

机械制造工艺优化背景下机械设计策略选择

周伟山

金川集团金昌水泥有限责任公司

DOI: 10.12238/jpm.v6i11.8561

[摘要] 在全球制造业向数字化、绿色化深度转型的浪潮下，机械制造工艺优化已成为推动产业升级的核心引擎，为机械设计策略选择奠定了技术变革与市场需求交织的时代背景。当前，“工业 4.0”与“中国制造 2025”战略深入推进，智能化、绿色化、模块化三大趋势相互交织，重塑了产品功能实现路径与行业发展范式。基于此，研究针对机械制造工艺及机械设计优化展开研究，分析了机械制造的工艺流程，并提出了几点在机械制造工艺优化背景下的机械设计策略，旨在充分运用新型设计理念与制造工艺，优化机械设计，助推机械工业的可持续发展。

[关键词] 机械制造；机械设计；策略

Selection of Mechanical Design Strategies under the Background of Optimizing Mechanical Manufacturing Processes

Zhou Weishan

Jinchuan Group Jinchang Cement Co., Ltd.

[Abstract] In the wave of global manufacturing industry's deep transformation towards digitization and greenization, the optimization of mechanical manufacturing processes has become the core engine driving industrial upgrading, laying the foundation for the interweaving of technological changes and market demand in the selection of mechanical design strategies. Currently, with the deepening of the "Industry 4.0" and "Made in China 2025" strategies, the three major trends of intelligence, greenness, and modularity are intertwined, reshaping the path of product function realization and industry development paradigm. Based on this, the study focuses on the optimization of mechanical manufacturing processes and mechanical design, analyzes the process flow of mechanical manufacturing, and proposes several mechanical design strategies in the context of mechanical manufacturing process optimization. The aim is to fully utilize new design concepts and manufacturing processes, optimize mechanical design, and promote the sustainable development of the mechanical industry.

[Key words] mechanical manufacturing；Mechanical design；strategy

一、引言

机械制造业作为国民经济的战略性支柱产业，其发展水平直接决定了装备工业的核心竞争力，更深度渗透至汽车、航空航天、能源装备、工程机械等关键领域，成为支撑基础设施建

设、高端产业升级与民生保障的“工业脊梁”^[1]。从大型发电机组的核心部件到精密医疗器械的微型结构，机械制造产品的性能与质量，直接影响着各行业的生产效率、安全标准与技术突破边界，堪称推动产业体系协同发展的“纽带型产业”。随

着全球新一轮科技革命与产业变革的加速演进，传统机械制造方式正面临前所未有的挑战^[2]。技术迭代速度呈现“指数级”提升，5G、工业互联网、人工智能等新技术与制造环节深度融合，推动生产模式从“规模化量产”向“定制化柔性生产”转型，机械设计也要不断创新改革。机械设计不仅要考虑性能、成本、材料等因素，还应当与制造工艺紧密结合，实现产品设计的高效性和可制造性。

表1 原材料加工工艺流程阶段性总结

阶段	流程	具体做法
预处理阶段	热轧→退火处理→喷砂工艺 /酸洗工艺	将材料加热至Ac ₃ 以上30~50℃，保温2~4h后随炉缓冷，通过重构金属内部晶粒结构消除内应力，避免后续加工中出现开裂，若原材料表面存在氧化皮或锈蚀，则采用喷砂工艺或酸洗工艺去除氧化层后立即用碱液中和，确保表面粗糙度达Ra≤6.3μm。
塑形加工阶段	热锻→冲压工艺→切削加工 →铣削工艺	通过锻锤或压力机对金属施加冲击力，使材料发生塑性变形以获得近似零件形状的锻坯，通过冲床与模具实现剪切、弯曲、拉伸，对于精度要求较高的零件，还需进行切削加工预处理或铣削工艺。
精密改性阶段	渗碳处理、电镀工艺	将低碳钢置于900~950℃渗碳介质中保温3~6h，使表面碳含量提升至0.8%~1.2%；通过电解作用在金属表面形成5~15μm镀层，增强耐腐蚀性。

(二) 工件装夹

工件装夹是机械制造加工前的核心准备环节，核心是通过“定位”与“夹紧”两个步骤，确保工件在加工过程中始终保持稳定姿态与精准位置，直接决定加工精度与生产效率。工件装夹中，上油口进油，下油口回油，活塞下移，连杆组拉动活动板绕支点摆动^[3]。

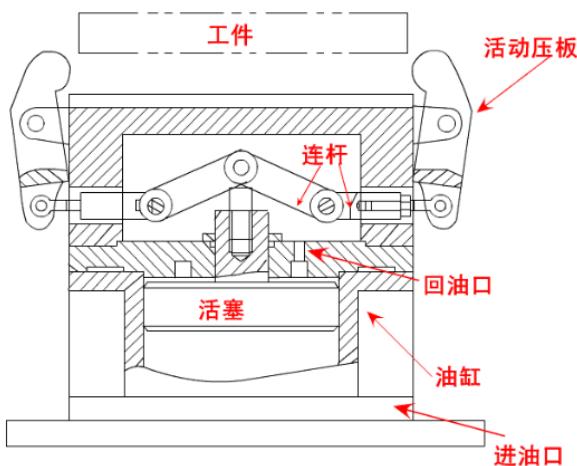


图1 工件装夹示意图

定位阶段需依据零件设计图纸选择合适的定位基准，优先采用“基准重合原则”，如加工轴类零件的外圆时，以两端中心孔为定位基准，与后续磨削工序基准一致，减少基准不重合误差，若工件无现成基准，则需先加工辅助基准，如为箱体类零件铣削出定位平面，定位基准面需保证表面粗糙度，通常Ra≤3.2μm与平面度误差≤0.02mm/m，避免因基准精度不足导致

二、机械制造工艺流程

(一) 原材料加工

机械制造的原材料加工是将金属型材、非金属材料转化为具备初步几何形态与加工基础的坯料或半成品的关键环节，核心流程可分为预处理、塑形加工、精密改性三大阶段，各环节工艺需根据材料特性与产品需求精准匹配。三个阶段的工艺流程总结见下表1：

表1 原材料加工工艺流程阶段性总结

阶段	流程	具体做法
预处理阶段	热轧→退火处理→喷砂工艺 /酸洗工艺	将材料加热至Ac ₃ 以上30~50℃，保温2~4h后随炉缓冷，通过重构金属内部晶粒结构消除内应力，避免后续加工中出现开裂，若原材料表面存在氧化皮或锈蚀，则采用喷砂工艺或酸洗工艺去除氧化层后立即用碱液中和，确保表面粗糙度达Ra≤6.3μm。
塑形加工阶段	热锻→冲压工艺→切削加工 →铣削工艺	通过锻锤或压力机对金属施加冲击力，使材料发生塑性变形以获得近似零件形状的锻坯，通过冲床与模具实现剪切、弯曲、拉伸，对于精度要求较高的零件，还需进行切削加工预处理或铣削工艺。
精密改性阶段	渗碳处理、电镀工艺	将低碳钢置于900~950℃渗碳介质中保温3~6h，使表面碳含量提升至0.8%~1.2%；通过电解作用在金属表面形成5~15μm镀层，增强耐腐蚀性。

(二) 工件装夹

夹紧阶段需根据工件材质、结构及加工受力情况选择适配夹具，如加工小型轴类零件常用三爪自定心卡盘，加工不规则形状的支架类零件则采用平口虎钳，而批量生产的盘类零件常使用专用夹具。最终实现加工尺寸与设计要求的精准匹配^[4]。

(三) 工件定位

工件定位是机械制造加工前确定工件在机床或夹具中精准位置的关键环节，其核心目标是使工件加工表面的设计尺寸、形位公差与机床运动轨迹保持预设对应关系，直接影响后续加工精度与产品一致性。定位操作需遵循基准选择原则，优先采用基准重合原则，即选择零件设计图纸中指定的设计基准作为定位基准，确保加工尺寸直接反映设计要求；若设计基准不便直接使用，则采用基准统一原则，以同一组基准定位不同加工表面，减少基准转换带来的误差累积。定位基准面需满足严格的精度要求，表面粗糙度需控制在合理范围，平面度误差需保持在较低水平，确保基准面能稳定支撑工件并传递位置精度。工件定位方式主要分为完全定位、不完全定位、过定位与欠定位，完全定位适用于加工要求高的复杂零件，需限制工件在空间中的六个自由度；不完全定位在保证加工精度的前提下，可适当减少自由度限制以简化定位结构；过定位会因基准面间误差导致工件变形或定位不稳定，需通过优化基准面精度或调整定位元件结构避免；欠定位则因自由度未充分限制，无法保证加工精度，属于严禁采用的定位方式^[5]。

三、机械制造工艺优化背景下机械设计策略

(一) 优化工序

在机械制造工艺优化的大背景下，优化工序已成为机械设计策略调整的核心切入点，其本质是通过设计环节与工艺环节的深度耦合，实现生产流程的高效化、低成本化与高质量化^[6]。

机械设计需打破传统“先设计、后适配工艺”的单向模式，在方案阶段就充分融入工序优化思维，例如通过模块化设计减少零部件加工工序数量，将原本分散的铣削、钻孔、打磨等工序整合为复合加工流程，借助多轴数控机床的一次性装夹完成多道工序，既减少工件装夹误差，又缩短生产周期，像汽车发动机缸体设计中，通过优化油路孔道布局，可将传统 5 次装夹加工精简为 2 次复合加工，工序效率提升超 60%。同时，设计环节需针对关键工序的工艺参数进行反向适配，比如在高精度齿轮设计中，根据滚齿、磨齿工序的加工能力确定齿形参数与材料选择，避免因设计参数超出工艺极限导致工序返工，此外，还可通过仿真技术模拟不同工序组合的生产效果，提前发现工序衔接中的瓶颈问题，如零部件运输路径冲突、工序间等待时间过长等，进而在设计阶段优化零部件结构布局与装配顺序，实现工序流程的无缝衔接，最终达成设计方案与工艺优化的协同统一，推动机械制造整体效益提升。

(二) 重视质量

在机械制造工艺优化背景下，重视质量的机械设计策略需以“工艺可行性”为质量保障基石，实现设计方案与质量管控的前置融合。设计环节需优先考虑材料选型与工艺特性的匹配度，例如针对高精度轴承设计，若选用高硬度合金材料，需同步结合热处理工艺参数确定材料成分比例，避免因材料硬度不足导致后期磨损超标，或因硬度过高增加切削工序难度，影响尺寸精度；同时，通过结构优化减少质量风险点，如将传统铸件的复杂内腔设计改为分体式焊接结构，既降低铸造工序的气孔、砂眼缺陷率，又便于焊接后探伤检测，提升整体可靠性。

此外，设计阶段需引入质量成本思维，通过模块化设计提高零部件通用性，减少定制化工序的质量波动，例如标准化电机安装接口，使不同型号设备的电机装配工序统一，降低因接口差异导致的装配误差；还可借助数字化仿真工具模拟零部件在加工、装配及使用过程中的受力与磨损情况，提前优化易失效结构，如对传动齿轮的齿根圆角进行强化设计，避免工艺优化中因切削参数调整引发应力集中问题，最终通过设计端的质量前置管控，为工艺优化提供稳定可靠的实施基础，实现“优质设计”与“高效工艺”的双向赋能。

(三) 控制精度

在机械制造工艺优化背景下，以设计端的精度预设为工艺优化提供明确目标与实施边界。设计环节首先需基于工艺实际

能力确定合理精度等级，避免盲目追求高精度导致工序复杂度提升，例如针对普通机床加工的零部件，将尺寸公差设定在 IT8-IT10 级，既符合工艺加工范围，又减少磨削等精细化工序的成本投入；同时，通过结构优化降低精度控制难度，如采用自定位结构替代传统人工找正设计，使零部件装配工序无需额外调整即可满足同轴度要求，减少工艺优化中因人为操作误差导致的精度波动。

此外，设计阶段需融入数字化精度管控思维，借助 CAD/CAM 软件建立三维模型，明确关键尺寸的工艺控制节点，如对轴类零件的圆柱度误差，在设计图纸中标注加工工序的切削参数与检测频次；还可通过误差补偿设计抵消工艺环节的精度损失，例如针对热处理工序导致的零部件变形，在设计时预留变形补偿量，确保工艺优化后最终精度仍符合使用要求，最终通过设计端对精度的系统性规划，使工艺优化在精度可控的前提下提升效率。

四、总结

合理化机械设计的关键在于设计与制造工艺的有效结合。传统的设计理念往往会导致工艺与设计脱节，影响产品质量和生产效率，而通过基于机械制造工艺的合理化设计，可以在设计初期考虑制造的可行性，减少后期的修改和调整，提高生产的整体效率。未来，随着科技的不断进步，基于制造工艺的机械设计将会迎来更广泛的发展空间，推动整个制造业转型升级。

【参考文献】

- [1]叶松华.机械制造工艺中的合理化机械设计研究[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术, 2024(9): 118-120.
- [2]于晓晖, 杨国涛.基于机械制造加工工艺合理化的机械设计制造探讨[J].汽车博览, 2024(1).
- [3]李振勇.电缆制作机械设计制造工艺技术探究[J].信息产业报道, 2024(1): 0156-0158.
- [4]刘春明.农业机械设计制造工艺与精密加工技术分析[J].河北农机, 2024(2): 45-47.
- [5]郑国彬.机械设计制造自动化工艺及精密加工技术研究[J].中国战略新兴产业, 2024(20): 160-162.
- [6]姚德国, 孙元庆, 崔雨.信息化机械设计制造工艺及精密加工技术的探析[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2023.

作者简介：周伟山，1989年7月12日，男，甘肃古浪，汉族，本科，助理工程师，研究方向：机械设计。