

# 增材制造技术及其应用现状分析

丁宁 姚鹏 刘阳

中国人民解放军32286部队 辽宁 辽阳 111200

**摘要:** 增材制造技术, 又称3D打印, 是一种基于数字模型文件, 通过逐层堆积材料来构造物体的技术。该技术具有设计灵活性高、材料浪费少和个性化定制强等优点, 已广泛应用于模具、航空航天、汽车、医疗器械等多个领域。然而, 其仍存在生产速度较慢、成本较高及材料选择有限等局限性。随着技术的不断进步, 增材制造将克服这些缺点, 并在更多领域展现其独特价值。

**关键词:** 增材制造技术; 关键技术; 应用现状

引言: 增材制造技术, 作为21世纪制造业的重大变革之一, 正逐步改变着传统制造模式的格局。该技术通过逐层添加材料的方式, 实现了从数字模型到实体物体的直接转化, 极大地提升了制造的自由度和灵活性。本文旨在探讨增材制造技术的原理、分类、关键技术及其在各领域的应用现状, 分析其发展趋势, 以期对未来制造业的转型升级提供参考与借鉴。

## 1 增材制造技术的原理与分类

### 1.1 增材制造技术的基本原理

增材制造技术, 作为一种前沿的制造技术, 其核心原理主要基于离散-堆积原理。这一原理突破了传统制造技术的思维模式, 不再依赖于材料的去除或塑形, 而是直接通过逐层叠加材料的方式来制造三维实体。具体来说, 增材制造技术首先将复杂的三维模型分解为一系列简单的二维层片, 然后通过特定的技术手段, 将这些层片逐一堆积起来, 最终形成完整的三维物体。在这一过程中, 零件的三维数据发挥着至关重要的作用。这些数据通常由计算机辅助设计(CAD)软件生成, 并经过切片处理, 转换为打印机可以识别的层片数据。打印机根据这些数据, 通过精确控制材料的添加位置和数量, 逐层堆积形成所需的三维实体。这种由零件三维数据驱动直接制造零件的方式, 大大提高了制造的灵活性和精度。

### 1.2 增材制造技术的分类

#### 1.2.1 按照加工材料的类型和方式分类

(1) 金属成形: 主要利用金属粉末、金属丝等材料, 通过激光熔化、电子束熔化等技术手段, 逐层堆积形成金属零件。这种技术在航空航天、汽车制造等高端制造领域具有广泛应用, 能够满足复杂结构零件的高精度、高强度需求。(2) 非金属成形: 使用塑料、树脂、陶瓷等非金属材料, 通过熔融沉积建模(FDM)、立体光固化(SLA)等技术, 逐层堆积形成零件。这些材料在

医疗、教育、消费电子等领域具有广泛应用, 能够满足不同领域的定制化和个性化需求。(3) 生物材料成形: 利用细胞、生物墨水等生物相容性材料, 通过生物3D打印技术, 制造具有生物活性的组织或器官。这一领域的发展对于再生医学、组织工程等领域具有重要意义, 有望在未来实现生物组织的定制化制造和修复。

#### 1.2.2 按照技术手段和应用领域分类

(1) 快速原型制造: 主要用于产品的设计验证和功能测试, 通过快速制造出产品的原型, 帮助企业降低成本、缩短设计周期。这种技术在产品开发初期具有广泛应用, 能够加速产品迭代和优化。(2) 三维打印: 一种更为广泛应用的增材制造技术, 通过逐层堆积材料, 能够制造出具有复杂结构和精细细节的三维实体。这种技术在文化创意、消费电子等领域具有广泛应用, 能够满足个性化定制和创意设计的需求。(3) 实体自由制造: 通过逐层堆积材料, 能够制造出任意形状和尺寸的三维零件, 具有较高的灵活性和定制化能力。这种技术在航空航天、汽车制造等高端制造领域具有广泛应用, 能够满足复杂结构零件的高精度和高强度需求。

## 2 增材制造技术的关键技术

### 2.1 材料单元的控制技术

(1) 控制材料单元在堆积过程中的物理与化学变化。在增材制造过程中, 材料单元(如粉末、丝材等)被逐层累加, 通过热源(如激光、电子束等)进行熔化或固化, 从而形成三维实体。在这一过程中, 如何控制材料单元的物理与化学变化, 是保证产品质量的关键。物理变化方面, 主要涉及材料的熔化、凝固、相变等过程。为了确保材料的均匀熔化和良好凝固, 需要精确控制热源的功率密度、扫描速度等参数, 以避免出现熔化不充分或过热现象。此外, 还需要考虑材料的热膨胀系数、热导率等物理性质, 以防止在制造过程中因热应力

导致的变形或裂纹。化学变化方面，主要关注材料在热源作用下的化学反应，如氧化、氮化、合金化等。这些化学反应可能导致材料性能的下降，如强度降低、耐腐蚀性能减弱等。因此，需要严格控制制造环境中的氧气、氮气等杂质含量，以及热源的温度和时间等参数，以减少化学反应的发生<sup>[1]</sup>。（2）激光熔化的微小熔池的尺寸和外界气氛控制。在激光熔化过程中，微小熔池的尺寸和外界气氛对产品的质量和性能具有重要影响。微小熔池的尺寸直接影响产品的微观结构和力学性能。为了获得良好的微观结构和性能，需要精确控制激光熔化的参数，如激光功率、扫描速度、光斑大小等，以确保熔池的尺寸稳定且均匀。外界气氛的控制同样至关重要。在激光熔化过程中，空气中的氧气、氮气等杂质可能进入熔池，导致材料的氧化或氮化反应，从而降低产品的性能。因此，需要采用惰性气体（如氩气、氮气等）对制造环境进行保护，以减少杂质对熔池的影响。

## 2.2 设备的再涂层技术

（1）自动化涂层的工艺方法对零件累加方向的精度和质量的影响。在增材制造过程中，自动化涂层设备用于将材料均匀地涂覆在已形成的层上。自动化涂层的工艺方法对零件的精度和质量具有重要影响。为了获得高精度的零件，需要采用先进的涂层工艺和设备，如刮刀式涂层、滚筒式涂层等。这些工艺和设备能够确保材料在涂层过程中的均匀性和稳定性，从而减少层间差异和累积误差<sup>[2]</sup>。此外，自动化涂层的工艺方法还需要考虑零件的累加方向。在增材制造过程中，零件的累加方向直接影响其形状和尺寸精度。因此，需要选择合适的涂层工艺和参数，以确保零件在累加方向上的精度和质量。（2）控制更小的层厚及其稳定性。层厚是影响增材制造产品精度和质量的关键因素之一。更小的层厚意味着更高的制造精度和更细腻的表面质量。然而，控制更小的层厚也带来了更大的技术挑战。为了控制更小的层厚并保持其稳定性，需要采用高精度的涂层设备和控制系统。这些设备和系统能够精确控制涂层的厚度和均匀性，从而减少层间差异和累积误差。此外，还需要对涂层参数进行精确调整和优化，如涂层速度、刮刀压力等，以确保涂层的稳定性和精度。

## 2.3 增材制造与传统切削制造的复合制造技术

增材制造技术与传统切削制造技术的结合，为制造业带来了新的变革。这种复合制造技术结合了增材制造的灵活性和高效性与传统切削制造的高精度和高质量，为复杂零件的制造提供了全新的解决方案。材料累加制造与材料去除制造的结合，使得在制造过程中可以根据

需要灵活选择加工方式。例如，在制造复杂形状或内部结构复杂的零件时，可以先采用增材制造技术快速生成大致形状和内部结构；然后利用传统切削制造技术对其进行精密加工和修整，以获得更高的精度和表面质量。这种复合制造技术不仅提高了制造效率和质量，还降低了制造成本和周期。然而，增材制造与传统切削制造的复合制造技术也面临一些挑战。例如，如何在增材制造过程中确保材料的均匀性和稳定性；如何在传统切削制造过程中避免对零件造成过大的损伤和变形等。

## 3 增材制造技术的应用现状

### 3.1 金属构件的3D打印自由成型

金属3D打印技术作为增材制造的重要组成部分，已在航空航天、汽车工业等领域展现出巨大潜力。金属构件的3D打印通常分为直接打印成型与间接打印成型两种方式。（1）金属的直接打印成型与间接打印成型。直接打印成型是指将金属粉末或丝材直接通过热源熔化并逐层堆积成所需形状。这种方法能够制造结构复杂、精度高的金属零件。例如，激光选区熔化（SLM）和激光近净成形技术（LENS）是两种常用的金属3D打印技术，它们通过激光束将金属粉末熔化并逐层堆积，制造出高精度、高强度的金属构件。间接打印成型则是指先将非金属材料（如塑料）打印成形状，再通过电镀、铸造等方法将金属材料覆盖在打印件上。这种方法在制造复杂结构、大型金属零件时具有显著优势<sup>[3]</sup>。例如，使用SLA（光固化立体成型）技术打印出塑料原型，再通过电镀技术将其转化为金属零件。（2）熔化金属的热源类型。熔化金属的热源类型主要有激光、电子束和电弧等。激光束是金属3D打印中最常用的热源之一，它能够实现高精度的熔化与堆积。电子束则适用于在高真空环境下进行金属熔化，能够避免材料氧化。而电弧则适用于大型金属零件的制造，因为它能够产生更高的热量，从而加快熔化速度。

### 3.2 生物医学器件3D自由成型

生物医学器件的3D打印是增材制造技术的又一重要应用领域。通过3D打印技术，可以制造出具有复杂结构的生物医学器件，如组织支架、手术器械及人工器官等。（1）组织支架的打印成型。组织支架是生物医学3D打印中的核心应用之一。通过CT或MRI等医学成像技术获取患者病变部位的3D模型，然后使用3D打印机将生物材料（如羟基磷灰石、聚乳酸等）逐层堆积成所需形状。这种支架能够为细胞提供附着和生长的基质，从而引导组织再生。（2）细胞和水凝胶的含量、比例、位置控制。在生物医学3D打印中，细胞和水凝胶的含量、比

例及位置控制至关重要。细胞作为生物体的基本单位，其数量与分布直接影响到组织支架的生物学功能。而水凝胶则作为细胞的载体，其含量与性质能够影响细胞的存活与分化。因此，在3D打印过程中，需要精确控制细胞与水凝胶的混合比例及打印位置，以确保打印出的组织支架具有良好的生物学性能。

### 3.3 建筑模型与构件打印成型

随着3D打印技术的不断发展，其在建筑领域的应用也日益广泛。大型3D打印机能够制造出结构复杂、精度高的建筑模型及构件，为建筑设计师提供了更多的创作空间。（1）大型3D打印机的应用。在建筑领域，大型3D打印机能够直接打印出建筑模型及部分建筑构件。这些打印机通常采用粉末床熔融或材料挤出等原理，将混凝土、石膏或聚合物等材料逐层堆积成所需形状。通过这种方法，可以制造出结构复杂、精度高的建筑模型，为建筑设计提供直观的参考。（2）建筑构件的质地与强度。3D打印的建筑构件在质地与强度方面表现出色。通过精确控制打印参数及材料配比，可以制造出质地均匀、强度高的建筑构件。这些构件不仅具有优异的力学性能，还能够满足建筑设计中对美观性和实用性的要求。例如，在混凝土3D打印中，通过调整混凝土的配比和打印参数，可以获得不同强度、不同纹理的混凝土构件。这些构件可以应用于墙体、楼板、柱子等建筑结构中，提高建筑的整体性能和美观性。此外，3D打印还可以实现建筑构件的个性化定制，满足建筑师和客户对建筑外观和内部空间布局的独特需求。

### 3.4 其他应用实例

除了金属构件、生物医学器件和建筑模型与构件的打印成型外，增材制造技术还在航空航天、汽车、电子等领域展现出了广泛的应用前景。（1）航空航天领域的结构轻量化。在航空航天领域，结构轻量化是降低飞行器能耗、提高飞行性能的关键因素。增材制造技术能够制造出具有复杂结构和高性能的轻质构件，如钛合金、铝合金等金属零件。这些零件不仅具有高强度、高韧性，还能够实现轻量化设计，从而降低飞行器的重量和

能耗<sup>[4]</sup>。例如，在C919飞机的制造过程中，就采用了激光立体成形技术来制造大型钛合金零件。该技术通过激光束将钛合金粉末逐层熔化并堆积成所需形状，从而实现了零件的高精度、高性能制造。这不仅提高了C919飞机的飞行性能，还降低了制造成本和周期。（2）C919飞机大型钛合金零件激光立体成形制造。C919飞机是中国自主研发的大型客机，其制造过程中涉及大量的高性能金属零件。其中，大型钛合金零件是飞机结构中的重要组成部分。这些零件具有复杂形状和高性能要求，传统制造方法难以满足其需求。为此，中国科研团队研发了激光立体成形技术，并成功应用于C919飞机大型钛合金零件的制造中。该技术利用激光束将钛合金粉末逐层熔化并堆积成所需形状，实现了零件的高精度、高性能制造。与传统的铸造、锻造等方法相比，激光立体成形技术具有制造周期短、材料利用率高、成本低等优点。同时，该技术还能够实现零件的个性化定制和快速响应市场需求。

### 结束语

综上所述，增材制造技术在多个领域展现出了强大的应用潜力和独特优势，推动了制造业的转型升级。随着技术的不断进步和创新，增材制造技术将在材料、精度、效率等方面取得更大突破，为制造业带来更多可能性。未来，增材制造技术有望在更多领域实现广泛应用，为人类社会的发展进步作出更大贡献，值得我们持续关注和研究。

### 参考文献

- [1]王硕,宋胜利.增材制造技术及其应用现状分析[J].科学技术创新,2020(07):60-61.
- [2]王晓敏.增材制造技术发展与应用研究[J].机械设计与制造,2020,(10): 101-103.
- [3]陈晓红,刘志峰.增材制造技术的发展现状及趋势分析[J].机械制造, 2018,(07):74-75.
- [4]陈理燃.金属增材制造技术在航空零部件应用与发展研究[J].冶金与材料,2024,(05):82-84.