

Application of additive manufacturing technology in rapid prototyping of complex mechanical structures

Zhenrong Bai

Houying Group Haicheng Building Materials Co., Ltd., Anshan, Liaoning, 114229, China

Abstract

Additive manufacturing technology (AM), as a new manufacturing method, has quickly attracted wide attention from various industries for generating parts directly from computer-aided design (CAD) data without molds and tools. Especially in the rapid prototyping of complex mechanical structures, the additive manufacturing technology provides designers with unprecedented flexibility and efficiency. This paper discusses the application of additive manufacturing technology in the rapid prototype design of complex mechanical structure, and analyzes its advantages and challenges in the design process, material selection, precision control and cost management, and puts forward the future development direction. The example analysis reveals the great potential of additive manufacturing technology in the field of mechanical design, and provides a useful reference for the future engineering practice.

Keywords

additive manufacturing technology, complex mechanical structure, rapid prototype design, computer-aided design, material selection

增材制造技术在复杂机械结构快速原型设计中的应用探索

白振荣

后英集团海城市建筑材料有限公司, 中国·辽宁鞍山 114229

摘 要

增材制造技术(AM)作为一种新型的制造方法,因其能够在无需模具和工具的情况下,直接由计算机辅助设计(CAD)数据生成零部件,迅速受到各行业的广泛关注。特别是在复杂机械结构的快速原型设计中,增材制造技术为设计师提供了前所未有的灵活性与高效性。本论文深入探讨了增材制造技术在复杂机械结构快速原型设计中的应用,分析了其在设计流程、材料选择、精度控制及成本管理等方面的优势与挑战,并提出了未来发展方向。通过实例分析,揭示了增材制造技术在机械设计领域的巨大潜力,为今后的工程实践提供了有益的参考。

关键词

增材制造技术、复杂机械结构、快速原型设计、计算机辅助设计、材料选择

1 引言

随着现代工业的不断进步,机械设计的复杂性日益增加,尤其是在航空航天、汽车、医疗器械等高技术领域,设计人员常常面临着形状复杂、功能多样的机械结构设计任务。传统的制造方法在这些复杂结构的生产过程中常常表现出制造周期长、成本高、精度差等问题。增材制造技术作为一种革新的生产方式,采用逐层堆积的方式进行材料沉积,可以快速制造出传统方法难以实现的复杂结构。自20世纪80年代发明以来,增材制造技术已广泛应用于原型设计、功能性零部件制造等多个领域。

增材制造技术的出现,极大地缩短了机械原型设计的时间和成本,尤其是在复杂结构的设计和试制阶段,能够提

供快速反馈,帮助设计人员更好地评估设计方案。尽管如此,增材制造技术在实际应用中仍面临许多挑战,包括材料选择的多样性、工艺精度的控制、设计优化等问题。因此,本文将结合当前增材制造技术的发展现状,探讨其在复杂机械结构快速原型设计中的应用,旨在为相关领域的研究人员与工程实践提供有价值的参考。

2 增材制造技术的基本原理与发展现状

2.1 增材制造技术的基本原理

增材制造技术是一种通过逐层添加材料来构建物体的制造方法。与传统的减材制造方式(如车削、铣削等)不同,增材制造不需要从一大块材料中去除多余部分,而是通过计算机控制的机械设备将材料逐层堆积,最终形成所需的复杂结构。这种方法具有高度的灵活性,能够实现非常复杂和精细的几何形状,尤其适用于复杂机械结构的快速原型设计。

【作者简介】白振荣(1990-),男,中国辽宁鞍山人,工程师,从事机械设计研究。

增材制造的核心设备通常包括三维打印机、激光束、喷嘴等，通过与 CAD 软件配合，可以直接从数字化设计文件中生成物理模型。常见的增材制造技术包括选择性激光熔化 (SLM)、立体光固化 (SLA)、熔融沉积建模 (FDM) 等。

2.2 增材制造技术的发展现状

近年来，随着材料科学、计算机技术以及激光技术等领域的快速发展，增材制造技术在工业领域的应用逐渐从单一的原型设计扩展到功能性零部件的生产。在航空航天、汽车、医疗等行业，增材制造技术已成为产品设计和制造的重要手段，特别是在复杂机械结构的快速原型设计中，其优势愈加突出。

然而，增材制造技术的发展仍面临一些技术瓶颈。例如，当前的增材制造技术在精度、速度、材料种类和成本控制等方面存在一定局限，特别是在大规模生产中，其稳定性和成本效益仍有待进一步提高。

2.3 增材制造技术的应用领域

增材制造技术在多个领域中展现了其巨大的潜力。在航空航天领域，增材制造技术能够制造出复杂的航空零件，如发动机部件、涡轮叶片等，减少了零件的重量并提高了性能。在汽车工业中，增材制造技术使得零部件的设计更加灵活，为快速原型设计和小批量生产提供了新的解决方案。此外，在医疗器械领域，增材制造技术被广泛应用于定制化义肢、医疗植入物等个性化产品的设计与生产。

3 增材制造在复杂机械结构快速原型设计中的优势

3.1 设计自由度的提升

传统的制造方法受限于模具、工具和加工工艺的限制，复杂的机械结构往往难以一次性完成。而增材制造技术通过逐层堆积材料的方式，能够不受形状限制地制造出任何复杂几何形状的零件。因此，在复杂机械结构的设计中，设计师可以充分发挥创造力，设计出更符合功能需求的结构，同时避免了传统方法中的约束条件。

3.2 生产周期的缩短

增材制造技术不需要传统制造中的模具设计和制造过程，能够直接从 CAD 数据生成零部件，省去了许多烦琐的工序。因此，快速原型设计成为增材制造的显著特点。在实际应用中，增材制造技术能够在短短几个小时或几天内制造出原型零件，极大地缩短了产品从设计到测试的周期，为产品的快速迭代提供了有力支持。

3.3 材料浪费的减少

传统的制造方法在加工过程中需要大量的材料去除，这不仅浪费资源，也增加了材料成本。而增材制造技术采用的是按需添加材料的方式，几乎没有材料浪费，能够最大限度地提高材料利用率。尤其是在高价值材料（如钛合金、陶瓷等）的使用中，增材制造能够显著减少材料的浪费。

4 增材制造技术在复杂机械结构原型设计中的实施挑战

4.1 材料选择与性能问题

增材制造技术的材料选择多样，但与传统制造方法相比，许多增材制造材料的力学性能、热性能等方面还存在一定的差距。尤其在一些高强度、耐高温等要求较高的机械结构中，如何确保增材制造零件的性能与传统制造零件相当，仍然是一个重要的挑战。

4.2 精度与表面质量问题

尽管增材制造技术能够制造出复杂的零部件，但在精度和表面质量方面，仍然存在一定的局限性。尤其是在高精度和高表面质量要求的机械结构中，增材制造技术可能无法满足要求，尤其是在一些尺寸精度要求非常严格的零部件制造中，可能还需要后期的机械加工进行修整。

4.3 成本与工艺优化问题

虽然增材制造技术在小批量和快速原型设计中具有优势，但其生产成本较高，特别是材料成本和设备使用成本方面较为突出。因此，在大规模生产中，如何通过工艺优化降低成本，提高生产效率，仍然是增材制造技术应用中的一个挑战。

5 未来展望与发展趋势

5.1 多材料增材制造

随着增材制造技术的不断发展，多材料增材制造逐渐成为提升产品性能、拓展应用领域的关键技术之一。传统的增材制造技术多依赖于单一材料的打印，而多材料增材制造则允许在单一生产过程中使用不同类型的材料。这种技术能够更好地满足复杂机械结构对于材料性能的多样化需求，尤其是在航空航天、汽车和医疗器械等高新技术领域，能够制造出性能更为复杂、功能更为丰富的零部件。

在航空航天领域，由于环境要求极为苛刻，零件通常需要同时具备高强度、轻量化、耐高温等多种特性。通过多材料增材制造，设计师可以在同一零件中选择不同材料来满足不同部位的性能需求。例如，涡轮叶片通常需要耐高温、抗氧化，而在叶片的基座部位则需要更强的结构性支撑。通过多材料增材制造技术，设计人员能够将金属材料与陶瓷、耐高温塑料等不同材料结合在一起，在保证零件高性能的同时，简化了生产工艺，提升了设计自由度。

此外，多材料增材制造技术的应用还可以实现功能集成化设计，减少部件数量，降低组装复杂性。例如，在汽车工业中，通过将多种材料集成到一个零部件中，可以实现不同部位的结构、功能和耐用性要求，从而提升汽车零部件的整体性能，降低生产成本。同时，这种技术还能够减少机械部件的生产周期，从而加速产品的市场投放。

虽然多材料增材制造在理论和实验中已取得了一定的成果，但在实际应用中，仍面临许多挑战，包括不同材料的

相容性、打印精度、材料间的结合强度以及后期处理的复杂性。因此,未来的研究方向将集中在材料的研发、打印工艺的优化以及设备的改进上,以便在实际应用中充分发挥多材料增材制造的优势。

5.2 增材制造与传统制造的结合

随着增材制造技术的快速发展,越来越多的行业开始将其与传统制造工艺相结合,形成互补效应。增材制造在复杂零部件的制造上具有独特的优势,尤其是在设计自由度、制造周期和材料浪费方面,能够大幅提升效率。然而,对于一些大规模生产、对精度要求极高的零部件,传统制造工艺仍然具有不可替代的优势。因此,增材制造与传统制造的结合将成为未来发展的重要趋势。

例如,在航空航天领域,增材制造可以用于生产复杂的零部件,如涡轮叶片、发动机部件等,这些部件需要承受高温、高压等极端环境条件,要求精度非常高。增材制造技术可以有效制造出复杂形状的零部件,但为了确保这些零件的精度和表面光滑度,后续的精加工仍然是必不可少的。因此,增材制造与传统的数控加工、精密铸造等工艺相结合,能够在保证精度的前提下,提升零件的复杂度和功能性,达到较低的生产成本和更高的设计灵活性。

这种工艺结合不仅限于零部件的生产,还可以应用到生产流程优化上。增材制造可以用来制作传统制造过程中难以或无法制造的复杂模具、夹具等工具,这些工具可以提高传统制造过程中的效率和精度,进一步降低生产成本。例如,在汽车制造中,传统的模具生产往往需要高昂的成本和较长的生产周期,而增材制造可以快速制造出精密的模具、固定装置或检验工具,加速整个生产过程。

5.3 智能化与自动化发展

随着信息技术的飞速发展,尤其是人工智能(AI)、大数据、物联网(IoT)等技术的不断成熟,增材制造的智能化和自动化水平将得到极大提升。这不仅会提高生产效率,还将优化生产质量和成本管理,为增材制造技术的广泛应用提供更坚实的技术支撑。

首先,智能化将使增材制造过程更加精确和高效。在传统增材制造中,生产过程往往依赖于人工设定的参数,容易出现错误或不一致,而智能化增材制造系统则能够通过实

时数据采集和分析来动态调整打印参数,确保生产过程中的每一步都能够在最优状态下进行。例如,采用传感器与物联网技术可以对设备的工作状态进行实时监控和调整,自动识别可能的打印缺陷,减少人工干预,降低生产不良率。

其次,人工智能与大数据的结合,将进一步提高增材制造的设计和 optimization 能力。AI 可以通过学习历史生产数据,帮助优化零部件设计和生产工艺,为复杂结构的设计提供智能化支持。通过大数据分析,增材制造系统能够更精确地预测零部件的材料性能、生产质量以及未来的维护需求,从而实现更高效的资源调度和生产计划。

6 结语

增材制造技术作为一项革新的制造技术,已经在复杂机械结构的快速原型设计中展现出巨大的潜力。通过增材制造,设计师能够充分发挥设计自由度,缩短生产周期,减少材料浪费,这些优势使其在航空航天、汽车、医疗等领域的应用前景广阔。然而,增材制造技术在材料性能、精度控制、成本管理方面仍面临着一些挑战。随着多材料技术的发展,增材制造与传统制造工艺的结合,智能化与自动化技术的不断进步,增材制造技术有望克服现有局限,进一步提升其应用领域与生产效率,为机械设计与制造带来更加高效、灵活、可持续的解决方案。

随着技术的不断完善和创新,未来增材制造将不仅仅局限于原型设计,更将在实际生产、个性化定制、复杂功能性部件制造等多个领域发挥关键作用。各行各业应密切关注这一技术的发展动态,积极推动其在实际工程中的应用,为未来制造业的智能化和绿色发展贡献力量。

参考文献

- [1] 李辉,陈浩然,杨碧琦,等.基于增材制造的新型相变储能装置传热性能研究[J].上海航天(中英文),2024,41(S2):189-199+238.
- [2] 魏瑛康,李嘉旭,王岩,等.增材制造技术在金刚石工具制备中的应用研究进展[J].粉末冶金技术,2024,42(06):652-664+673.
- [3] 付威铭,王欣.增材制造技术在重点行业的应用及未来发展趋势[J].金属加工(冷加工),2024,(11):1-9.
- [4] 华浩蓉.三维建模与可视化技术在机械制图中的应用研究[J].造纸装备及材料,2024,53(10):88-90.