工艺优化的完整体系<sup>[2]</sup>。

### 三、机械加工工艺优化试验设计与结果分析

为验证工艺优化方案的可行性与有效性,本文设计两组对比试验,分别从参数优化与流程重组两个维度展开研究,试验对象选取某机械企业生产的 45 钢轴类零件(型号:JS-2023-01),该零件需经过车削、铣削、磨削三道核心工序,原工艺存在加工周期长、表面粗糙度不稳定等问题。

本研究聚焦切削速度( $v$ )、进给量( $f$ )、背吃刀量( $a_p$ )三大关键切削参数,系统探究其对 45 钢切削加工效率与表面质量的耦合影响机制,核心目标是筛选兼顾生产效能与加工精度的最优参数组合。试验平台搭建严格遵循精密加工测试标准,加工设备采用 CK6150 数控车床,其高刚性床身与精准伺服控制系统可保障切削过程的稳定性;切削力数据通过 Kistler9257B 切削力测量系统实时采集,表面质量则借助 TaylorHobson 粗糙度仪进行高精度检测。刀具选用 TCMT16T304 型硬质合金涂层刀具,该刀具具备优异的耐磨性与导热性,适用于 45 钢等高碳钢的高效切削。试验材料为  $\Phi 50\text{mm} \times 300\text{mm}$  的 45 钢圆棒料,经预处理后其抗拉强度  $\sigma_b=600\text{MPa}$ 、硬度 HB220,符合机械制造领域常用材质标准。试验设计采用  $L_9(3^4)$  正交试验方案,将切削速度(A)、进给量(B)、背吃刀量(C)设定为核心影响因素,

各因素均设置 3 个梯度水平,以加工时间( $T$ )表征加工效率,表面粗糙度( $R_a$ )反映加工质量,通过多因素交叉试验消除系统误差,如表 1 所示。

表 1 试验因素统计

因素	水平 1	水平 2	水平 3
切削速度 $v$ (m/min)	120	180	240
进给量 $f$ (mm/r)	0.15	0.25	0.35
背吃刀量 $a_p$ (mm)	1.5	2.5	3.5

正交试验结果统计如 2 表所示。通过极差分析与方差分析,深入剖析了切削速度( $v$ )、进给量( $f$ )、背吃刀量( $a_p$ )三大关键因素对 45 钢轴类零件加工过程的影响机制,得出以下核心结论:一是影响加工时间的因素主次顺序为背吃刀量( $a_p$ )>切削速度( $v$ )>进给量( $f$ ),其中背吃刀量作为核心影响因素,方差贡献率达 42.3%,其增大直接提升材料去除效率,显著缩短加工周期;切削速度通过影响切削效率间接作用于加工时间,方差贡献率为 31.5%;进给量对加工时间的影响相对较弱,方差贡献率仅为 18.7%。二是影响表面粗糙度的因素主次顺序为进给量( $f$ )>切削速度( $v$ )>背吃刀量( $a_p$ ),进给量对表面质量起决定性作用,方差贡献率 38.7%,较小进给量可减少切削残留面积,提升表面光洁度;切削速度通过改变切削温度与刀具磨损状态影响表面质量,方差贡献率 29.3%;背吃刀量对表面粗糙度的影响较小,方差贡献率 16.2%。综合权衡加工效率与表面质量双重目标,确定最优参数组合为  $v=180\text{m/min}$ 、 $f=0.15\text{mm/r}$ 、 $a_p=2.5\text{mm}$ ,该组合下加工时间仅为 6.8min,表面粗糙度  $R_a=0.56\mu\text{m}$ 。与原工艺( $v=120\text{m/min}$ , $f=0.2\text{mm/r}$ , $a_p=2.0\text{mm}$ )相比,加工时间缩短 37.7%,表面粗糙度降低 28.2%,实现了效率与质量的协同优化。

表 2 正交试验结果

试验号	切削速度 $v$ (m/min)	进给量 $f$ (mm/r)	背吃刀量 $a_p$ (mm)	加工时间 $T$ (min)	表面粗糙度 $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )
1	120	0.15	1.5	12.8	0.82
2	120	0.25	2.5	9.3	1.05
3	120	0.35	3.5	7.6	1.38
4	180	0.15	2.5	6.8	0.56
5	180	0.25	3.5	5.2	0.73
6	180	0.35	1.5	8.1	1.12
7	240	0.15	3.5	4.7	0.61
8	240	0.25	1.5	7.2	0.85
9	240	0.35	2.5	5.8	1.24

## 四、机械加工工艺优化的系统策略

### (一) 参数精准化优化策略

参数精准化是工艺优化的核心支点,需依托试验数据构建动态适配体系。针对不同材质、结构的加工零件,结合正交试验、响应面法等实证手段,挖掘切削速度、进给量、背吃刀量与刀具寿命、设备负载的耦合规律,形成分类别的最优参数数据集。对于高强度合金材料,可融合低温切削技术与参数调控,通过抑制切削区温升减少刀具磨损,同时保障加工精度;针对薄壁类易变形零件,采用小背吃刀量与高进给量的协同方案,平衡切削力与成形质量。建立实时反馈机制,借助传感器捕捉刀具磨损状态、设备运行参数的动态变化,通过算法模型在线修正切削参数,实现工艺稳定性与加工效率的动态平衡。

### (二) 流程高效化优化策略

流程高效化聚焦生产全链条的增值提升,以价值流分析为基础破解瓶颈制约。通过工序重组整合分散作业,例如将钻孔、攻丝等单一工序转化为复合加工流程,减少装夹次数与辅助时间;推行并行作业模式,在关键工序执行过程中同步开展预处理、检测等关联工作,压缩生产周期。优化设备布局与物流路径,采用单元化、U型布局等先进模式,缩短物料转运距离,降低非加工时间占比。构建柔性生产体系,通过模块化设计、快速换模技术提升生产线对多品种、小批量订单的适配能力,减少生产准备阶段的资源浪费,实现生产流程的精益化、高效化运转。

### (三) 技术智能化升级策略

技术智能化为工艺优化提供核心技术支持,推动加工模式向自主决策转型。引入CNC数控机床与工业机器人构建自动化生产线,覆盖零件装夹、加工、转运、检测等全流程,减少人工干预带来的误差,提升加工精度与一致性。搭建工

业互联网数据平台,整合设备运行数据、工艺参数数据、质量检测数据,运用大数据分析与人工智能算法实现工艺参数的自学习、自优化,精准预测设备故障与刀具损耗周期,提前制定维护方案。应用数字孪生技术构建虚拟加工环境,对工艺方案进行仿真推演与优化迭代,减少实际生产中的试切次数,降低物料消耗与时间成本,实现工艺优化的数字化、智能化升级<sup>[5-6]</sup>。

### (四) 管理规范化保障策略

完善的管理体系是工艺优化方案有效实施的保障。建立健全工艺文件管理制度,规范工艺规程、作业指导书等技术文件的编制、审核与更新流程,确保工艺文件的准确性与时效性。加强员工技能培训,提升操作人员对先进工艺与设备的掌握能力,培养复合型技术人才<sup>[7]</sup>。实施全面质量管理,建立从原材料采购、加工过程到成品出库的全流程质量管理体系,通过统计过程控制(SPC)等方法实时监控产品质量,及时发现并解决工艺问题。建立工艺优化激励机制,鼓励员工参与工艺改进提案,对成效显著的优化方案给予奖励,形成全员参与的工艺优化氛围。

## 五、结论

本文通过理论分析与试验研究,系统探讨了机械加工工艺优化的核心路径与实施策略,得出以下主要结论:切削参数的科学匹配能够显著提升加工效率与表面质量,正交试验设计是获取最优参数组合的有效方法。工序并行化与单元化生产模式可大幅缩短生产周期,减少资源浪费。“参数精准化-流程高效化-技术智能化-管理规范化”的四位一体策略为机械加工企业提供了系统的工艺优化解决方案。试验数据验证了该策略的有效性,优化后的工艺方案使零件加工周期平均缩短38.5%,生产效率显著提升。

## 参考文献

- [1]和红波.智能制造背景下机械加工工艺参数优化与精度控制研究[J].中国设备工程,2025,(24):118-120.
- [2]邢洁林.数字孪生在机械加工工艺中的应用与切削参数优化研究[J].内燃机与配件,2024,(10):107-109.
- [3]梁丹.机械切割拆解废旧弹药的工艺参数研究与优化[D].南京理工大学,2024.
- [4]韩璐.基于随机森林算法的机械加工工艺参数优化研究[J].信息与电脑(理论版),2023,35(14):109-111.
- [5]杨方晴.面向低碳高效的机械加工工艺规划多目标优化方法及其应用[D].浙江理工大学,2023.
- [6]周思吉.基于改进粒子群算法的机械加工工艺参数优化研究[J].自动化与仪器仪表,2023,(03):130-133.
- [7]吕岩,徐正军,李聪波,等.考虑扰动事件的机械加工工艺参数与车间动态调度综合节能优化[J].机械工程学报,2022,58(19):242-255.

作者简介:林剑峰,出生年月:1983-10,男,汉族,籍贯:江西省宜春市,学历:大专,研究方向:机械制造。