

# 增材制造技术在航天领域的应用与前景

成 锐<sup>1</sup> 沈汝洵<sup>2</sup>

1. 北京航天自动控制研究所 北京 100040

2. 首都航天机械有限公司 北京 100040

**摘要:** 增材加工的技术, 一般是国家于20世纪80年代后期才产生的。而中国则在九十年代初期就已经进行了增材加工的技术研发了。经过近二十余年的发展, 增材加工工艺已变成了一个把最新的科学技术运用于尖端科技的重点开发方向, 在许多行业里已经开始获得普遍的运用和巨大的成功。甚至也有人认为, 3D的增材制造技术已是第四次工业革命的开端。在尖端科技的航空航天领域, 以及那些对材料性能具有较高要求的工业领域, 很自然地也开始采用了增材加工成形技术。在以前, 增材加工成型的技术在飞机制造业中还扮演着快速原型的小角色。而最近的研究也证明, 这一工艺将在未来的宇航领域中获得举足轻重的地位作用。

**关键词:** 增材制造技术; 航空领域; 发展; 前景

## 1 增材制造技术在航天领域的优势和局限

### 1.1 增材制造技术的优势

相比于传统减材工艺方法, 增材加工工艺技术运用在航天领域有着明显优越性, 具体可概括为以下几点。

#### 1.1.1 利于复杂航天产品的低成本设计

由于现代航空产品制造阶段往往受限于传统的设计技术, 因此一些比较复杂的轻量型、镂空型的飞机支架设计工作并不能完成, 在整个复杂化制造阶段中也主要停留在概念设计方面, 并没有充分利用实际的工程技术进行。增材成形制造技术也给复杂航天设计创造了更多的机会, 使复杂工程设计者的设计方式不再受到传统工程设计方式的约束, 为复杂工程设计的实现奠定了坚实基础。另外, 由于不同于常规设计中的产品结构越是复杂生产费用就越高的特性, 因此采用增材加工技术制作复杂产品设计的成本也并没有随之提高, 更有利于复杂产品设计的低成本设计。

#### 1.1.2 提高航天产品可靠性, 利于一体化产品设计

以增材成形工艺为核心技术, 将普通产品中零件间复杂的连接问题简单化, 完成产品的整体生产, 减少零部件制造后的组装周期, 增加生产的稳定性。因为传统的产品制造商都是构建在产业链和流水线系统之上, 生产零部件量越来越多, 结构也越来越复杂, 其供应链的产品线就会越来越多, 成本就会越来越大。这样采用一体化设计所形成的产品, 就大大减少了复杂的组装流程, 从而简化产品线, 进而减少了成本<sup>[1]</sup>。

#### 1.1.3 降低生产成本, 利于精益化管理

通讯作者: 郭冰, 北京理工大学

传统的减材工艺在生产制作中, 伴随着产品成形过程中产生了大量的金属切削屑, 而这些屑又无法再投入产品, 因此带来了巨大的质量损失, 也无形中提高了生产中的成本。增材成形制造工艺的损耗率将显著下降, 随着打印材料的不断进步, “净成形”的增材制造生产工艺将会变成更加节能环保的方法, 推动公司精益化运作, 达到公司效益的最优化。

#### 1.1.4 降低模具产品风险, 利于技术迭代

传统生产流程中, 对于复杂、大规模化或超大化的零件, 往往通过开模制造的方式完成, 而这一过程需要花费大量的资源投入、人力成本, 模具的品质也直接决定了产品的品质。增材成型工艺减少了这一中间环节, 降低了投入费用<sup>[2]</sup>。

#### 1.1.5 设备、材料携带方便, 即打即用

基于增材生产仪器的热打印特性, 一台设备可同时兼容多个减材设备的特性, 而通过增材生产的各种原材料又可作为减材设备中各种型号的主要原料, 使得在增材生产设备中采用的器件不受区域的局限, 特别在大型空间站上可以进行对空间或在轨零部件的即损即补, 从而减少了空间任务成本。

## 1.2 增材制造技术的局限

### 1.2.1 打印材料种类单一

耗材是目前制约增材加工技术应用的关键因素。目前已研制的材料主要有部分塑料、环氧树脂和金属等, 而增材制造技术要实现更多航天方面的应用, 还需要研发出更多的可打印材料<sup>[3]</sup>。

### 1.2.2 打印精度和质量较低

增材成形技术是先利用计算机辅助设计(CAD)或电脑动画建模软件模型,然后将所建立的三维造型“分区”成逐层的横向断面,然后用3D印刷机通过读取软件中的纵向截面信息,逐步打印出几何实体。而由于这种层状结构方式产生“台阶效应”,每个层面虽然很薄,但在某种微观尺度下,仍会形成具有一定厚度的逐级“台阶”,如果需要制造的对象表面是圆弧形,那么就会造成精度上的偏差,需要在“打印”成形后再进行表面打磨处理<sup>[4]</sup>。另外,因为3D打印出的产品并没有进行过热加工,所以其硬度、强度、刚性、抗疲劳性以及基础的机械性能,都不可与铸、锻件相比。

### 1.2.3 打印速度较慢

目前的热增材成型技术的主要生产特点是3D印刷机先将打印材料融化,而后从喷嘴中抽取材料,再移动喷嘴来完成材料的叠加,最后再完成材料处理。受到此打印模式的限制,打印效果相当缓慢,如需印制一种高质量产品,通常会耗费数小时或者几天的工夫。

### 1.2.4 打印产品性能稳定度较差

使用增材制造设备打印的产品未经热加工,其硬度、强度、刚性、抗疲劳性等机械性能都无法和铸造、锻件相比,物理性能、物理化学特性大多无法满足工程实用需要。使用增材工艺手段打印出的产品其材料的技术性指标稳定度相对不足,对于航天产品来说,易影响力学分析、热研究和优化研究成果,不利于产品的优化发展<sup>[5]</sup>。

## 2 增材制造技术的热源种类及区别

航空和航天工程领域中的热增材制造技术,主要包括了金属结构的热增材加工生产。目前,在金属增材制造工程中所使用的主要热源有三类:激光、电子束、和金属拱圈。以激光为热源的金属增材制备工艺有基于送粉的激光区熔融沉积;以电子束为热源的金属增材制备工艺有基于铺粉的电子束全国区熔融和基于送丝的电子束熔融区沉积。

电弧熔丝增材生产技术利用电弧或等离子弧为热源,使金导线材料熔融逐层堆积成型,生产出接近产品设计外形与厚度需要的三维金属片,然后铺以少量机械加工最终满足产品设计的使用条件<sup>[1]</sup>。

### 3 增材制造技术在航空航天领域的发展不足之处

尽管增材制造技术有着传统工艺无可比拟的优越性,因为其是一种新科技,新产品,许多方面发展不成熟不健全,使得在航空航天设备的重要器件上目前很难直接使用增材制造技术的生产

### 3.1 产品硬度强度不足

增材制造生产工艺的生产与普通的生产方式相比,在坚固的厚度和弹性上表现不足。增材制造生产工艺通过原料重组的工艺技术,进行打印制造。由此带来巨大便利性与可操作性的需求,伴随而来的是对原材料结构的破坏,以及物理性质的改变。例如金刚石能够通过传统工艺的研磨制造出一个坚不可摧的钻头,却又不能通过增材制造生产工艺来制造出一个会先磨损,又因为增材制造技术不能直接地给与碳的单质正四面体结合,内部物理化学结构改变,以及宏观层面的外部物理化学结构改变,使得增材制造加工技术的成品的物理性能可能不如原材料<sup>[2]</sup>。而宇航行业恰恰是一个对金属物理以及化学需求极大的领域,在发射升空,以及返回舱降落等极端情况下,这些金属都需要同时承受着极高温和巨大的热压强变化,这就要求金属的热膨胀系数要小,物理化学性能要高,熔溶解时的温度也需要极高温,坚硬度高,热抗拉强度大,韧性高,在极端环境以及急剧变动的情况下依然可以保证优异的表现,如此可以为航天航空事业发展提供保障。

### 3.2 产品精度问题

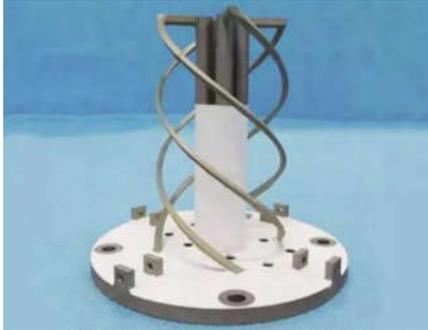
增材制作过程中所制作的板材通常都是一层层堆积起来的,所以就必须要保证每一层的材料足够薄并保持一定的精确度。在实际生产中,由于材质和技术方面的考虑并不是一定可以做到无限层堆叠,在这个的情况下,就容易出现“阶梯效应”,因此就无法做到表面均匀,特别是在一些球面之类的一些曲面上,做的就工会非常粗糙。这对于航天与航空工程中的精密元器件来说,是个致命的难题<sup>[3]</sup>。在一些重要零部件和更精确的电子元件设计方面,都容不得一丝的误差,这将直接关系到增材制作技术在宇航工程中的实际应用。

### 3.3 材料的局限性

针对目前的增材生产领域,可以实现直接3D印刷的原材料数量极其局限,目前可以很好实现的仅有水泥浆、无机内粉、光敏树脂工艺、塑料制品。其中以树脂居多。但是,金属增材造工艺的完善程度还远远不够。金属材料的局限性直接造成产品无法适应丰富多变的航空航天材料的需要。单一的原材料造成产品特性的单一化,无法适应在不同状况下航天器适应环境。并且在航空航天方面,也急切需要铝合金钛合金这种高度轻量化的复合材料以提高效能,但是由于原材料的局限性导致了复合材料的制备水平严重受限,而无法达到高性能的物理特点。为了实现对增材生产工艺的原材料应用,就

必须提高生产技术,改善材料的热熔能源,提高3D打印机速度。对目前的增材生产工艺做出了大幅度提升<sup>[4]</sup>。

3D打印铝合金螺旋天线如图所示



激光增材成型工艺是一种结合现代激光计算机软件、材料科学、设备、控制技术等多学科知识的系统化、复合型工艺。通过离散化手段的逐点加工或逐步“堆积”成形原理,依据产品三维CAD模型,快速“打印”出成品零部件,彻底改变了以往的金属材料零部件,尤其是高性能复杂加工、结构复杂的金属材料零部件的传统生产方法。

#### 4 增材制造技术在制造领域的发展前景

随着激光增材加工技术的开发,其在宇航行业以及其他尖端科技的日常生活中占有重要的作用。但要达到规模产业化,提高技术水平,优良性能,增材生产工艺尚有较长的道路要走。它是一种新型工艺,具有传统工艺无法比拟的优点。它不但生产方法特殊,生产方法也是和常规方法根本不同的<sup>[5]</sup>。它有着巨大的发展,具体因素有如下几方面。

##### 4.1 制造方式新颖,应用广泛,成本低廉

增材制造技术生产产品的过程中,就不再受常规车床生产的巨大资金和时间制约,也不需要专门制作模具才能完成工件的加工生产。而由于航空航天产业的很多零件都是独有的,所以不需要大批量生产,而少量的产品一旦采用了常规的加工生产技术制造,那么就还需要专门为其制造的车床模具,而单单为了生产这几个工件就制造了旋床,则是一个巨大的资金耗费。而普通车床制作需要很多的加工技术,显然,传统工艺所带来的风险也相当大。而现在采用增材生产的方式,就需要利用计算机制成三维模型,并借助3D印刷机,就可以进行不

同类型的零部件生产,同时还能够制作传统工艺所无法制造的内部结构更复杂的零部件<sup>[1]</sup>。

##### 4.2 生产周期短

避免了大工厂的从规划到生产一系列的准备工作,场地建设,工厂建造,机械安装等事宜,使用3D打印机即可顺利制造诸多需要的零部件,建立数学模型,可以用最少的制造周期生产出想要的商品。在宇航应用领域,能够大大缩短航空器的研制周期。

##### 4.3 生产制造思想的解放

增材成型技术将不仅在3D打印技术上有所发展,它带来的是人们生产加工思想的解放。随着对增材制造科学技术研究的深入与理解认识的逐渐丰富,人们越来越意识到增材制造技术的内涵似乎已经不仅仅局限于机械和材料学科,其所产生的创造力正在逐步向外辐射,日益影响着其他学科的发展,甚至是社会生产模式、思维模式的变革,以至于最终影响社会形态的发展。

##### 结束语

增材成型工艺不受零件造型与尺寸的限制,赋予了产品设计更大的自由,并且因其高速快捷的实现能力,对产品设计的原型创作、模型验证、模样展示、个性化订制等方面形成了极大价值,在现阶段发展得十分迅速。比较成熟的激光选区划分熔化成型、激光熔融沉积成型、电弧增材制备、多材料掺杂的结构电子一体成型、高强高耐热多聚物熔融沉积成型等增材制备技术已经被广泛应用在火箭、卫星支架、空间站等领域。

##### 参考文献

[1]摘自:南京航空航天大学增材制造(3D打印)研究所田宗军顾冬冬沈理达谢德巧王东生.激光增材制造技术在航空航天领域的应用与发展

[2]摘自:宋建丽,王国彪,黎明.“增材制造科学与技术中青年学者论坛”在西安召开。

[3]周伟民,夏张文,马剑雄,周建,司君平,刘宏业,李小丽.增材再制造产业的现状与发展[J].自动化仪表,2021,42(02):1-5+15.

[4]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(17):170-171.

[5]卢秉恒.增材制造技术——现状与未来[N].中国信息化周报,2020-04-20(007).