

机械制造通用工艺合理化设计与工程实践研究

张雷^{1,*}, 张园园²

¹徐州格雷安环保设备有限公司, 江苏徐州, 中国

²辽宁石油化工大学, 辽宁抚顺, 中国

*通讯作者

【摘要】机械制造通用工艺是装备生产的核心技术支撑, 其合理化设计直接影响产品精度、生产效率与企业经济效益。本文围绕切削加工、塑性成形、焊接、热处理、表面处理及装配调试等典型通用工艺, 系统分析工艺合理化设计的核心要点, 分析加工精度、表面质量、工序优化、误差控制、绿色制造等关键技术, 并结合工程应用提出有效的改进措施。研究表明, 通过标准化设计、精度闭环控制、工序精益化与绿色化融合, 可显著提升零件一致性、降低生产成本、增强装备可靠性。研究成果可为机械企业工艺升级、现场改进及技术成果发表提供参考。

【关键词】机械制造; 通用工艺; 合理化设计; 精度控制; 绿色制造; 工程实践

1. 引言

机械制造通用工艺是装备制造业从原材料到成品全流程的核心技术载体, 贯穿切削加工、塑性成形、焊接、热处理、表面处理及装配调试等关键环节, 其设计与实施水平直接决定产品精度、生产效率、服役寿命与企业经济效益[1]。在我国装备制造业向高端化、智能化、绿色化转型的背景下, 市场对机械产品的精度、可靠性与一致性提出了更高要求, 传统依赖经验制定工艺路线、工序分散、参数选择随意、过程管控薄弱等问题日益凸显, 导致零件尺寸波动大、废品率偏高、生产周期长、成本居高不下, 严重制约了企业的市场竞争力与可持续发展能力。

当前, 国内机械制造企业在通用工艺应用中仍普遍存在“重设备、轻工艺”、“重结果、轻过程”的现象, 工艺设计多依赖技术人员经验, 缺乏系统的理论支撑与量化分析, 导致工艺方案难以兼顾精度、效率与成本的平衡。同时, 随着多品种、小批量生产模式成为主流, 传统工艺体系在柔性化、标准化与可追溯性方面的短板进一步暴露, 难以适应快速变化的市场需求[2]。在此背景下, 开展机械制造通用工艺合理化设计研究, 通过系统梳理工艺核心要点、优化工艺路线、科学匹配工艺参数、强化全过程质量管控, 实现工艺体系的标准化、精益化与绿色化, 已成为企业提升核心竞争力、实现高质量发展的必然选择。

现有研究多围绕单一工艺环节的改进或

特定场景的应用, 缺乏对通用工艺体系的系统性整合与工程化实践总结[3]。本文基于机械制造行业的实际需求, 整合相关研究成果, 围绕切削加工、塑性成形、焊接、热处理、表面处理及装配调试等典型通用工艺, 系统分析工艺合理化设计的核心原则与技术要点, 分析加工精度控制、表面质量优化、工序精益化及绿色低碳融合等关键技术, 并结合企业工程应用案例, 提出有效的工艺改进措施与实施路径, 旨在为机械制造企业优化工艺体系、提升生产效益、推动技术升级提供系统的理论参考与实践指导。

2. 机械制造通用工艺体系与合理化设计要点

2.1 切削加工工艺合理化

切削加工是机械零件最常用的成形方式, 合理化设计重点围绕精度、效率、表面质量展开。应遵循“先粗后精、基准先行、先面后孔”的原则, 减少装夹次数与定位误差[4]。例如, 在加工箱体类零件时, 先加工基准平面, 再以该平面为基准加工孔系, 可有效保证孔与平面的位置精度。同时, 要合理匹配刀具与工件材料, 优化切削速度、进给量、切削深度, 兼顾刀具寿命与表面粗糙度。例如, 加工淬硬钢时, 应选用立方氮化硼(CBN)刀具, 并采用低速、小进给的切削参数, 以获得良好的表面质量。

2.2 塑性成形工艺合理化

锻造、冲压、挤压等塑性工艺以改善金属组织、提升强度为目标。合理设计锻造温度与变形速率, 可细化晶粒、优化金属流

线,提升重载零件的疲劳寿命。例如,汽车曲轴的锻造工艺,通过控制始锻温度和终锻温度,可使金属流线沿曲轴轮廓分布,有效提高其抗疲劳强度[5]。冲压工艺则需优化模具结构与冲压顺序,减少回弹、开裂与起皱,提高板材利用率。例如,采用分步冲压和压料筋设计,可有效控制复杂钣金件的成形精度。

2.3 焊接工艺合理化

焊接是结构件连接的核心工艺,重点控制变形、应力与缺陷。应根据材料厚度与结构选择合适的焊接方式,优化电流、电压、焊接速度与保护气体参数[6]。例如,对于厚板焊接,采用多层多道焊可有效降低焊接应力。同时,采用对称焊接、分段退焊、预紧与反变形等措施,可显著降低结构变形。强化焊缝检测,采用超声波探伤、X射线探伤等手段,避免气孔、夹渣、未焊透等缺陷,保障结构强度与密封性。

2.4 热处理工艺合理化

热处理用于调控材料硬度、强度、韧性与内应力。退火、正火可用于消除应力、均匀组织,为后续加工做准备;淬火与回火配合使用,可强化硬度与韧性的匹配[7]。例如,45钢的调质处理,可获得良好的综合力学性能,广泛应用于轴类、齿轮等零件。严格控制加热温度、保温时间与冷却速度,可防止开裂、变形与组织不均,保证零件性能的稳定性。

2.5 表面处理工艺合理化

表面处理提升耐磨、耐蚀与外观质量。喷砂、磷化、氧化可用于零件的预处理与防腐;电镀、喷涂可提升表面硬度与美观度;渗碳、渗氮等化学热处理则能显著提高表面耐磨性与疲劳强度,延长零件寿命[8]。例如,汽车齿轮的渗碳淬火处理,可使表面硬度达到HRC58-62,而心部保持良好的韧性,有效提升了齿轮的承载能力和使用寿命。

2.6 装配调试工艺合理化

装配直接决定设备运行精度与可靠性。应遵循“先组件后总装、先定位后紧固、先静态后动态”的原则。严格控制配合间隙、过盈量与紧固扭矩,采用专用工装和扭矩扳手,可有效提高装配效率和精度。完成几何精度调试、空载试车、负载试验,确保设备运行平稳、性能达标[9]。例如,在精密机床的装配中,通过对导轨、丝杠等关键部件的精度检测和调整,可保证机床的定位精度和

重复定位精度。

3.通用工艺合理化设计关键技术

3.1 加工精度闭环控制

精度是合理化设计的核心目标,误差来源主要包括机床几何误差、刀具磨损、装夹误差、热变形与受力变形。采用高精度夹具与统一基准,可有效降低定位误差。通过误差补偿、在线检测、实时修正,可缩小尺寸波动[10]。例如,在数控加工中,通过实时监测刀具磨损量并自动补偿,可保证加工尺寸的稳定性。同时,控制加工环境温度与振动,可提高长期精度稳定性。

3.2 表面质量优化技术

表面粗糙度直接影响配合精度、耐磨性与疲劳寿命。选用刀尖圆弧半径大、副偏角小的精车刀与磨具,可有效降低表面粗糙度。合理提高切削速度、优化进给量,可减少表面刀纹。规范切削液使用,降低摩擦与热损伤,可提升表面完整性。例如,在磨削加工中,采用低速、小进给的精磨工艺,并使用合适的磨削液。

3.3 工序精益化与标准化

精简冗余工序,推行成组技术,可实现工装、刀具、程序的通用化,提高多品种生产的适应性。建立标准工艺库,统一参数、路线、检验要求,可减少人为波动。利用数字化建模与仿真,可提前预判干涉、变形与误差,优化工艺方案。例如,通过工艺仿真软件,可在加工前模拟整个工艺过程,发现并解决潜在问题,避免返工和浪费。

3.4 绿色低碳工艺融合

推广干式/微量润滑切削,可降低废液排放与污染。提高材料利用率,实现边角料回收再利用,可减少资源浪费。优化工艺路线降低能耗,采用环保型处理剂与清洁生产方式,可实现绿色制造。例如,采用激光切割替代传统的等离子切割,可显著降低能耗和烟尘排放。

4.工程应用与实践效果

在企业实际生产中,推行通用工艺合理化设计后可实现明显提升:加工精度提升、废品率下降;生产效率提高、工序简化;表面质量改善、使用寿命延长;制造成本下降、绿色制造水平提升[11]。

以某企业的典型轴套类零件为例,原工艺路线为“粗车→调质→精车→磨削”,存在工序分散、变形大、合格率低(90%)等问题。经工艺合理化设计后,调整为“粗车

→半精车→高频感应淬火→精磨”，并优化了切削参数和装夹方式。实施后，产品合格率提升至 98.5%，单件成本降低 15%，生产周期缩短 25%，取得了显著的经济效益。

5. 结论

机械制造通用工艺合理化设计是提升精度、效率、可靠性与经济性的核心手段，覆盖切削、成形、焊接、热处理、表面处理、装配全流程。通过基准统一、参数优化、工序集约、误差补偿、在线管控等措施，可有效解决传统工艺波动大、一致性差、成本高的问题。标准化、数字化、绿色化融合是未来通用工艺发展方向，能够推动企业实现高质量、低成本、可持续制造。工程实践表明，工艺合理化投入少、见效快、可复制性强，适合机械制造企业全面推广，对提升技术水平与市场竞争力具有重要意义。

参考文献

- [1] 谌小婷. 机械制造工艺中的合理化机械设计分析[J]. 内燃机与配件, 2021 (18): 196-197.
- [2] 李红荣. 机械制造工艺合理化设计措施研究[J]. 造纸装备及材料, 2024, 53 (05): 77-79.
- [3] 王雅明, 胡月刚. 机械制造工艺中的合理化机械设计分析[J]. 农机使用与维修, 2022 (08): 57-59.
- [4] 丁海洋, 王猛. 机械制造工艺设计合理化探析[J]. 今日制造与升级, 2021 (10): 48-49.
- [5] 肖传军, 纪春波. 机械制造工艺设计合理化探析[J]. 科技创新与应用, 2021 (25): 93-95.
- [6] 崔娜. 机械制造工艺设计合理化研究[J]. 河北农机, 2023 (06): 52-54.
- [7] 朱加杰. 机械制造工艺设计合理化研究[J]. 大众标准化, 2023 (01): 168-170.
- [8] 牛力, 吴帆, 江拼. 智能制造技术在汽车制造中的应用与机械工艺优化[J]. 汽车维护与修理, 2026, (05): 115-116.
- [9] 蔡明顯. 基于智能制造的数字化生产工艺探析[J]. 锻压装备与制造技术, 2025, 60 (06): 113-116.
- [10] 张永延. 智能制造模式下机械加工工艺的标准化[J]. 大众标准化, 2025, (23): 26-28.
- [11] 杨祎展. 面向自动化装配线的机械制造工艺优化[J]. 凿岩机械气动工具, 2025, 51 (12): 122-124.