

3D打印技术在工业产品快速原型制作中的应用

陆 陶

江西江铃集团新能源汽车有限公司 江西南昌 330000

【摘要】随着制造业智能化转型的深入推进,3D打印技术凭借其快速、精确、低成本等优势,在工业产品快速原型制作领域发挥着越来越重要的作用。通过研究工业产品原型制作过程中的具体应用方法和实施流程,分析了3D打印技术在不同领域的应用案例和实施效果。研究表明,3D打印技术能够显著缩短产品开发周期,降低开发成本,提高产品设计的灵活性和准确性。同时指出了当前3D打印技术在应用过程中存在的材料性能限制、表面质量控制等问题,并提出了相应的优化建议,为工业产品快速原型制作提供了新的技术思路和解决方案。

【关键词】3D打印;快速原型;工业产品;产品开发;增材制造

在工业4.0时代背景下,产品创新和快速响应市场需求已成为制造企业的核心竞争力。传统的产品原型制作方法往往周期长、成本高、灵活性差,难以满足现代工业生产的需求。3D打印技术作为一种新型的增材制造技术,能够直接将三维数字模型转化为实体产品,已在众多工业领域得到广泛应用。通过分析其在产品原型制作中的具体应用方法和实施效果,探索解决现有技术难点的方案,对推动制造业创新发展具有重要意义。

1 3D打印在产品原型制作中的工艺流程

1.1 数字模型构建

工业产品的三维打印制造过程需要高质量的数字模型作为基础。设计人员通过专业的三维建模软件,如三维设计软件、参数化建模工具等,依据产品的功能需求和结构特点构建精确的三维模型。建模过程中需要充分考虑产品的几何特征、壁厚、支撑结构等关键要素,并对复杂结构进行特殊处理。完成的三维模型经过标准格式转换和模型修复后,还需要进行切片处理,将连续的三维模型转化为离散的层数据,为后续打印做好数据准备^[1]。模型构建的精度和合理性直接影响着最终产品的质量,是整个制造过程的重要保障。

1.2 打印参数优化

打印参数的合理配置对产品的成型质量起着决定性作用。工艺工程师需要根据不同的打印材料特性、产品结构特点和性能要求,对层厚、打印速度、喷头温度、打印平台温度等关键参数进行优化设置。在参数优化过程中,需要充分考虑材料的流动性、固化特性以及热变形等因素,

通过多组打印测试确定最佳的参数组合^[2]。对于不同的产品结构部位,可采用差异化的打印参数设置,以实现最优的成型效果。参数优化是一个需要经验积累和持续改进的过程,对提高产品质量和生产效率具有重要意义。

1.3 后处理工艺

3D打印件的后处理工艺是提升产品最终质量的关键环节。后处理技术人员采用打磨、抛光、喷砂、着色等工艺方法,对打印完成的产品进行表面处理和功能优化。对于具有支撑结构的产品,需要采用专业的工具和方法小心去除支撑,并对支撑接触面进行修复处理。某些特殊功能的产品可能还需要进行表面涂层处理、强度热处理或防水处理等工艺加工^[3]。后处理工艺的质量直接影响产品的外观和使用性能,需要制定严格的工艺规范和操作标准。

1.4 质量控制方法

产品质量控制贯穿于整个3D打印制造过程。质量控制人员通过建立完善的检测体系,对产品的尺寸精度、表面质量、力学性能等指标进行全方位监控。检测手段包括三维扫描测量、力学性能测试、表面粗糙度检测等,通过与原始设计数据的对比分析,评估产品的制造精度和性能指标。质量控制系统需要建立详细的检测记录 and 不合格品处理程序,对发现的质量问题进行分析和改进。通过持续的数据收集和分析,不断优化制造工艺,提高产品的一致性和可靠性^[4]。

2 应用案例分析

2.1 汽车零部件原型制作

宝马集团采用光固化三维打印技术进行汽车零部件的快

速原型制作，应用范围涵盖灯光装饰件、束线器和卡扣等功能性结构件。制作过程采用高透树脂Clear 10、E-ABS树脂和高强度树脂Pro 10等多种材料，Shape 4K打印设备实现了78微米的像素精度，确保了产品细节的完美呈现。北京奔驰、上海李尔等多家企业引入该打印解决方案后，显著提升了产品开发效率。在新能源汽车领域，铂力特与小鹏汽车合作开发的三维打印制动卡钳采用Ti-6Al-4V钛合金粉末材料，实现了超过30%的减重效果，同时保证了结构强度和性能要求。智能自适应加热功能确保了打印过程的稳定性，使汽车零部件的原型制作进入了高精度、高效率的新阶段。

2.2 航空航天产品验证

航空航天领域的三维打印应用展现出突出的技术优势。PTC公司成功开发了完全三维打印的微型涡轮喷气发动机，采用Inconel高温合金材料，实现了包含50000转每分钟涡轮在内的完整功能组件的一体化打印。该技术突破极大地简化了发动机部件的制造流程，为航空发动机的创新设计开辟了新途径。在国产大飞机C919项目中，三维打印技术在机头主风挡窗框、发动机燃油喷嘴、舱门件等关键部件的原型验证中发挥了重要作用。这些应用不仅提高了部件的结构强度，还实现了显著的减重效果，对提升飞机的整体性能和可靠性具有重要意义。

2.3 工业机械结构验证

工业机械领域的三维打印应用呈现出多样化特点。云铸三维在工业机械模型制作中，成功完成了众化智能全流程设备模型和通快设备缩比模型等典型项目，制作工期控制在7至30天，显著快于传统制造方式。这些模型不仅用于展览展示，还在教学培训和产品测试等场景发挥重要作用。在医疗器械领域，北京大学口腔医院利用三维打印技术，结合人工智能设计软件和仿生氧化锆材料，实现了复杂口腔修复体的快速制作。南方医科大学深圳医院应用三维打印辅助技术成功完成人工全髋关节置换手术，验证了该技术在高精度医疗器械原型验证中的实用价值^[5]。

2.4 成本效益分析

三维打印技术在工业产品原型制作中展现出显著的经济效益。宝马集团的应用数据显示，采用三维打印技术后，复杂零件的开发周期平均缩短了65%，模具开发成本降低了近90%。航空航天领域的应用案例表明，发动机部件的一体化打印将组装工时减少了80%以上，有效降低了生产成本。

医疗器械领域的数据分析显示，三维打印技术使定制化医疗器械的研发周期从传统的数月缩短至数周，同时将样品制作成本降低了50%以上。工业机械模型制作的成本统计表明，三维打印方式比传统加工方法节省了约60%的制作费用，为企业带来了可观的经济效益。

3 关键技术难点

3.1 材料性能限制

三维打印材料的性能局限性制约着打印产品的应用范围。现有的打印材料在机械强度、耐热性、韧性等方面与传统工艺制造的材料存在明显差距。高性能工程塑料在打印过程中容易出现分层、翘曲、开裂等问题，影响产品的结构完整性。金属打印材料的选择范围较窄，且材料成本居高不下，难以满足大规模应用需求。复合材料在打印过程中存在纤维分布不均匀、界面结合强度低等问题，限制了其在承重结构件中的应用。材料各向异性导致打印产品在不同方向上的性能差异显著，给产品设计和应用带来诸多限制。材料性能的提升需要在配方开发、工艺优化、打印参数调控等多个层面进行协同创新

3.2 尺寸精度控制

打印产品的尺寸精度控制面临着多重技术挑战。打印过程中材料的热胀冷缩会导致产品发生不均匀变形，特别是大尺寸零件更容易出现尺寸偏差。复杂结构的支撑设计和去除过程会影响相关部位的尺寸精度，某些内腔结构的支撑难以有效清理。打印设备的运动精度、喷头定位误差等机械因素也会造成累积误差。不同材料的收缩率差异显著，需要建立完善的补偿机制。层与层之间的结合强度不足会导致应力集中，引起局部变形。打印环境的温度波动、气流扰动等外部因素也会影响成型精度。这些问题的解决需要在设备、材料、工艺等多个层面进行系统优化。

3.3 表面质量优化

打印产品的表面质量提升存在较大难度。分层打印的固有特性导致产品表面存在明显的层纹痕迹，影响美观性和接触性能。支撑结构的去除会在产品表面留下痕迹，打磨处理容易破坏产品的几何精度。材料的流动性和固化特性会影响表面的平整度，某些材料容易出现局部气泡和凹坑。打印方向的选择会直接影响表面质量，但往往需要在表面质量和打印效率之间进行权衡。表面处理工艺的自动化程度低，人工打磨费时费力且质量不稳定。光敏材料在后期固化过程中可能出现表面褶皱，影响产品的外观质

量。这些表面质量问题的解决需要在材料性能、工艺参数和后处理技术等方面进行深入研究。

3.4 生产效率提升

三维打印技术在生产效率方面面临严峻挑战。打印速度的提升受到材料熔融速率、凝固时间、设备运动性能等多重因素的制约。大尺寸产品的打印时间往往需要数十小时，严重影响生产节拍。打印设备的上料、卸料、清理等辅助工序耗时较长，设备利用率难以提高。多材料打印时需要频繁更换材料和喷头，增加了生产准备时间。打印参数的优化过程需要反复试验，工艺开发周期较长。设备故障和材料问题导致的打印失败会造成大量时间浪费。后处理工序的自动化水平较低，人工操作比重大。这些效率瓶颈的突破需要在设备性能、工艺优化、生产管理等方面进行全方位创新。

4 发展趋势与优化建议

4.1 新型材料开发

材料研发机构正在积极开发新一代三维打印材料。高性能复合材料通过添加碳纤维、玻璃纤维等增强体，显著提升了打印产品的力学性能和耐久性。生物基材料的研发突破了传统石油基材料的限制，展现出良好的环保性和可持续性。新型金属材料powder的改性技术提高了材料的流动性和烧结性能，解决了金属打印产品的气孔率高、致密度低等问题。智能响应材料的开发使打印产品具备了形状记忆、自修复等功能特性。材料开发团队通过调控材料的分子结构和添加功能性助剂，改善了材料的各向同性和界面结合性能。这些新材料的开发为三维打印技术的产业化应用奠定了坚实的物质基础。

4.2 工艺参数优化

工艺技术人员通过系统化研究建立了完善的参数优化方法。打印速度与层厚的匹配关系得到深入研究，实现了打印效率和质量的动态平衡。温度场分布的数值模拟技术为工艺参数优化提供了理论指导，有效预测和控制了产品的变形趋势。支撑结构的智能化设计算法降低了支撑材料的使用量，提高了支撑的可去除性。切片策略的优化显著改善了产品的表面质量和机械性能。路径规划算法的创新解决了打印死角和断续打印等难题。工艺数据库的建立为不同产品类型提供了标准化的参数配置方案。这些工艺优化成果大幅提升了打印产品的质量稳定性。

4.3 智能化控制系统

控制系统开发团队致力于打印过程的智能化升级改造。机器视觉技术的应用实现了打印过程的实时监测，及时发现并纠正打印缺陷。闭环控制算法的开发确保了打印参数的自适应调节，提高了过程的稳定性。人工智能技术在切片优化和支撑生成方面展现出强大能力，显著提升了前处理效率。数字孪生技术的应用使工艺参数优化过程更加高效，减少了试错成本。设备状态监测系统的开发提高了设备的可靠性和维护效率。云平台的建设实现了打印资源的远程调度和数据共享。这些智能化升级显著提升了三维打印的自动化水平。

4.4 产业化应用推广

制造企业在多个领域积极推进三维打印技术的产业化应用。产业联盟的建立促进了技术标准的统一和资源的整合共享，加快了产业化进程。示范工厂的建设为产业化应用提供了实践经验，形成了可复制的运营模式。人才培养体系的完善为产业发展提供了技术支撑，建立了专业的人才梯队。知识产权体系的建立保护了技术创新成果，促进了良性竞争。产业政策的支持为企业创新提供了有力保障，降低了转型升级成本。市场应用的拓展带动了产业链的协同发展，形成了良好的产业生态。这些推广措施为三维打印技术的规模化应用创造了有利条件。

5 结语

3D打印技术在工业产品快速原型制作中具有显著优势，通过不断优化工艺参数、开发新型材料、提升智能化水平，必将为制造业的创新注入新的活力。未来，随着技术的进一步成熟和产业链的完善，3D打印技术在工业产品快速原型制作领域将发挥更大的价值，推动制造业向智能化、柔性化方向发展。

参考文献:

- [1] 李变霞. 基于3D打印技术的工业产品设计研究[J]. 黑龙江工业学院学报(综合版), 2021, 21(02): 71-77.
- [2] 李卓. 3D打印技术背景下参数化设计软件在工业产品设计中的意义探索[J]. 明日风尚, 2023, (24): 104-106.
- [3] 於旭. 3D打印技术在工业产品设计上的应用研究[J]. 现代工业经济和信息化, 2023, 13(03): 158-160+208.
- [4] 樊佳. 基于3D打印技术的工业产品造型设计与研究[J]. 机械工程与自动化, 2021, (04): 185-187.
- [5] 刘勃峥. 基于3D打印技术的工业产品设计实践教学探究[J]. 工业设计, 2019, (06): 26-27.