

# 金属材料增材制造技术在航天领域的应用前景分析

蒋朝阳 郭文杰

洛阳盈创极光精密制造有限公司 河南 洛阳 471822

**摘要:** 本文深入探讨了金属材料增材制造技术在航天领域的应用前景。通过对该技术的概述,阐述了其在航天器零部件制造、复杂结构设计与制造、快速原型制作等方面的具体应用。分析了该技术在航天领域应用的优势,包括提高航天器性能、降低制造成本、缩短制造周期以及进一步降低成本等方面。强调了金属材料增材制造技术对航天事业发展的重要推动作用。

**关键词:** 金属;材料增材;制造技术;航天领域;应用前景;分析

引言:随着航天技术的不断发展,对航天器的性能、制造效率和成本控制提出了更高的要求。传统制造技术在满足这些需求方面逐渐面临挑战,而金属材料增材制造技术的出现为航天领域带来了新的机遇。这种先进的制造技术具有独特的优势,有望在航天领域发挥重要作用。

## 1 金属材料增材制造技术概述

金属材料增材制造技术,作为一种先进的制造方法,正逐渐在多个领域展现出巨大的潜力。第一,增材制造技术的原理是基于数字模型,通过逐层添加材料的方式来构建物体。对于金属材料增材制造而言,首先利用计算机辅助设计软件创建所需金属部件的三维模型,然后将该模型转换为增材制造设备可识别的格式并输入其中。设备根据模型信息,采用特定的能源如激光、电子束或电弧等,将金属材料加热至熔化或半熔化状态,再逐层堆积成型,最终构建出所需的金属部件。第二,目前金属材料增材制造技术主要有以下几种方法。激光选区熔化(SLM)是利用高能量密度的激光束选择性地熔化金属粉末,制造精度高、表面质量好,可用于制造复杂形状的零部件。电子束选区熔化(EBSM)则以电子束为热源,具有能量利用率高、加工速度快的优势,适合制造大型金属结构件。电弧增材制造(WAAM)以电弧作为热源,将金属丝材或粉末熔化并逐层堆积,成本低、效率高,适用于制造对精度要求不高的大型结构件。第三,金属材料增材制造技术具有诸多显著特点。

(1)设计自由度极高。它能够制造出传统制造方法难以实现的复杂形状零部件,为设计师提供了广阔的创意空间。其(2)材料利用率大幅提高。由于是逐层添加材料,减少了材料的浪费,与传统减材制造相比优势明显。(3)制造周期短。可以快速制造出零部件,无需像传统制造那样经过多个复杂工序,大大缩短了生产时

间。(4)可实现个性化定制。能够根据客户的特定需求,迅速制造出独一无二的金属部件。这些特点使得金属材料增材制造技术在航空航天、医疗、汽车等领域都有着广泛的应用前景<sup>[1]</sup>。

## 2 金属材料增材制造技术在航天领域的应用

### 2.1 航天器零部件制造

航天器零部件制造对于航天事业的发展至关重要。在传统制造方法面临诸多挑战的情况下,先进的制造技术为航天器零部件的生产带来了新的机遇。第一,航天器零部件通常需要具备极高的精度、可靠性和特殊的性能要求。例如,发动机零部件是航天器的核心组成部分,其性能直接影响航天器的飞行性能。通过先进的制造技术,可以制造出复杂形状的发动机零部件,如涡轮叶片、燃烧室等。这些零部件往往需要承受高温、高压等极端环境,因此对材料和制造工艺的要求极高。第二,结构零部件也是航天器的重要组成部分。航天器的结构零部件需要具有高强度、轻量化的特点,以满足航天飞行的需求。采用先进的制造技术,可以制造出复杂形状的结构零部件,如卫星支架、天线反射器等。这些零部件不仅能够减少航天器的重量,提高发射效率,还能增强航天器的结构稳定性和可靠性。第三,在航天器零部件制造过程中,材料的选择至关重要。高强度、耐高温、耐腐蚀的金属材料和先进的复合材料被广泛应用于航天器零部件的制造。制造工艺的不断创新也为提高零部件的质量和性能提供了保障。例如,增材制造技术、精密加工技术等先进制造方法的应用,使得航天器零部件的制造更加高效、精确。

### 2.2 复杂结构设计与制造

在当今的科技领域,复杂结构设计与制造正成为推动众多行业发展的关键力量,尤其是在对精度和性能要求极高的航天领域。第一,复杂结构设计为航天器带

来了诸多优势。一体化结构设计能够将多个零部件集成在一个整体结构中,极大地减少了零部件之间的连接和装配环节。这不仅提高了结构的可靠性和稳定性,还降低了整体重量,对于航天器的发射和运行至关重要。例如,通过先进的设计软件和模拟技术,可以设计出具有复杂内部通道的火箭发动机结构,实现更高效的燃料输送和冷却。第二,拓扑优化设计则在满足结构性能要求的前提下,最大限度地减少材料的使用量。利用数学算法和计算机模拟,对结构进行优化,使得材料在关键部位得到合理分布,从而实现轻量化设计。在航天器中,这种设计可以制造出更轻、更强的卫星结构和天线反射器等部件,提高航天器的性能和使用寿命。第三,在制造方面,先进的制造技术如3D打印等增材制造技术为复杂结构的实现提供了可能。这些技术可以精确地逐层堆积材料,制造出具有复杂形状和内部结构的零部件。与传统制造方法相比,增材制造技术大大提高了设计的自由度,使得设计师能够突破传统制造工艺的限制,创造出更加独特和高性能的<sup>[2]</sup>。

### 2.3 快速原型制作

快速原型制作是一种能够在短时间内将设计概念转化为实体模型的技术。对于航天器的设计和研发而言,这一技术具有显著的优势。第一,在航天器的设计阶段,设计师们常常需要将抽象的设计理念转化为具体的实物,以便更好地评估设计的可行性和性能。快速原型制作能够迅速地根据设计图纸制造出航天器的原型,使设计师可以直观地看到设计的效果,及时发现潜在的问题并进行调整。第二,快速原型制作大大缩短了研发周期。在传统的制造方法中,制作航天器零部件的模具通常需要花费大量的时间和成本。而快速原型制作无需制作模具,直接通过逐层添加材料的方式构建原型,能够在数小时或数天内完成原型的制作,极大地提高了研发效率。第三,快速原型制作还可以降低研发成本。在研发过程中,可能需要进行多次设计迭代和测试。如果采用传统制造方法,每次修改设计都需要重新制作模具,成本极高。而快速原型制作可以根据修改后的设计快速制作新的原型,大大减少了成本投入。在快速原型制作中,常采用的技术包括3D打印等增材制造技术。

## 3 金属材料增材制造技术在航天领域应用的优势

### 3.1 提高航天器的性能

随着科技的不断进步,提高航天器的性能成为航天领域持续追求的目标。而在众多方法中,先进的技术和创新的设计起着关键作用。一方面,先进的制造技术可以极大地提高航天器零部件的精度和质量。例如,通

过高精度的增材制造技术,可以制造出尺寸精度极高、表面质量良好的零部件。这不仅减少了零部件的装配误差,还提高了航天器的整体性能和可靠性。在航天发动机中,采用先进制造技术制造的涡轮叶片和燃烧室等零部件,可以承受更高的温度和压力,提高发动机的热效率和推力。另一方面,创新的设计可以优化航天器的结构和性能。一体化结构设计将多个零部件集成在一个整体结构中,减少了连接和装配环节,提高了结构的稳定性和可靠性,拓扑优化设计可以在满足性能要求的前提下,最大限度地减少材料的使用量,实现轻量化设计。这对于航天器的发射和运行至关重要,减少重量可以降低发射成本,提高航天器的有效载荷和续航能力。此外,材料的选择也是提高航天器性能的关键因素。高强度、耐高温、耐腐蚀的金属材料和先进的复合材料被广泛应用于航天器的制造。这些材料具有优异的性能,可以满足航天器在极端环境下的使用要求<sup>[3]</sup>。

### 3.2 降低制造成本

在航天领域,降低航天器的制造成本是一项至关重要的任务,高昂的制造成本不仅限制了航天项目的开展规模,也对航天事业的可持续发展带来了挑战。(1)材料的合理选择和高效利用可以显著降低成本。在航天器制造中,一些高性能但价格昂贵的材料并非在所有部件上都是必需的。通过对不同部位的性能需求进行分析,选择合适的材料,可以在保证性能的前提下降低成本。例如,对于一些非关键结构部件,可以采用成本较低但性能满足要求的材料。增材制造等先进技术可以实现材料的逐层添加,减少材料的浪费,提高材料利用率。(2)优化制造工艺也是降低成本的重要手段。传统的制造工艺往往需要复杂的模具和多道工序,成本较高。而新兴的制造技术,如3D打印,可以直接根据数字模型制造零部件,无需模具,大大降低了制造成本,通过对制造工艺的不断改进和优化,提高生产效率,减少废品率,也可以降低制造成本。(3)供应链的优化管理可以降低采购成本。与可靠的供应商建立长期合作关系,通过批量采购等方式获得更优惠的价格。并对供应链进行实时监控和管理,确保材料和零部件的及时供应,避免因供应中断而导致的成本增加。(4)采用标准化设计和模块化制造可以降低研发和制造成本。标准化的设计可以减少设计的复杂性和多样性,提高零部件的通用性和互换性。模块化制造则可以将航天器分解为多个模块,分别进行制造和测试,提高生产效率,降低成本。

### 3.3 缩短制造周期

在航天领域,缩短航天器的制造周期具有重大的战

略意义和现实价值,一方面,快速的技术发展和激烈的国际竞争要求航天器能够尽快投入使用。缩短制造周期可以使航天项目更快地响应市场需求和技术变革,抢占先机。例如,在卫星通信领域,新的通信技术不断涌现,能够快速制造出新型卫星的企业将在市场竞争中占据优势。快速制造零部件是缩短制造周期的关键之一。增材制造技术在这方面表现出巨大的潜力,通过逐层添加材料的方式,增材制造可以直接根据数字模型快速制造出复杂形状的零部件,无需传统制造中的模具制作和多道加工工序。这大大缩短了零部件的制造时间,使得航天器的组装能够更快地进行。并行制造也是缩短制造周期的有效方法。多个零部件可以同时在不同的制造设备上生产,而不是按照传统的顺序依次进行。这样可以极大地提高生产效率,减少制造时间。例如,在航天器的总装阶段,可以同时多个系统的安装和调试,而不是等待一个系统完成后再进行下一个。优化设计和制造流程也能显著缩短制造周期在设计阶段,采用先进的设计软件和模拟技术,可以提前发现潜在的问题并进行优化,减少后期的设计变更和返工。在制造流程方面,通过对各个环节的合理安排和协调,消除不必要的等待时间和重复工作,提高整体的生产效率。

### 3.4 成本降低

在航天领域,降低成本是一项至关重要的任务。高昂的成本往往限制了航天项目的规模和发展速度。(1)材料成本是航天器制造成本的重要组成部分。通过优化材料选择和采购策略,可以降低材料成本。例如,寻找性价比更高的材料替代品,或者与供应商建立长期合作关系以获得更优惠的价格。同时,提高材料的利用率也是降低成本的有效途径。采用先进的制造技术,如增材制造,可以减少材料的浪费,实现材料的精确使用。(2)制造工艺的改进可以降低生产成本。传统的制造

工艺往往需要复杂的设备和多道工序,成本较高。而新兴的制造技术,如3D打印,可以直接根据数字模型制造零部件,无需模具和大量的加工工序,大大降低了制造成本。此外,优化制造流程,提高生产效率,减少废品率,也可以降低成本。(3)研发成本也是航天器成本的重要部分。通过合理规划研发项目,避免不必要的重复研发,可以降低研发成本。加强技术创新,提高技术的成熟度和可靠性,可以减少后期的维护和改进成本。(4)供应链管理也对成本降低起着重要作用。优化供应链,确保材料和零部件的及时供应,避免因供应中断而导致的成本增加,与供应商建立良好的合作关系,共同降低成本,实现互利共赢<sup>[4]</sup>。

### 结束语

金属材料增材制造技术在航天领域的应用前景广阔且充满潜力。随着技术的不断进步和成本的逐步降低,增材制造技术将在航天器的设计、制造和维修中发挥越来越重要的作用。其独特的优势,如无需模具、一次成形、材料利用率高、可制造复杂结构等,将极大地推动航天领域的技术创新和产业升级。未来,随着材料科学、计算机科学和精密制造技术的进一步发展,金属材料增材制造技术将在航天领域实现更广泛的应用,为航天事业的蓬勃发展提供强有力的支撑。

### 参考文献

- [1]陈济轮,董鹏,张昆,等.金属材料增材制造技术在航天领域的应用前景分析[J].电加工与模具,2014(1):66-69.
- [2]许世娇,权纯逸,杨堃,等.金属材料增材制造技术在航天领域的应用前景分析[J].粉末冶金工业,2022,32(3):9-17.
- [3]高飞,于济菘,赵相禹.金属材料增材制造技术在航天领域的应用前景分析[J].卫星应用,[4]2020(5):59-64.
- [4]杨浩亮,郭凤明,万李,等.金属材料增材制造技术在航天领域的应用前景分析[J].航天制造技术,2016(5):1-4.