

机械零件增材制造工艺改进及性能研究

韦宏胜

红光电气集团有限公司 浙江 温州 325604

摘要：增材制造技术为机械零件生产带来变革，但成型精度、材料适用及生产效率等问题制约其发展。通过优化成型工艺参数、开发新型材料及提升设备自动化水平，对增材制造工艺实施改进。实验设计对比改进前后机械零件性能，经硬度、拉伸强度等测试发现，改进后零件尺寸精度提升15%，力学性能增强20%，生产效率提高30%。改进策略有效解决现存问题，显著提升机械零件增材制造的工艺水平与产品质量。

关键词：机械零件增材制造；工艺改进；性能

引言

在制造业转型升级的背景下，增材制造技术凭借快速成型、个性化定制等优势，成为机械零件制造领域的研究热点。然而，实际应用中成型精度不足导致零件尺寸偏差、材料适用范围窄限制应用场景、生产效率低难以满足批量需求等问题日益凸显。本文针对这些问题，从工艺参数优化、新材料开发、设备智能化升级等方面提出改进策略，并通过实验研究验证改进工艺对机械零件性能的影响，旨在推动增材制造技术在机械领域的高质量发展。

1 机械零件增材制造工艺原理

增材制造作为先进制造技术，通过离散-堆积原理实现机械零件成型，区别于传统减材制造与等材制造方式，其以三维数字模型为基础，将零件实体结构沿特定方向进行切片离散，通过逐层堆积材料最终构建出完整零件。在具体工艺实施过程中，根据材料类型与成型机制不同，衍生出多种技术路线，如熔融沉积成型（FDM）、光固化成型（SLA）、选择性激光烧结（SLS）及电子束熔化（EBM）等。熔融沉积成型技术利用高温喷头将热塑性丝状材料加热至熔融态，在计算机控制下按照切片数据路径逐层挤出沉积，材料冷却凝固后与下层完成粘结，重复该过程直至零件成型，常用于塑料类零件的快速原型制造；光固化成型则借助紫外激光或数字光处理技术，将液态光敏树脂逐点或逐层照射固化，利用树脂分子在光引发剂作用下发生聚合反应，实现材料从液态到固态的转变，适用于制造具有复杂几何形状的高精度零件。选择性激光烧结技术采用高能量激光束，将尼龙、金属粉末等材料逐层烧结，激光束按照切片轮廓信息选择性作用于粉末床表面，使粉末颗粒在高温下相互熔合，未烧结的粉末可作为支撑材料，该技术能够直接制造金属功能零件；电子束熔化技术则利

用高能电子束作为热源，在真空环境下对钛合金、不锈钢等金属粉末进行快速熔化与凝固，电子束的高能量密度使材料快速成型且组织致密，适合制造航空航天领域的高性能金属构件。这些增材制造工艺通过数字化驱动与材料逐层累加，突破了传统制造对复杂结构的限制，实现了零件轻量化设计与一体化制造，为机械零件的创新设计与高效生产提供了新路径。

2 机械零件增材制造工艺现存问题分析

2.1 成型精度不足

增材制造通过层层堆积材料构建零件，这一过程易受多种因素干扰而致使成型精度欠佳。从设备层面看，喷头或激光器的定位精度有限，在微小特征的构建中，偏差会被累积放大。例如，在制造航空发动机的复杂叶片时，细微的尺寸偏差就可能改变叶片的气动外形，影响发动机性能。材料特性同样影响显著，像金属粉末在熔化和凝固过程中，因热胀冷缩产生的收缩变形，难以精准控制，导致零件尺寸偏离设计值。工艺参数方面，激光功率、扫描速度、层厚等参数的微小波动，都会改变材料的熔化和堆积状态，造成表面粗糙度增加、形状精度降低。以塑料丝材的熔融沉积为例，层与层之间的粘结不紧密，易形成台阶效应，严重影响零件表面质量与尺寸精度。后处理环节中，去除支撑结构时，若操作不当，会对零件本体造成损伤，进一步降低成型精度。

2.2 材料适用性有限

目前，可用于增材制造的材料种类远不及传统制造丰富。在金属材料领域，虽常见的钛合金、铝合金等可用于增材制造，但对于一些特殊性能要求的金属，如超高强度且高韧性的合金，适配的增材制造材料仍匮乏。在高温、高压等极端工况下服役的机械零件，现有的增材制造材料难以满足其性能需求。塑料材料方面，多数增材制造用塑料在强度、耐热性上表现欠佳，限制了其

在机械结构件中的应用。不同增材制造工艺对材料形态与特性要求严苛,并非所有材料都能通过粉末、丝状等形式适用于各类工艺。例如,选择性激光烧结要求粉末材料具有良好的流动性与烧结特性,部分材料难以满足,导致材料选择范围受限。新材料的研发与应用于增材制造的进程缓慢,从材料研发到成熟应用于增材制造工艺,需历经大量实验与验证,周期长、成本高,进一步制约了材料的拓展^[1]。

2.3 生产效率较低

增材制造逐层堆积的成型方式,决定了其生产效率在大规模制造中处于劣势。相比传统的铸造、锻造等工艺,增材制造构建一个零件需花费大量时间。如制造一个中等尺寸的机械齿轮,传统锻造可能数小时即可完成,而增材制造可能需要数天。打印速度受限于设备性能与工艺原理,提高打印速度往往会牺牲成型质量,如增加喷头挤出速度,易导致材料堆积不均匀,影响零件精度。在打印过程中,为保证零件质量,需进行频繁的检测与参数调整,这进一步延长了生产时间。后处理工序繁琐,像金属零件打印后,需进行热处理、打磨、抛光等多道工序,且多为人工操作,效率低下。例如,去除金属零件复杂内部结构中的支撑材料,需精细操作,耗时较长。设备在长时间运行中,稳定性会下降,需定期维护与校准,导致设备实际有效工作时间缩短,严重影响生产效率。

3 机械零件增材制造工艺改进策略

3.1 优化成型工艺参数

机械零件增材制造中,成型工艺参数的精准调控是确保零件质量与性能的核心要素。激光功率、扫描速度、层厚、填充密度等参数间存在复杂耦合关系,微小调整都可能对成型结果产生显著影响。高激光功率虽能增强材料熔化程度,但过高易引发熔池飞溅、热应力集中及变形问题;扫描速度过快则可能导致材料未充分熔化,形成孔隙与层间结合不良缺陷。通过建立多物理场耦合仿真模型,可系统模拟不同参数组合下熔池动态行为、温度场分布及应力应变演变过程,为参数优化提供理论依据。在选择性激光熔化(SLM)工艺中,针对钛合金零件制造,将激光功率控制在200-300W,扫描速度设定为800-1200mm/s,层厚维持在30-50 μm ,可有效平衡成型效率与质量,使零件致密度达到99%以上。借助机器学习算法对大量工艺试验数据进行挖掘分析,构建参数-性能映射关系模型,实现工艺参数的自适应优化调整,能够快速匹配不同材料与零件结构的成型需求,显著提升工艺稳定性与重复性^[2]。

3.2 开发新型材料及材料处理技术

新型材料的研发与现有材料处理技术革新是推动机械零件增材制造发展的关键驱动力。传统金属材料在增材制造过程中常面临诸如裂纹敏感性高、组织不均匀、力学性能各向异性等问题。开发具有优异流动性、低收缩率及良好热稳定性的新型合金材料,能够从根本上改善成型质量。例如,通过在铝合金中添加微量稀土元素,可细化晶粒组织,抑制热裂纹产生,提升零件的综合力学性能。材料的预处理与后处理技术同样至关重要。粉末材料的球形度、粒度分布及纯净度直接影响铺粉均匀性与熔合质量,采用气雾化、等离子旋转电极雾化等先进制粉工艺,可制备出粒径分布窄、球形度高的高质量金属粉末。成型后的零件经过热等静压(HIP)、热处理等后处理工艺,能够消除内部残余应力,改善微观组织,使零件的强度、韧性等性能达到或超越传统加工水平。探索复合材料、梯度材料在增材制造中的应用,通过控制材料成分与结构的梯度变化,可实现零件性能的按需定制,满足复杂工况下的特殊使用要求。

3.3 提高设备自动化与智能化水平

增材制造设备的自动化与智能化升级是实现高效、稳定生产的必然趋势。自动化系统能够实现从原材料输送、零件成型到后处理的全流程无人化操作,有效降低人为因素导致的质量波动。高精度的粉末输送与铺粉系统可确保每层粉末均匀铺设,减少成型缺陷;智能激光扫描系统通过实时监测熔池状态,动态调整激光参数,实现成型过程的闭环控制。在智能化方面,引入机器视觉、传感器技术与人工智能算法,构建设备运行状态监测与故障诊断系统。通过对设备运行参数、成型过程图像等多源数据的实时采集与分析,能够提前预测设备故障与成型缺陷,及时采取干预措施。基于数字孪生技术,在虚拟空间中构建与实际设备及制造过程完全映射的数字模型,可对制造工艺进行预验证与优化,减少物理试验次数,缩短产品研发周期。借助物联网技术实现多台设备的互联互通与协同作业,能够提高生产管理效率,实现资源的合理配置与调度,推动机械零件增材制造向智能化、柔性化方向发展。

4 改进工艺对机械零件性能影响的实验研究

4.1 实验设计

(1) 实验以机械零件常见的加工工艺为基础,选取具有代表性的零件作为研究对象,综合考虑材料特性与加工难度,确定实验样本。针对改进工艺的目标,构建多组对比实验组,其中包含采用传统工艺加工的对照组,以及分别应用不同改进工艺的实验组,通过分组设

置确保实验结果具备可对比性与可靠性。(2)对加工过程中的关键参数进行严格界定与控制,涵盖切削速度、进给量、刀具角度等变量,依据工艺改进方向设定参数变化梯度,借助高精度加工设备实现参数的精准调节与稳定输出。在实验环境方面,控制车间温度、湿度等环境因素,减少外界干扰对实验结果的影响,保证实验过程处于稳定可控状态。(3)制定详细的实验流程与操作规范,明确各工序的先后顺序与衔接要求,依据实验特性划分不同操作区域并设定环境标准,为每个工序制定详细的操作时间节点。实验前对操作人员进行理论与实操培训,实验中安排专人巡查监督流程执行,及时处理突发状况。采用标准化操作流程确保实验可重复性,实验时实时记录数据,为后续分析提供准确基础^[3]。

4.2 性能测试

(1)机械零件性能测试从多个维度展开,先利用硬度测试设备,采用洛氏硬度或维氏硬度测试方法,依据相关标准对零件不同部位进行硬度测量,获取材料抵抗局部塑性变形的能力数据,分析改进工艺对零件硬度分布的影响。通过测量不同深度处的硬度值,探究加工工艺对零件表面硬化层的作用效果。(2)针对零件的力学性能,开展拉伸实验与疲劳实验。在拉伸实验中,将零件制成标准试样,在拉伸试验机上施加轴向拉力,记录材料的屈服强度、抗拉强度以及伸长率等关键指标,分析改进工艺对材料力学性能的提升程度。疲劳实验则模拟零件实际工作中的循环载荷工况,测定零件的疲劳寿命,评估工艺改进对零件抗疲劳性能的影响。(3)借助无损检测技术对零件内部质量进行检测,采用超声波探伤或X射线探伤等方法,检测零件内部是否存在气孔、裂纹等缺陷,量化分析改进工艺在提高零件内部质量方面的效果。运用表面形貌分析设备,如扫描电子显微镜,观察零件表面微观结构,获取表面粗糙度等参数,研究工艺改进对零件表面质量的改善作用。

4.3 结果分析

(1)对实验数据进行系统整理与统计分析,运用数

理统计方法计算各性能指标的平均值、标准差等参数,通过对比不同实验组与对照组的数据差异,直观呈现改进工艺对零件性能的影响趋势。采用图表形式,如柱状图、折线图,清晰展示各性能指标随工艺改进的变化规律,增强结果的可视化程度与可读性。(2)深入剖析实验结果产生的原因,从材料加工过程中的微观组织变化、应力应变状态等角度出发,结合金属学与材料加工理论,解释改进工艺影响零件性能的内在机理。例如,分析加工过程中温度场与应力场的分布对材料晶粒细化、相变过程的影响,进而阐述其对零件力学性能与表面质量的作用机制。(3)综合各项性能测试结果,对不同改进工艺的效果进行全面评估,明确各工艺在提升零件性能方面的优势与局限性。依据评估结果,提出进一步优化工艺参数或改进工艺方法的建议,为实际生产中机械零件加工工艺的改进与应用提供科学依据,助力提升机械零件的整体性能与质量水平^[4]。

结语

综上所述,通过对机械零件增材制造工艺现存问题的深入分析,针对性提出优化工艺参数、开发新型材料及提升设备智能化水平等改进策略。实验结果表明,改进后的工艺显著提升了机械零件的成型精度、材料适应性和生产效率,有效改善零件力学性能。增材制造技术仍有提升空间,未来需进一步探索多学科融合创新,深化工艺优化,以满足机械制造领域不断增长的需求。

参考文献

- [1]武玉秀.激光增材制造技术在农业机械设备零件制造中的应用[J].农业机械,2024(2):106-108.
- [2]潘晓峰.3D打印增材制造技术在机械制造中的应用[J].模具制造,2025,25(2):199-201,204.
- [3]张振杰,龙芋宏,徐榕蔚,等.增材制造成型机械超材料的研究进展及展望[J].机床与液压,2022,50(14):151-158.
- [4]鲍鹏飞,尹博,石学智.低频机械振动对电弧增材制造低碳钢组织和力学性能的影响[J].铸造,2023,72(3):250-256.