

机械制造工艺中的合理化机械设计探讨

李 强

四川宏华石油设备有限公司 四川 广汉 618300

摘 要: 本文聚焦机械制造工艺中的合理化机械设计, 阐述了机械制造工艺核心要素, 包括加工方法、设备能力等五方面, 以及合理化机械设计的内涵与原则。分析了机械设计不合理在加工难度与成本、装配效率等方面带来的负面影响。提出合理化设计方法, 如基于DFM的优化、工艺性分析与改进等。因此, 给出实施路径, 涵盖设计阶段协同优化、标准化与知识管理等内容, 旨在推动机械制造工艺与设计的深度融合, 提升制造业竞争力。

关键词: 机械设计; 制造工艺; 合理化设计; 工艺优化

引言: 在当今竞争激烈的制造业环境中, 机械制造工艺的高效性与机械设计的合理性紧密相连, 直接影响着产品质量、成本及生产效率。然而, 当前部分机械设计存在与制造工艺脱节的情况, 引发加工难度大、装配效率低、质量不稳定等诸多问题。深入探讨机械制造工艺中的合理化机械设计, 找出有效方法与实施路径, 对于提升制造业竞争力、推动行业可持续发展具有至关重要的现实意义。

1 机械制造工艺与合理化设计的内涵

1.1 机械制造工艺的核心要素

机械制造工艺核心要素含加工方法、设备能力、材料特性、工艺参数及质量控制五方面。加工方法决定零件成型路径, 切削加工适用于高精度零件, 铸造/锻造适合复杂结构件, 增材制造用于快速原型或轻量化设计。设备能力影响工艺可行性, 五轴联动加工中心可实现多面体零件一次装夹成型, 高精度磨床圆度误差需 $\leq 0.001\text{mm}$ 以满足液压阀芯密封要求; 材料特性含硬度、韧性等, 高强度钢切削力较普通钢高30%, 需优化刀具角度或用低温冷却工艺; 铝合金易粘刀, 需选涂层刀具或提高切削速度。工艺参数需试验优化, 如钛合金加工需平衡切削速度防表面硬化与保效率, 且要结合材料可加工性等级确定; 质量控制靠在线检测与统计过程控制, 如发动机曲轴连杆颈直径需控制在 $\phi 50 \pm 0.005\text{mm}$, 每20件抽检1次并调整机床补偿值。五要素协同是工艺稳定关键, 曾有航空结构件因未考虑材料热膨胀系数, 加工后变形超差0.3mm, 返工成本增12万元。

1.2 合理化机械设计的定义

合理化机械设计是以制造工艺为导向, 通过多种手段实现产品全生命周期成本最低、质量最优的设计方法。其核心原则包括可制造性, 设计要符合设备能力; 经济性, 借标准化、模块化减少非标零件; 质量稳定

性, 减少装配与热变形风险; 绿色性, 优先选可回收材料与低能耗工艺^[1]。合理化设计需贯穿产品全设计阶段, 如汽车变速器设计, 经DFM分析整合齿轮、更换加工方式, 减工序、提利用率。其本质是设计-工艺深度融合, 构建“易制造、低成本、高可靠”产品基因, 助力制造业升级。

2 机械设计不合理对制造工艺的影响

2.1 加工难度与成本增加

机械设计不合理会直接导致加工难度上升, 进而推高制造成本, 这一问题在零件结构与材料选择不当的情况下尤为明显。结构设计中, 若零件带有无过渡圆角的尖锐棱角、深径比超常规的深孔或过薄的薄壁结构, 常规加工设备与刀具将难以适配, 需额外采购专用设备或定制刀具, 不仅延长加工周期, 还会增加设备与刀具的采购成本。比如深孔加工时, 深径比过大会导致常规钻床出现钻头偏摆、排屑难题, 使孔壁粗糙度不达标, 此时需更换专用深孔加工设备并配备特殊冷却刀具, 加工成本与时间都会明显增加。此外, 设计混乱如尺寸标注不清、基准选择不当, 会增加加工工序与装夹调整次数, 进一步推高成本。

2.2 装配效率低下

机械设计不合理会让产品装配工序变复杂、难度增加, 最终导致装配效率显著下降, 主要体现在装配空间、配合精度与导向结构三方面。装配空间不足时, 零件布局过紧凑或关键装配部位被遮挡, 会使装配工具无法正常使用, 工人需用非常规姿势或拆卸周边零件才能装配, 大幅延长时间。以变速箱总成为例, 轴承座安装空间预留不够, 常规扳手无法操作, 工人需先拆相邻齿轮组件才能安装轴承座, 原本简短的工序会大幅延长。配合精度设计不当, 如间隙过小或过盈量过大, 会让零件装配困难, 需借助加热、加压等外力或专用设备, 不

仅增加工时，还可能损伤零件^[2]。像电机端盖与机壳过盈量超标，装配时需加热端盖才能压入，冷却后还需检查配合面变形情况，装配时间增加且合格率降低。缺乏定位销、导向柱等导向结构，会导致零件对位困难，工人需反复调整位置，如减速器箱体与箱盖仅靠螺栓孔定位，需多次调整才能对齐，装配时间增加且易出现同轴度超标问题。

2.3 质量稳定性问题

机械设计不合理是产品质量稳定性差的重要原因，主要表现为零件加工质量波动大、装配精度难保证与使用中故障频发。零件加工时，若设计存在应力集中区域、加工余量不均或尺寸公差标注不合理，零件易出现变形、裂纹等缺陷，且质量波动范围扩大。比如工程机械的悬臂梁，根部转角无圆角会产生应力集中，加工冷却后易出现微裂纹，同一批次零件的几何精度误差也会超出合理范围，影响零件强度与后续装配。装配精度方面，设计缺乏有效定位约束机制或配合关系不当，会使装配后产品的几何与运动精度不达标，且批次差异明显。如数控机床导轨滑块配合面无防错结构，装配时易装反，导致滑块运动阻力增大，同一批次机床定位精度误差超设计要求。使用过程中，设计不合理会降低产品可靠性，如水泵叶轮叶片角度不当，运行时水流冲击应力分布不均，叶片根部易疲劳磨损，产品平均无故障工作时间远低于行业标准，增加用户维护成本并损害企业声誉，同时还会降低产品合格率，提高返工返修率与售后成本。

2.4 资源与能源浪费

机械设计不合理严重违背绿色制造理念，造成资源与能源的多方面浪费。原材料上，零件设计若未考虑材料利用率，或加工余量过大，会使大量原材料被切除。像重型机械法兰零件，整体锻造毛坯尺寸远超成品，加工废料多，长期生产浪费钢材、增加采购成本。且零件通用性差，企业需储备多种专用原材料，库存成本与积压风险上升。能源方面，设计不合理使加工难度增加、装配效率降低，延长设备运行与人工操作时间，多消耗电能、热能等。如汽车零部件壳体因设计复杂型腔用电火花加工，单位时间耗电量远超常规铣削，加工时间还长，每件零件能源消耗大增，长期浪费大量电能。人力资源上，加工与装配难度增加，要求工人技能更高，操作中需更多时间调整检验。如电子产品外壳卡扣结构精细，装配时工人反复调试，每个零件装配时间延长，车间工时利用率降低，造成人力浪费、推高人工成本。

3 机械制造工艺中的合理化设计方法

3.1 基于DFM（面向制造的设计）的优化

基于DFM的优化核心是在设计初期就充分考虑制造工艺的约束与需求，打破“设计后适配工艺”的传统模式，实现设计与制造的协同。在零件结构设计上，需遵循简化原则，避免难加工特征，比如将分散的孔整合为同轴或对称结构，减少装夹调整次数；对深孔结构进行优化，降低加工难度；在零件转角处设置合理圆角，防止刀具崩损与应力集中。材料选择环节，需摒弃“性能越高越好”的误区，结合使用场景与加工能力，挑选易加工、性价比高的材料，同时确保材料与加工工艺适配，避免因材料特性增加加工复杂度。此外，还需结合现有工艺设备能力设计产品，不盲目追求复杂结构，必要时借助专业DFM软件识别设计中的工艺问题，及时优化，从源头提升零件可制造性，降低后续生产难度^[3]。

3.2 工艺性分析与改进

工艺性分析与改进贯穿设计全流程，通过对设计方案的工艺可行性评估，解决设计与工艺不匹配问题。方案设计阶段，重点分析整体结构的工艺适配性，比如判断产品是否适合模块化装配、关键零件能否用常规工艺加工，若发现工艺无法满足，及时调整结构设计。详细设计阶段，深入剖析零件细节，包括尺寸公差、表面粗糙度、加工余量等，检查是否超出常规加工能力，若存在问题，通过调整设计参数或选择适配工艺解决。改进过程中，针对不同工艺问题制定针对性方案，如零件加工变形可通过增加加强筋、减小加工余量改善；孔位干涉可调整孔位间距解决。设计验证阶段，通过试生产检验改进效果，若仍有问题，重复分析与改进，直至设计完全适配工艺。

3.3 模块化与参数化设计

模块化设计是按产品功能将整体拆分为独立模块，各模块具备统一接口与独立功能，可通过标准化连接件快速装配。这种设计能简化制造，各模块可由专业车间独立生产，采用适配工艺，同时模块可批量制造与灵活组合，满足不同产品需求，减少新品开发周期与成本。参数化设计则是将零件关键尺寸设为参数，建立参数化模型，当需要相似零件时，只需调整参数即可生成新模型，无需重新设计。该设计能提高设计效率，保证零件尺寸一致性，减少加工误差，同时便于工艺参数复用，降低工艺调整难度，二者结合可实现设计复用、工艺简化与批量生产的高效协同，提升整体制造效率。

3.4 绿色制造理念融入设计

绿色制造理念融入设计需从材料、结构、工艺三方面入手，减少生产与使用过程的环境影响。材料选择

上, 优先选用环保、可回收材料, 避免有毒有害材料, 同时考虑材料利用率, 减少废料产生。结构设计时, 采用简化结构与模块化设计, 方便产品报废后拆解回收, 减少资源浪费; 优化零件结构, 降低材料消耗, 比如通过拓扑优化去除冗余材料, 保证强度的同时减少材料用量。工艺适配方面, 选择低能耗、低污染工艺, 避免高能耗、高排放加工方式, 同时考虑加工过程中的废弃物处理, 减少环境污染。通过将绿色理念贯穿设计全程, 既能降低企业资源与能源消耗, 又能减少对环境的负面影响, 符合可持续发展要求。

4 合理化设计的实施路径

4.1 设计阶段协同优化

设计阶段协同优化需打破设计、工艺、生产部门的信息壁垒, 建立跨部门协作机制。设计初期, 工艺部门需提前介入, 向设计团队反馈制造工艺的约束条件与可行性建议, 避免设计方案脱离实际生产能力。在方案评审环节, 组织设计、工艺、生产人员共同参与, 从功能实现、工艺适配、生产效率等多维度评估方案, 及时发现并修正设计中的不合理之处。设计过程中, 通过定期沟通会议同步进度, 针对出现的工艺矛盾, 共同探讨解决方案, 例如当设计的零件结构与现有加工设备不匹配时, 联合制定结构优化或设备适配调整方案, 确保设计与工艺始终保持协同, 从源头降低后续生产风险。

4.2 标准化与知识管理

标准化与知识管理是保障合理化设计持续推进的关键。在标准化方面, 需建立完善的设计标准体系, 包括零件尺寸标准、接口标准、材料选用标准等, 规范设计行为, 减少因设计差异导致的工艺复杂度增加。同时, 推广使用标准件与通用件, 降低零件制造与装配难度。知识管理层面, 需收集整理过往合理化设计案例、工艺优化经验、常见问题解决方案等, 建立知识库并定期更新^[4]。通过培训、案例分享等方式, 将知识传递给设计团队, 帮助设计人员规避常见设计误区, 借鉴成熟经验, 提升整体设计水平, 实现设计知识的高效复用与传承。

4.3 数字化工具应用

数字化工具应用能为合理化设计提供技术支撑, 提升设计精度与效率。在设计环节, 借助三维建模软件构建零件与产品模型, 直观呈现结构细节, 便于提前发现装配

干涉、结构不合理等问题。利用仿真分析工具, 对零件的力学性能、加工过程进行模拟, 预测设计方案的可行性与潜在风险, 例如通过加工仿真模拟零件切削过程, 优化加工路径, 减少实际加工中的误差。此外, 采用产品数据管理系统, 对设计数据、工艺文件进行统一管理, 确保数据的准确性与共享性, 避免因数据混乱导致的设计与工艺脱节, 为跨部门协作提供高效的数据支持。

4.4 持续改进机制

持续改进机制需建立在对设计与生产过程的动态监控基础上。通过收集生产过程中的质量反馈、工艺难题、成本数据等信息, 分析设计方案存在的不足, 例如针对某类零件加工合格率低的问题, 追溯设计源头, 查找结构或参数设计的不合理之处。定期组织设计与工艺团队开展复盘会议, 总结设计经验与教训, 制定改进措施并应用于后续设计项目。同时, 关注行业技术发展与市场需求变化, 引入先进的设计理念与工艺技术, 不断优化设计方法与标准, 推动合理化设计水平持续提升, 适应制造业高质量发展需求。

结束语

机械制造工艺中的合理化机械设计是提升制造业水平的关键。通过深入剖析机械制造工艺要素与合理化设计内涵, 明确不合理设计带来的诸多问题, 并从设计方法与实施路径着手, 为设计人员提供系统指导。合理化设计需各方协同, 借助标准化、数字化工具与持续改进机制, 不断优化。未来, 随着技术发展, 合理化设计将更加完善, 推动机械制造业向高效、优质、绿色方向迈进, 在全球竞争中占据优势, 为我国制造业转型升级提供坚实支撑。

参考文献

- [1]何启利.机械制造工艺中的合理化机械设计探讨[J].模具制造, 2025, 25(2): 208-210.
- [2]王猛.机械制造工艺中的合理化机械设计探讨[J].电脑爱好者(电子刊), 2020(11): 2725-2726.
- [3]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.
- [4]胡志远.机械制造加工工艺合理化的机械设计制造探讨[J].河北农机, 2021(7):72-73.