

# 金属3D打印技术在航空航天领域的应用前景

姚佩芳

新乡航空工业(集团)有限公司 河南 新乡 453000

**摘要:** 金属3D打印技术,以其独特的增材制造方式,正逐渐改变航空航天领域的制造格局。本文详细探讨了金属3D打印技术的核心原理、显著优势,以及其在航空航天领域的多元化应用。此外,我们还深入分析了该技术在未来发展可能面临的挑战与机遇。

**关键词:** 金属3D打印; 航空航天; 制造技术; 应用前景; 挑战与机遇

## 引言

随着科技的日新月异,传统的制造方法已逐渐无法满足航空航天领域对高性能、高精度零部件的需求。金属3D打印技术,作为一种革命性的制造技术,正以其高精度、高效率和高设计自由度的特点,迅速在航空航天领域占据一席之地。

### 1 金属3D打印技术的核心原理与显著优势

金属3D打印技术,即金属增材制造,是通过逐层堆积金属粉末,并利用高能束(如激光、电子束等)进行熔化,从而构建出三维实体。其核心原理在于将复杂的三维模型切分为无数的二维层面,再逐层打印、堆积,最终形成完整的三维实体。这种技术的优势显而易见:

①设计自由度高:金属3D打印技术能够制造出传统方法难以加工的复杂内部结构,为航空航天器的轻量化设计提供了可能。②材料利用率高:相比传统减材制造,3D打印技术几乎不产生材料浪费,大大提高了材料利用率。③生产周期短:3D打印技术减少了模具制造、加工和装配等步骤,从而缩短了产品的生产周期。④定制化能力强:可以根据实际需求快速定制零部件,特别适用于航空航天领域中小批量、高性能的零部件制造。

### 2 金属3D打印技术在航空航天领域的多元化应用

#### 2.1 复杂结构零部件的制造

在航空航天领域,零部件的复杂性往往超出了传统制造工艺的能力范围。航空航天器中的核心部件,如发动机叶片、燃烧室等,其设计通常涉及高度复杂的几何形状和精细的内部结构。这些设计旨在优化性能、提高效率,并确保在极端工作条件下的可靠性和耐久性。金属3D打印技术的出现,为这些复杂结构零部件的制造提供了革命性的解决方案。该技术通过逐层堆积材料的方式,能够精确地构建出几乎任何形状和结构的零部件,而无需传统的模具或复杂的机械加工过程。这不仅极大地提高了制造的灵活性,还显著降低了生产成本和生产

周期。以发动机叶片为例,这类零部件传统上需要通过精密铸造或机械加工来制造,但受限于工艺和材料,往往难以达到设计上的最优性能。而金属3D打印技术则能够精确地复制设计师的3D模型,打印出具有复杂内部冷却通道的叶片,这些通道在提高冷却效率的同时,还能保持叶片的结构强度。这不仅延长了叶片的使用寿命,还提高了发动机的整体性能。燃烧室是另一个典型的复杂结构零部件。其内部需要承受极高的温度和压力,因此对材料的性能和结构的完整性有着极高的要求<sup>[1]</sup>。金属3D打印技术可以打印出具有精细结构和优异性能的燃烧室,确保其能够在极端条件下稳定运行。此外,金属3D打印技术还在航空航天领域的其他复杂零部件制造中发挥着重要作用,如涡轮盘、喷嘴导向叶片等。这些零部件的传统制造方法往往复杂且成本高昂,而金属3D打印技术则提供了一种更为高效、精确的制造方案。

#### 2.2 轻量化设计

在航空航天领域,每一克的重量都至关重要。减轻航空航天器的质量不仅可以减少燃料消耗,提高飞行效率,还能增加有效载荷,从而提升整体性能。因此,轻量化设计一直是该领域追求的目标。金属3D打印技术在这一目标中发挥了至关重要的作用。传统的制造方法,如铸造和机械加工,往往受限于材料和工艺,难以实现复杂的内部结构和精细的设计优化。然而,金属3D打印技术以其高精度和高设计自由度的特点,为设计师提供了前所未有的创新空间。通过金属3D打印技术,设计师可以精确地控制材料的分布和内部结构的构造,从而在保证零部件强度和功能的同时,最大限度地减轻其质量。例如,利用拓扑优化技术,设计师可以创建出具有最小质量但足够强度的结构,这种结构在传统制造方法中难以实现。此外,金属3D打印技术还可以实现内部空腔、蜂窝状结构等设计,这些设计不仅减轻了质量,还增强了结构的稳定性和隔热性能。这种轻量化设计的应

用范围非常广泛,从发动机部件到卫星结构件,都可以看到其身影。轻量化设计的实现,不仅依赖于金属3D打印技术的高精度打印能力,还与其材料选择的多样性密不可分。多种高性能金属材料,如钛合金、铝合金等,都可以通过3D打印技术来实现复杂的轻量化结构。值得一提的是,轻量化设计并不仅仅意味着减少材料的使用。更重要的是,它要求设计师在保持结构完整性和功能性的同时,实现质量的最大化减少。金属3D打印技术正是这一目标的理想工具,它使得设计师能够在保证性能的前提下,充分发挥出轻量化设计的潜力。

### 2.3 功能梯度材料的制造

功能梯度材料(Functionally Graded Materials,简称FGM)是一种先进的复合材料,其组成和结构在空间位置上呈现连续变化,从而使其物理、化学或力学性能也相应地呈现梯度变化。这种材料的出现,为极端环境下的工程应用提供了全新的解决方案。金属3D打印技术在制造功能梯度材料方面具有独特的优势。通过精确控制打印过程中的材料组成和微观结构,金属3D打印技术能够生产出性能优异、结构复杂的功能梯度材料。这种技术的灵活性使得在同一部件中实现多种材料性能的梯度变化成为可能。在航空航天领域,功能梯度材料的应用前景尤为广阔。以热防护系统为例,该功能材料能够确保飞行器在高速飞行或再入大气层时,其表面能够承受极高的温度和热流。通过金属3D打印技术,可以制造出外层耐高温、内层具有良好隔热性能的功能梯度热防护结构,从而有效保护飞行器的内部结构不受高温破坏。此外,在耐磨涂层方面,功能梯度材料也展现出了显著的优势。航空航天器中的许多部件,如发动机叶片、轴承等,都需要具有良好的耐磨性。通过金属3D打印技术,可以制造出外层硬度高、耐磨性好,而内层韧性好、抗冲击性强的功能梯度涂层,从而显著提高这些部件的使用寿命和性能<sup>[2]</sup>。金属3D打印技术制造功能梯度材料的另一个重要特点是能够实现定制化生产。根据不同的应用需求和工作环境,可以灵活调整材料的组成和结构,以获得最佳的性能组合。这种定制化的生产方式,使得功能梯度材料在航空航天领域的应用更加广泛和深入。

## 3 金属3D打印技术的发展挑战与机遇

### 3.1 挑战

#### 3.1.1 技术成本高昂

金属3D打印技术虽然具有显著的技术优势,但其高昂的成本仍是阻碍其广泛应用的一大难题。目前,金属3D打印机及其相关设备的购置成本相对较高,这主要源于其高精度的打印能力和复杂的制造工艺。同时,金

属3D打印所使用的金属材料,如钛合金、铝合金等,价格也远高于传统制造方法中使用的材料。此外,金属3D打印技术的维护成本亦不容忽视,包括设备的定期保养、专业人员的培训以及打印过程中可能出现的故障修复等,这些都增加了技术的总体成本。因此,在成本方面,金属3D打印技术相较于传统制造技术仍处于劣势,这在一定程度上限制了其在各个领域,尤其是航空航天领域的广泛应用。

#### 3.1.2 打印效率与精度的平衡

在金属3D打印技术的发展过程中,如何在提升打印效率的同时确保高精度,一直是该领域面临的关键挑战。金属3D打印的逐层堆积工艺虽然赋予了它极高的制造自由度,但也意味着每一层的打印都必须严格控制以确保最终产品的精确性。然而,对精度的过分追求往往会牺牲打印速度,从而影响整体的生产效率。此外,金属材料的熔化和凝固过程复杂,易受环境温度、材料性质及打印参数等多重因素影响,这也增加了在提高效率的同时保持精度的难度。因此,金属3D打印技术需要在打印速度和打印质量之间找到一个微妙的平衡点,这既是一个技术挑战,也是推动该技术不断进步的重要动力。

#### 3.1.3 法规与标准的滞后

随着金属3D打印技术的迅猛发展,现有的法规和标准体系已经难以完全适应这一新兴技术的需求和特点。金属3D打印技术在材料使用、打印过程、产品质量等多个方面都与传统制造技术存在显著差异,这就要求相关的法规和标准进行及时的更新和完善。然而,由于技术发展的快速性和复杂性,法规与标准的制定和修订工作往往难以跟上技术的步伐,导致在实际应用中存在一定的法规空白和标准缺失。这种滞后性不仅可能制约金属3D打印技术的进一步推广和应用,还可能带来潜在的安全和质量风险<sup>[3]</sup>。因此,加快法规与标准的更新和完善,以适应金属3D打印技术的发展需求,成为当前亟待解决的问题。

### 3.2 机遇

#### 3.2.1 新材料与新技术的融合

金属3D打印技术的发展正站在一个崭新的历史节点上,其中最大的机遇在于新材料与新技术的融合。随着科技的不断进步,越来越多的高性能金属材料被研发出来,这些新材料不仅具有优异的力学性能,还在耐高温、耐腐蚀等方面有着出色的表现。将这些新材料应用于金属3D打印技术中,可以极大地拓展打印产品的应用范围和使用寿命。同时,新技术的不断涌现也为金属3D打印技术注入了新的活力。例如,随着人工智能和大数据

据技术的快速发展,金属3D打印过程可以实现更加智能化的控制。通过对打印过程的实时监控和数据分析,可以及时发现并纠正打印过程中可能出现的问题,从而提高打印的精度和效率。此外,新材料与新技术的融合还有望解决金属3D打印技术中的一些固有难题。例如,通过研发新型支撑材料和优化打印工艺,可以减少打印过程中出现的变形和裂纹等问题;通过引入先进的热处理技术,可以进一步改善打印产品的组织和性能。

### 3.2.2 产业链条的完善

金属3D打印技术的产业链条随着技术的不断成熟和应用的日益广泛而日趋完善。这一完善过程涵盖了从上游的材料研发,到中游的设备制造,再到下游的打印服务,形成了一个紧密衔接、高效协同的产业生态。在材料研发环节,科研机构和企业正不断加大投入,探索新型金属粉末材料的制备技术和打印适用性。这些新材料不仅具备更优异的物理和化学性能,而且能够满足复杂打印结构的需求,为金属3D打印提供了更广阔的应用空间。在设备制造方面,随着技术的进步,金属3D打印机的性能不断提升,打印精度和速度都得到了显著提高。同时,设备的稳定性和易用性也得到了大幅改善,使得更多的企业和研究机构能够方便地应用这项技术。而在打印服务领域,随着市场需求的增长,越来越多的专业打印服务机构涌现出来。它们不仅提供高质量的打印服务,还能根据客户需求进行定制化打印,大幅缩短了产品从设计到实物的周期<sup>[4]</sup>。此外,随着产业链的完善,相关的教育、培训、咨询等配套服务也逐渐兴起,为金属3D打印技术的普及和应用提供了有力支持。

### 3.2.3 国际合作与交流的加强

在全球经济一体化和科技快速发展的背景下,国际合作与交流对于金属3D打印技术的推进显得尤为重要。面对全球性的竞争与挑战,各国都意识到单打独斗难以快速突破技术瓶颈,因此纷纷寻求国际合作,共同研发和推广金属3D打印技术。国际合作不仅有助于汇聚世界各地的科研力量,还能够实现资源共享和优势互补。通

过跨国界的技术交流和协作,可以加速金属3D打印技术的研发进程,推动其向更高效、更精确、更环保的方向发展。同时,国际合作还能促进不同文化背景下的创新思维碰撞,为金属3D打印技术的发展注入新的活力。此外,国际合作与交流还为金属3D打印技术的标准化和规范化提供了有力支持。通过参与国际标准的制定和修订,各国可以共同推动金属3D打印技术的规范化发展,确保其安全性和可靠性。这不仅有助于提升消费者对金属3D打印产品的信任度,还能进一步拓展其市场应用空间。因此,国际合作与交流将成为推动金属3D打印技术发展的重要途径。未来,随着全球合作网络的不断完善和技术交流的不断深入,金属3D打印技术有望在全球范围内实现更广泛的应用和推广,为人类社会的进步和发展做出更大贡献。

### 结语

金属3D打印技术以其高精度、高效率和高设计自由度的特点,正在航空航天领域掀起一场制造革命。尽管面临诸多挑战,但随着技术的不断进步和成本的降低,我们有理由相信,在不久的将来,金属3D打印技术将成为航空航天领域不可或缺的制造技术之一,为人类探索太空、发展航空航天事业提供强有力的技术支持。

### 参考文献

- [1]吴强收.3D打印技术在航空航天领域中的应用[C]//中国科协航空发动机产学研联合体,中国空天动力联合会,中国航空学会,中国工程热物理学会,中国力学学会.第五届空天动力联合会议暨中国航天第三专业信息网第41届技术交流会论文集(第四册).北京动力机械研究所;2020:5.
- [2]王文升.3D打印技术在航空制造业的应用与研究[J].科技展望,2016,26(1).
- [3]张征,马洁萍,涂凯.3D打印技术在航空制造领域应用展望[J].中国民用航空,2013(10):2.
- [4]毛剑锋.3D打印技术在航空金属零部件表面加工中的应用探讨[J].现代工程科技,2023,2(4):44-47.