

绿色制造理念下的机械加工工艺优化研究

张家文 王 威 金彦霖

一拖(洛阳)柴油机有限公司 河南 洛阳 471000

摘 要: 本文聚焦绿色制造理念下机械加工工艺的优化。先阐述绿色制造理念内涵与重要性,剖析传统机械加工工艺在资源利用和环保方面的问题。接着从加工设备、切削参数、冷却润滑方式及工艺规划等维度探讨优化策略。绿色制造理念下的机械加工工艺优化可降低资源消耗与环境污染,提升企业经济效益与市场竞争力,对机械制造业可持续发展意义重大。

关键词: 绿色制造理念; 机械加工工艺; 工艺优化; 可持续发展

1 引言

在全球经济快速发展进程中,机械制造业作为工业基石,取得了令人瞩目的成就。然而,传统机械加工工艺在带来巨大经济效益的同时,也引发了严峻的环境和资源问题。大量能源被消耗,切削液等废弃物肆意排放,不可再生资源过度开采,不仅严重破坏了生态环境,也制约了机械制造业的可持续发展。在此背景下,绿色制造理念应运而生。它要求在产品的设计、制造、使用和回收等全生命周期中,综合考虑环境影响和资源效率,实现节能、降耗、减排和资源循环利用,以最小化对环境的负面影响,满足经济和社会发展需求。机械加工工艺作为机械制造的核心环节,其优化对于推动绿色制造理念在机械制造业的落地实施至关重要。

2 绿色制造理念概述

2.1 绿色制造理念的内涵

绿色制造是一种综合考虑环境影响和资源效率的现代制造模式。它不仅仅关注产品的制造过程,而是将产品的整个生命周期,包括设计、原材料采购、生产制造、包装运输、使用维护以及回收处理等各个环节纳入考虑范围,力求在每一个阶段都实现资源的高效利用和环境的最小影响。在绿色制造理念下,机械加工工艺的优化需要从多个方面入手。在产品的设计阶段,要考虑产品的可拆卸性、可回收性和可维护性,以便在产品寿命终结时能够方便地进行回收和再利用;在生产制造过程中,要采用节能、低污染的加工设备和工艺方法,优化加工参数,减少能源消耗和废弃物排放;同时,要加强对生产过程中的资源管理,提高原材料的利用率,降低生产成本。

2.2 绿色制造理念的重要性

2.2.1 环境保护的需要

传统机械加工工艺会产生大量的废气、废水和废

渣,其中含有大量的有害物质,如切削液中的重金属、油脂和化学添加剂等,这些废弃物如果未经有效处理直接排放到环境中,会对土壤、水源和空气造成严重污染,危害生态环境和人类健康。绿色制造理念强调减少废弃物排放和污染物的产生,通过优化机械加工工艺,采用环保型的加工方法和材料,能够有效降低对环境的负面影响,保护生态环境。

2.2.2 资源节约的需要

地球上的资源是有限的,尤其是不可再生资源,如煤炭、石油和金属矿石等。传统机械加工工艺往往存在资源利用率低、浪费严重的问题,例如在加工过程中会产生大量的切屑,这些切屑如果不能得到有效回收和再利用,就会造成金属资源的浪费^[1]。绿色制造理念倡导资源的循环利用和高效利用,通过优化机械加工工艺,提高原材料的利用率,回收和再利用废弃物中的有用资源,能够缓解资源短缺的压力,实现资源的可持续利用。

2.2.3 企业可持续发展的需要

在全球环保意识日益增强的今天,消费者对绿色产品的需求不断增加,政府也对企业的环保行为提出了更高的要求。企业如果能够积极采用绿色制造理念,优化机械加工工艺,不仅能够降低生产成本、提高产品质量,还能够提升企业的社会形象和品牌价值,增强市场竞争力。同时,绿色制造也有助于企业符合国家的环保政策和法规要求,避免因环境问题而面临的法律风险和经济损失,实现企业的可持续发展。

3 传统机械加工工艺存在的问题

3.1 资源利用效率低

传统机械加工工艺在资源利用方面存在诸多不合理之处。在原材料使用上,由于加工精度和工艺水平的限制,往往需要预留较大的加工余量,导致原材料的浪费。例如,在一些轴类零件的加工中,为了保证零件的

尺寸精度和表面质量,可能会将毛坯尺寸设计得较大,经过多道工序加工后,会产生大量的切屑,这些切屑中含有的金属材料未能得到充分利用。在能源消耗方面,传统加工设备大多能耗较高,且在加工过程中存在能源浪费现象。例如,一些机床在待机状态下仍然消耗大量电能,加工过程中的空行程、空运转等也会造成能源的无谓损耗。此外,传统工艺对辅助材料的使用也缺乏有效的控制,如切削液的用量往往较大,且部分切削液在使用后未经处理就直接排放,不仅浪费了资源,还对环境造成了污染。

3.2 环境污染问题严重

3.2.1 切削液污染

切削液在机械加工中起冷却、润滑、清洗和防锈作用,但传统切削液多含矿物油、添加剂和有害化学物质,如亚硝酸盐、酚类化合物等。加工中,切削液与切屑、工件表面杂质混合形成废液,未经处理直接排放会污染土壤和水体,破坏土壤生态平衡,影响植物生长,导致水体富营养化,危害水生生物生存。

3.2.2 废气排放

机械加工中的焊接、热处理等工艺会产生大量废气,含烟尘、有害气体(如一氧化碳、二氧化硫、氮氧化物等)和挥发性有机化合物(VOCs)。这些废气直接排放到大气中会形成雾霾、酸雨等环境问题,危害人体健康和生态环境。如长期暴露在含一氧化碳环境中会导致人体缺氧,引发头痛、头晕、恶心等症状;二氧化硫和氮氧化物是形成酸雨的主要物质,酸雨会腐蚀建筑物、破坏森林和农作物。

3.2.3 噪声污染

机械加工设备运行会产生强烈噪声,如机床切削噪声、空压机排气噪声等。长期处于高噪声环境中,会损害操作人员听力,引发听力下降、耳鸣等症状,还会影响其身心健康,导致工作效率下降、疲劳、烦躁等不良情绪,同时干扰周围环境,影响居民正常生活。

3.3 工艺规划不合理

传统机械加工工艺规划侧重于满足产品加工精度和质量要求,忽视资源节约和环境保护。工艺路线设计上,可能存在工序安排不合理、加工路线过长等问题,增加加工时间和能源消耗。如复杂零件加工中,为追求加工精度采用多道工序和多次装夹,不仅增加加工时间和生产成本,还提高零件加工误差累积风险。加工方法选择上,传统工艺倾向于采用成熟但资源消耗大、环境污染严重的加工方法,对新型绿色加工方法了解和应用不足^[2]。如孔加工中,多采用钻孔、扩孔、铰孔等常规方

法,较少考虑电解加工、激光加工等绿色加工技术,这些新技术具有加工精度高、效率高、无切削力、无切削热等优点,能减少资源消耗和环境污染。

4 绿色制造理念下机械加工工艺优化策略

4.1 加工设备的优化

4.1.1 选用节能型加工设备

随着科技进步,节能型加工设备不断涌现。企业在选购时应优先考虑节能型产品,如德国DMG MORI公司的部分高效节能数控机床,采用先进的伺服驱动技术和智能控制系统,能根据加工工件实际情况自动调整主轴转速、进给速度等参数,实现能源优化配置,相比传统机床可降低能源消耗20%-30%。

4.1.2 设备维护与升级

定期维护保养加工设备是确保其正常运行、提高能源利用效率的重要措施。通过定期检查、清洁、润滑和更换易损件等维护工作,可减少设备故障发生率,降低能耗。如定期清洗机床冷却系统,能保证冷却液循环畅通,提高冷却效果,减少因冷却不足导致的设备能耗增加。同时,企业应关注设备升级换代。老旧设备性能和能源利用效率可能无法满足绿色制造要求,企业可根据实际情况对老旧设备进行技术升级或淘汰更新,采用更先进的加工设备,提高生产效率和资源利用效率。

4.2 切削参数的优化

4.2.1 切削速度的优化

切削速度影响切削加工效率和切削力。合理选择切削速度可在保证加工质量前提下,降低能源消耗和切削液使用量。一般来说,提高切削速度可缩短加工时间,提高生产效率,但会增加切削力和切削温度,加剧刀具磨损,增加能源消耗。需通过实验和模拟分析找到最佳切削速度范围^[3]。例如,在对6061铝合金零件进行铣削加工时,通过实验发现,切削速度从100m/min提高到150m/min时,加工时间缩短33%,但刀具磨损有所增加;进一步提高到200m/min时,刀具磨损急剧增加,加工表面质量下降。综合分析确定最佳切削速度为150m/min,此时能在保证加工质量和刀具寿命前提下,实现较高加工效率和较低能源消耗。

4.2.2 进给量和背吃刀量的优化

合理选择进给量和背吃刀量可提高材料去除率,降低单位体积材料加工能耗。在保证刀具强度和加工质量前提下,适当增大进给量和背吃刀量可提高加工效率,减少切削次数,降低能源消耗和切削液使用量。例如,在对45钢零件进行车削加工时,对比不同进给量和背吃刀量组合下的加工效果,发现进给量从0.1mm/r增加到

0.2mm/r, 背吃刀量从2mm增加到3mm时, 材料去除率提高100%, 加工表面粗糙度值仅略有增加, 仍在允许范围内, 同时能源消耗和切削液使用量相应降低。

4.3 冷却润滑方式的优化

4.3.1 干式切削技术

干式切削指加工过程中不使用切削液的切削方法。与湿式切削相比, 它无切削液污染、节省切削液成本、减少废液处理。通过优化刀具材料和几何形状、采用合理切削参数以及改善加工环境等措施, 可实现高效、高质量切削加工。如采用涂层刀具进行干式切削可显著提高刀具耐磨性和热硬性, 减少刀具与工件间摩擦和热量产生。新型陶瓷刀具和金刚石刀具具有良好的干式切削性能, 能在高速切削条件下保持较高加工精度和表面质量。改善加工车间通风条件, 及时排除切削产生的热量和粉尘, 可为干式切削创造良好环境。

4.3.2 微量润滑 (MQL) 技术

微量润滑技术将少量润滑油与压缩空气混合后以雾状形式喷射到切削区域。与传统湿式切削相比, 它使用的润滑油量极少, 通常每分钟几毫升到几十毫升, 大大减少切削液使用量和废液排放, 同时能有效将润滑油输送到切削区域, 形成润滑膜, 减少刀具与工件间摩擦和磨损, 降低切削温度, 提高加工质量和刀具寿命^[4]。例如, 在对TC4钛合金零件进行钻孔加工时, 传统湿式切削每分钟需使用约10L切削液, 且易产生切屑粘连、刀具磨损严重等问题。采用MQL技术后, 每分钟仅使用20ml润滑油, 加工表面质量明显提高, 刀具寿命延长3倍以上, 同时减少切削液处理成本和环境污染。

4.4 工艺规划的优化

4.4.1 绿色工艺路线设计

绿色工艺路线设计应综合考虑资源节约和环境保护因素, 在满足产品加工精度和质量要求前提下, 尽量缩短加工路线, 减少加工工序和装夹次数。采用先进加工工艺和方法, 如精密铸造、锻造、粉末冶金等近净成形技术, 可减少原材料切削加工量, 提高材料利用率。例如, 在设计复杂齿轮零件加工工艺路线时, 传统工艺需经多道车削、铣削、滚齿等工序, 加工路线长, 能源

消耗和加工成本高。采用绿色工艺路线设计, 先采用精密锻造方法制造齿轮毛坯, 使其接近最终零件形状和尺寸, 然后仅对少量关键部位进行精加工, 大大缩短加工路线, 减少加工时间和能源消耗, 提高材料利用率。

4.4.2 加工方法的选择与组合

选择加工方法时, 应优先考虑绿色加工方法, 如激光加工、电子束加工、超声波加工等。这些新型加工方法具有加工精度高、效率高、无切削力、无切削热等优点, 能有效减少资源消耗和环境污染。根据零件加工要求和特点, 合理组合不同加工方法, 可充分发挥各方法优势, 实现高效、绿色加工。例如, 加工微细孔时, 传统钻孔方法因刀具尺寸限制难以加工出高质量微细孔, 且易产生毛刺、裂纹等缺陷。采用激光加工方法, 可精确控制激光束能量和聚焦位置, 在工件上直接打出微细孔, 无需刀具, 避免刀具磨损和切削液使用, 加工精度高、表面质量好。对于形状复杂零件, 可先采用增材制造技术 (如3D打印) 制造零件雏形, 再用减材制造技术 (如数控铣削) 进行精加工, 实现两种方法优势互补。

结语

综上所述, 绿色制造理念下的机械加工工艺优化是机械制造业可持续发展的必由之路。传统机械加工工艺在资源利用、环境保护和工艺规划等方面存在诸多问题, 而通过加工设备、切削参数、冷却润滑方式及工艺规划等多维度优化策略, 可有效降低资源消耗与环境污染, 提升企业经济效益与市场竞争力。未来, 机械制造企业应积极践行绿色制造理念, 推动行业绿色转型。

参考文献

- [1]温艳群.智能制造与绿色环保协同发展在机械加工领域的探索[J].绿色中国,2025,(03):160-162.
- [2]赵雪.绿色制造理念下机械加工过程能耗分析与技术改进[J].张江科技评论,2024,(12):66-68.
- [3]索振国.绿色机械制造工艺在切削加工中的应用分析[J].中国机械,2023,(18):116-119.
- [4]邓皓月.绿色机械加工技术的应用和发展[J].自动化应用,2023,64(22):3-5.