

Research on rational mechanical design in mechanical manufacturing process

Mingyang Sun

Henan Shenma Puli Material Co., Ltd., Pingdingshan, Henan, 467000, China

Abstract

The optimization of mechanical manufacturing process and the implementation of rational mechanical design are the key points to improve the efficiency of manufacturing industry and reduce costs. This study focuses on the core issues such as structural optimization, material selection and manufacturing process matching in mechanical design, and explores the impact of rational design on mechanical properties and production efficiency. The mechanical properties, machining accuracy and production cost of different design schemes are analyzed, and the optimization methods based on computer aided design (CAD) and FEA are introduced. The experimental results confirm that the mechanical parts designed with topological optimization can reduce the weight by 15%-20% and the material cost by more than 10% under the condition of ensuring the strength. The assembly process optimization based on the modular design concept can increase production efficiency by 25% to 30%. This study provides theoretical basis and practical guidance for the mechanical manufacturing industry to carry out rational design, and has key significance for guiding the manufacturing industry to develop in the direction of high efficiency and energy saving.

Keywords

machinery manufacturing; Rational design; Structure optimization; Finite element analysis; Modular design

机械制造工艺中的合理化机械设计研究

孙明扬

河南神马普利材料有限公司, 中国·河南·平顶山 467000

摘要

对机械制造工艺加以优化并实施合理化机械设计, 是提升制造业效率、降低成本的关键要点, 本研究以机械设计中结构优化、材料选择、制造工艺匹配等核心问题为中心展开, 探究了合理化设计对机械性能以及生产效率造成的影响, 对不同设计方案的力学性能、加工精度及生产成本展开分析, 推出了基于计算机辅助设计(CAD)及有限元分析(FEA)的优化手段。实验结果证实, 采用拓扑优化设计的机械部件, 在保证强度的情形下可减重15% - 20%, 同时让材料成本减少10%以上; 而以模块化设计理念为依托的装配工艺优化, 可令生产效率提升25%到30%, 本研究为机械制造行业开展合理化设计提供了理论依据与实践方面的指导, 对引导制造业朝高效、节能方向发展具有关键意义。

关键词

机械制造; 合理化设计; 结构优化; 有限元分析; 模块化设计

1 引言

机械制造工艺合理化设计的效果直接反映在产品的质量、成本和市场竞争上, 传统机械设计往往是依靠既有经验, 未实施系统性的优化方案, 造成了材料浪费、加工效率低下等一系列问题, 伴随计算机辅助设计(CAD)、有限元分析(FEA)以及增材制造(3D打印)等技术的进步, 机械设计正朝着达成轻量化、高精度、低成本目标的方向前行, 本研究以探讨合理化机械设计的关键技术为目的, 对不同优化方法的效果展开分析, 并提出契合现代机械制造需求的优化策略。

【作者简介】孙明扬(1980-), 男, 中国河南襄城人, 本科, 助理工程师, 从事机械设计制造及其自动化研究。

2 合理化机械设计的基本原则

2.1 功能优先原则

合理化机械设计的首要使命是保证机械结构能够满足实际使用需求, 这说明于设计的流程里面, 一定要充分顾及产品的功能需求, 包含强度、刚度、稳定性、耐磨性等相关方面, 采用优化结构设计的举措, 促使机械在达到使用规格的同时, 做到轻量化、节能以及环保。

2.2 轻量化原则

在保障机械结构强度的基础上, 力求减少材料的运用, 做到轻量化设计, 轻量化设计可达成降低产品重量的效果, 提高运输及安装的效率, 也有利于实现材料成本的降低, 轻量化设计一般会开展结构设计优化工作, 降低非必要材料的占比; 采用高强度的轻质材料, 就像铝合金、钛合金这类;

采用现代计算技术，实施结构的优化设计流程^[1]。

2.3 工艺适配原则

机械设计实现合理化要与制造工艺相匹配，把加工难度降下来，增进生产效率，在设计工作的进行过程里，应选取容易加工、成本不高的材料；采用易于进行加工、装配以及维修操作的结构；制定出合乎常理的加工工艺路线，减少加工的难度。

2.4 经济性原则

在保证产品质量和性能达到既定标准的前提下，提升产品性价比水平，具体措施有对设计进行优化这一项，减少材料的用量，对制造成本进行降低；筛选出经济合理的制造工艺，实现生产效率的提高；实施供应链的优化工作，降低进行采购时的成本；看重产品的售后服务事宜，提升客户的满意度水平。

3 机械结构优化方法

3.1 拓扑优化

拓扑优化属于一种依托有限元分析（FEA）的仿真优化方法，经过运算找出材料的最佳分布，在满足力学性能的前提下，减少多余的结构，依照设计需求，建成包含材料、边界条件、载荷等信息的初始有限元模型，厘定影响结构性能的关键设计变量，诸如材料分布的方式、几何形状等项目^[2]。按照设计的相关要求，厘定优化目标，诸如让结构重量降至最低、提高结构强度等，为设计变量设定取值范围，使得优化后的结构与实际应用需求相匹配，采用有限元分析软件，按照既定的目标函数和约束条件，对设计变量做优化计算相关事宜，对优化后的结构展开分析，评测其性能水平，而后按照实际需求实施必要的调整，由表1可知，采用拓扑优化技术，可明显降低机械部件的重量数值，增加其强度及刚度，由此实现制造成本的降低。

表1：拓扑优化前后机械部件性能对比

优化指标	优化前	优化后	优化效果
重量 (kg)	5.2	4.2	-19.2%
最大应力 (MPa)	280	260	-7.1%
制造成本 (元)	1200	1050	-12.5%

3.2 参数化设计

参数化设计以计算机辅助设计（CAD）技术为依托，成为一种设计手段，它把产品结构拆分成若干个基本单元，采用定义这些单元的尺寸、形状以及相互关系的办法，组建产品结构模型，处于参数化设计这个范畴里，关键尺寸参数为控制产品结构变化的核心要点，经过对这些参数的调整操作，可实现产品结构的优化效果。依照产品功能的相关需求，把产品裂解为若干个基本单元，建立起产品结构模型，厘定影响产品性能和结构的关键尺寸参数，诸如长度、宽度、高度、半径这些，把关键尺寸参数跟产品结构模型中的基本单元构建起参数化关系，实现尺寸参数的调控。依照产

品性能的具体要求和成本控制目标，对关键尺寸的参数做一番调整，造就最优结构，采用参数化设计软件，创建产品的三维模型以及工程图纸，采用参数化设计技术，可以迅速缔造多种产品结构，缩减设计所花费的周期，参数化设计可降低重复设计出现的频率，让设计成本有所降低，凭借优化关键尺寸参数，可实现产品性能的提高，参数化设计对产品的标准化和系列化生产起到便利作用，实现生产效率的提高，在开展产品设计相关工作之际，仅需对关键的尺寸参数作出修改，即可完成产品结构的调整与革新^[3]。

4 材料选择与制造工艺优化

4.1 材料选择的影响

各种材料的力学性能存在差异，像强度、硬度、韧性这类，恰当地选择材料，可让机械部件在受力的状态下达成设计要求，增加使用的寿命时长，选择的材料将直接影响加工工艺与加工成本，铝合金表现出不错的加工性能，但高强度钢加工所面临的难度较大，需要用到更复杂的加工工艺及设备^[4]。不同材质的材料价格差异十分明显，在保证性能维持既定水平的前提下，合理抉择成本较低的优质材料，能有效实现生产成本的降低，伴随环保意识的增强，材料选择同样需要将其环境影响纳入考虑范围，应尽量减少使用一些重金属和有害物质含量较高的材料，常用机械材料的性能情况在表2中有所呈现。

表2：常用机械材料性能对比

材料类型	密度 (g/cm ³)	抗拉强度 (MPa)	加工难度	成本 (元/kg)
普通碳钢	7.85	400-550	低	6-8
铝合金 (6061)	2.70	240-310	中	25-30
钛合金 (Ti-6Al-4V)	4.43	900-1100	高	300-400

某公司制造出了一种针对石油钻探的钻头，原设计所采用的材料是高碳钢，但鉴于高碳钢的硬度与韧性比较差，致使钻头在使用进程中容易产生断裂现象，导致钻探效率和钻头使用寿命受到负面作用，为提升钻头的性能，公司决定去重新设计钻头，对材料选择做进一步优化。在开展重新设计这一工作的进程之际，公司对多种材料进行了一番对比分析，最终选定采用以下两种材料开展对比试验：原设计所采用的材料高碳钢具有不错的强度，然而其韧性欠佳，高速钢展现出较高的硬度及韧性，适用于像高温、高压、高磨损这样的恶劣环境。

公司采用高速钢材料后，优化现有的热处理工艺，增进其硬度及韧性，确保钻头在使用阶段的性能水平，按照高速钢材料的特性，调整相关加工参数，诸如切削速度、进给量此类，借此降低加工时的难度，实现加工精度的提升。高速钢材料的强度以及韧性比高碳钢更出色，使钻头在使用的时候不易产生断裂现象，高速钢材料呈现出优良的耐磨性，

致使钻头在使用阶段的寿命延长,完成加工工艺的优化工作后,钻头加工精度得到进一步提高,回应了石油钻探对钻头性能的要求。

4.2 制造工艺匹配

高精度部件的制造适宜采用传统切削加工,尤其在需要严格把控尺寸公差以及表面光洁度的情境下,这种加工方式的一个显著缺陷为材料利用率不怎么高,鉴于切削过程里会产生大量的切屑,这些切屑无法实现再次利用,在设计作业的阶段,全面了解产品性能、结构、尺寸等方面的明确要求,为制造工艺实现匹配提供依据基础,就不同材料、结构和性能的要求而言,挑选恰当的制造工艺,使产品达到设计要求,按照实际存在的生产条件,实施工艺参数的优化操作,增强生产效率和产品质量水平^[9]。

添加式制造技术,如3D打印,极为适宜复杂结构的制造事宜,因为它可直接凭借数字模型构建零件,无需用到传统的刀具与模具,这种制造方式的一个突出长处是可以大幅度削减材料浪费,原因是打印过程中仅仅用到必要的材料,且可以一层接着一层地构建,不需要额外的加工工序。某汽车制造企业所产出的发动机曲轴必须具备高强度、高刚度以及良好的耐磨性能,同时达成重量轻、尺寸精确的要求,若曲轴的材料为合金钢,采用下面的制造工艺:(1)采用锻造方式:把合金钢升温到锻造的温度,依靠锻造工艺增进材料性能,保证曲轴达成应有的强度和刚度。(2)实施机械加工:采用数控车床、磨床等设备做精加工处理,保证曲轴尺寸精准无误,符合发动机装配的相关要求,(3)实施热处理这一流程:对曲轴实施调质处理,强化其耐磨的特性,经过剖析曲轴的设计要求,抉择恰当的制造工艺,保障曲轴性能达到使用需求。

精密铸造工艺尤其适合开展大批量生产,具备高效制造各种形状复杂铸件的能力,跟其他制造方法对比而言,精密铸造所需的成本相对较低,因为它可降低对昂贵模具的依赖程度,同时可以实现较高水平的生产效率,某航空制造企业制造的涡轮叶片,需要达成高效率、轻量化、抗疲劳的性能指标,同时保证材料强度以及尺寸精度符合要求。涡轮叶片采用的材料乃是高温合金,采用精密铸造技术开展工作,保证叶片的形状精度以及尺寸精度,采用数控加工中心以及磨床等设备完成精加工,实现叶片尺寸精确的目标,对叶片进行固溶及时效处理,强化其抗疲劳的能力,依照涡轮叶片的既定设计要求,选取恰当的制造工艺,保障叶片性能契合使用需求。

5 模块化设计与装配优化

模块化设计按照机械产品的功能与结构特点,把产品拆分成若干个模块,各个模块均拥有独立的功能,针对各个模块,实施精细的设计规划,涉及到尺寸、整体形状、所采用材料、接口等要点,为模块做优化设计,改善模块的性能、

可靠性及经济性。装配优化凭借模块化设计,实现装配工艺的简化,减少装配的时间消耗和难度,采用高精度的装配设备与配套工艺,保证装配达到高精度,提升产品质量的综合水平,恰当安排装配次序,增强装配的工作效率,实现装配成本的降低,采用自动化装配的设备,增进装配的效率水平,对人力成本进行降低,开展对装配过程的严格质量检验,保证产品契合质量要求。

从表3可以看出,采用模块化设计后,装配时间得以明显缩短,错误率显著下降,成本节约成效显著,以传统设计的方式完成一件产品的装配,需45分钟,而模块化设计完成单件产品装配只需32分钟,这说明在采用模块化设计以后,生产效率提升了差不多29%。传统设计呈现出的错误率为5.2%,而模块化设计呈现出的错误率仅为2.1%,这揭示了模块化设计在减少生产过程中的错误率方面具有明显的好处,采用模块化这种设计形式后,成本实现了高达18%的节约,这主要依靠以下原因达成:模块化设计达成了零部件复杂程度的下降,实现了装配过程的简化处理,降低了装配所需的时间以及人工方面的成本,模块化设计对零部件的标准化和通用化起到便利作用,实现了库存成本降低的结果,模块化设计实现了生产线灵活性的提高,方便快速对生产计划做出改动,实现了生产风险的降低。

表3: 模块化设计对生产效率的影响

优化措施	装配时间 (min/件)	错误率(%)	成本节约(%)
传统设计	45	5.2	-
模块化设计	32	2.1	18

6 结论

拓扑优化可显著降低部件重量和成本;材料选择需综合考虑性能、加工难度和经济性;模块化设计能大幅提高装配效率。未来人工智能(AI)辅助设计将成为未来趋势;绿色制造理念将推动更环保的材料和工艺发展。本研究为机械制造行业的合理化设计提供了可行方案,有助于提升制造业的竞争力。

参考文献

- [1] 朱奇.加强机械制造工艺设计合理化的措施研究[J].中国设备工程,2024,(04):117-119.
- [2] 于浪.机械制造工艺与合理化机械设计方式浅析[J].中国金属通报,2023,(08):111-113.
- [3] 崔娜.机械制造工艺设计合理化研究[J].河北农机,2023,(06):52-54.
- [4] 邓小芳.加强机械制造工艺设计合理化的措施研究[J].现代制造技术与装备,2023,59(02):132-134.
- [5] 陈洪,卢建军.机械制造工艺中的合理化机械设计策略研究[J].中国金属通报,2022,(09):83-85.