

# 典型无机非金属材料增材制造现状与创新探究

张卓 张洪明

机械工业第六设计研究院有限公司 河南郑州 450007

**摘要:** 在材料科学蓬勃发展的今天,无机非金属材料品种不断增加,当前,常见无机非金属材料种类有水泥、陶瓷、玻璃、金属、陶瓷复合材料以及塑料等等,其中,以陶瓷最为常用。随着科学技术的发展,人们对于无机非金属材料提出了更高要求。如:高韧性、高强度。无机非金属材料具有较好的力学性能和耐磨损性能。但是,由于其脆性大、抗氧化性差,且难以加工成型,严重影响了它的使用性能。而无机非金属材料的这些特性使得它能够满足现代社会需求。因此,这类物质的使用日益显得重要,特别适用于建筑、国防、电子等领域、医疗及铸造。本文对典型无机非金属材料增材制造及其应用进行了介绍和分析。

**关键词:** 无机非金属材料; 典型; 增材制造

## Research on current situation and innovation of additive manufacturing of typical inorganic nonmetallic materials

Zhuo Zhang

Hongming Zhang

Machinery industry sixth Design and Research Institute Co., LTD. Henan Zhengzhou 450007

**Abstract:** In today's flourishing field of materials science, the variety of inorganic non-metallic materials continues to expand. Currently, common types of inorganic non-metallic materials include cement, ceramics, glass, metals, ceramic composites, and plastics, among which ceramics are the most commonly used. With the development of science and technology, higher requirements have been placed on inorganic non-metallic materials, such as high toughness and high strength. Inorganic non-metallic materials have good mechanical properties and wear resistance. However, their brittleness, poor oxidation resistance, and difficulties in processing and shaping severely affect their usability. These characteristics of inorganic non-metallic materials enable them to meet the demands of modern society. Therefore, the use of such materials is becoming increasingly important, especially in fields such as construction, defense, electronics, medical applications, and casting. This paper introduces and analyzes the additive manufacturing and applications of typical inorganic non-metallic materials.

**Keywords:** inorganic non-metallic materials; typical; additive manufacturing

### 前言

无机非金属材料传统加工工艺具有生产工艺落后、自动化程度不高、生产周期长、材料利用率不足的弊端,使生产所需无机非金属材料的加工和生产变得十分困难。国内外科学家们一直在研究和寻求先进制造技术,增材制造的问世,不仅是对传统加工技术缺陷的一种弥补,还给无机非金属材料生产和制造带去一片崭新的光明。增材制造(AM)是20世纪80年代后期才逐渐出现的先进成型制造技术,又称快速成型技术,其不但为无机非金属材料创造了新的途径,还提高新产品的市场竞争力。

### 一、增材制造技术概述

增材制造技术起源于美国,由美国著名学者 Henry Mc Donald 教授创立,并于上世纪90年代得到迅速发展,它具有成本低、效率高、周期短、性能稳定等特点。材料减少与模具制造这样的传统机制是有区别的,增材制造技术

是利用计算机技术生产的。首先,通过计算机建模软件来模拟各种复杂结构,如金属零件,陶瓷或塑料零件;其次,通过对三维模型进行数控编程,实现CAD/CAM一体化,然后采用快速成型工艺成形出实体零件;最后将其装配成完整产品。薄壁、封闭的内腔及其他结构复杂,加工方法很难制作,适合单件或者小范围精密制造。它们在航空航天、医学和其他方面中有着广泛的应用,都是当前各单位关注的重点。随着对于该类材料需求的增加以及相关理论研究的不断深入,传统加工技术已经无法满足实际要求,急需一种高效、高质量的新型机械加工工艺技术。从整体上看,无机非金属材料传统加工工艺具有加工困难、制造工艺落后及其他弊端特征,因此要想实现其高性能化必须对传统加工工艺进行创新改造。增材制造技术应运而生,攻克了以上难题,它给典型非金属材料生产制造提供了一个全新的发展方向。

## 二、增材制造的分类

增材制造包括粉末注射成型(MIM),采用粉末冶金法制备各种形状零件或构件。目前最常用的方法有:电弧喷涂工艺、电子束熔覆工艺和等离子弧沉积工艺等。

### 2.1 材料类型分类

根据增材制造材料可分为三大类,即金属类、陶瓷类及高分子类材料。其中,金属粉末注射成形(SMC)是一种重要的金属增材制造方式之一,具有广阔的发展前景。特别是在航空航天等需要小批量的领域、高密度方面;非金属无机纤维增强复合材料(FRP)因其轻质高强而受到人们广泛关注,已应用于航天飞行器上,并取得了很好的效果,特别适用于陶瓷制品;有机聚合物(例如,特种树脂,光敏树脂)广泛应用于日常生活中,特别是树脂制品备受青睐;在生物材料的发展过程中,利用增材技术制备人工骨也已经成为一个热点研究方向。

### 2.2 生产资料分类

增材制造材料的形式是多种多样的,主要有粉末颗粒、线材、条状材料与液态材料的混合。通常情况下,材质不一样,热源形态各异,情况各异。实际上材料在增材制造中起着举足轻重的作用。研究者应关注制作过程中的物料类型,对不同的形状类型进行了加工参数的设计,降低了形状对于部件的冲击,减小了内应力并改善了性能。同时也要注意,增材制造的成型质量会受到多种因素影响。

## 三、典型无机非金属材料增材制造的应用

### 3.1 建筑类材料的应用

建筑行业中增材制造与传统工业制造存在较大差异,它的主要目的是对现有建筑物进行数字化设计、快速成型、快速装配以及功能集成<sup>[1]</sup>。改革开放以后,我国建筑行业得到迅速发展,但目前仍然以粗放型为主,缺乏先进高效的自动化装备,因此迫切需要利用先进科学技术来改变这种状况。建筑增材制造取代传统建筑人工施工工序,提高施工效率,为建筑业现代化发展提供支持。当前增材制造已经引起了国际上的普遍重视。它有多种分类方法,其中,采用激光熔覆技术和电子束熔化沉积成形技术可以制备出复杂构件。此外,还可根据实际需求选择使用其他技术或设备,建筑行业的零部件大小不同,其精度也不同,需要不同的结构形式,为了满足制造工艺上的需要;印刷方式各不相同,各种增材制造方法应运而生,用于制造;预制与现场制作并行完成,已有印刷施工工艺尚不成熟,速度与精度难以协调,需要预制与现场制作相结合的方法。

在科学技术迅猛发展的今天,我国建筑行业增材制造的方向,主要在于代替劳动强度高的问题、人工成本较高等作业工艺及流程。增材制造要求与实际施工工艺相结合,使其成为一种先进的建筑物建造技术。增材加工具有精度高、效率高、成本低、可重复利用等优势,可以为建筑工程提供更多优质资源,从而推动建筑业发展。增材制造中所使用的原材料一般都属于难变形材料,因此对其力学性能提出很高的要求,应选择适当的装置进行框架构件或墙体等部位的制作,以保证施工质量以及施工进度<sup>[2]</sup>。但目前所用到的方法并不十分有效,在上述问题上,材料问题是最突出的问题。能打印出混凝土,在强度方面、安全性方面出现了一些问题等,增材制造打印后混凝土无法获得钢筋混凝土结构。面对以上问题,科学家着手对配制钢筋混凝土用非增强功能材料进行了研究与开发,其中,纳米混凝土就是今后的一种趋势。在智能增材制造领域,人们用多维打印,满足居住的个性化需求,透过多维制造,修建了大小形状各异的房屋,提高了施工质量和施工效率。但在房地产这一传统行业中,活动房的制作大多是手工拼装而成,工作效率较低。但增材制造能较快制造板式房屋,剪强度高、成本低,极大地降低建造成本。

### 3.2 陶瓷材料应用情况

#### 3.2.1 陶瓷 3DP 技术

3DP 技术在 3D 打印机上通过添加粘结剂或其他添加物来改善制品性能。由于粘结剂种类繁多、含量不同以及配方复杂,目前使用最普遍的粘结剂为环氧树脂类树脂,其固化反应过程存在明显不足。结合强度不够、力学性能较差等现象,打印体易发生体积收缩现象、结构变形较大,尺寸欠佳的问题及精度。另外,3DP 增材制造产品后处理时易产生缺陷,需进行人工修复,造成尺寸及精度的大幅度降低,强度较低易出现内应力裂纹。当前,3DP 成型技术仍然是陶瓷添加剂制造的主流技术。国内外科学家一直致力于提高零件强度、精度等方面的研究,论述了优化后处理工艺的途径。在新型高性能陶瓷零件中,梯度材料及其复合材料在陶瓷领域中具有重要的研究意义<sup>[3]</sup>。

#### 3.2.2 SLS 陶瓷技术

SLS 是我国学者所重视的一项技术,通过调节压力和温度等参数可以得到不同组织结构的陶瓷制品,选用适当粉末,以控制工艺及成型速度,生产出三维零件。国内外科学家对材料的选用基本上都是 SiC、TiN、WC、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、ZrO<sub>2</sub>,采用浆料铺设的方式、激光烧结等,设计了预热铺设工艺,对加热与冷却过程进行控制,制备了较理想陶瓷

模型。尽管试验的过程较为理想，但是从应用的角度来看,SLS 陶瓷技术尚不够成熟，很难制造出能符合实际需要的陶瓷件。随着 SLS 技术的不断研究，在使用过程中，也出现了如下的一些问题：印刷材料选择与制备难、成型速度低、成形精度差等，这些都制约着其进一步发展。打印材料选择与制备很难实现产业化，没有发现理想的产品和标准。SLS 设备价格昂贵，一般企业无法承受，难以推广普及。而激光直接制粉法又有成本过高、粉末颗粒形状复杂等缺点，不利于推广应用。此外，陶瓷表面粗糙度过大，再加上陶瓷材料对激光能量的吸收率不高，制取所得物质不能完全满足实际应用要求，加工时易出现大收缩量。热处理不当，可引起脆性开裂，甚至产生裂纹或剥落现象。这些都限制了该方法在工业上的广泛应用。我国科学家在选材上正逐步改进和优化、成型工艺和后处理技术等内容，重点开发新型陶瓷打印材料，现代化发展的表面质量问题、致密性和性能不断得到提高，生产出理想的陶瓷精密零件，继续深入研究，增材制造的技术会越来越成熟，能够产生巨大的社会效益。

#### 四、无机非金属材料增材制造的未来发展

##### 4.1 3D 成形技术

三维打印技术（3D）的发展源于美国麻省理工学院，类似于增材制造，液滴喷射时产生的细小金属颗粒或者陶瓷粉末，还可能沉积在物体表面上。当前国内外 3D 成形技术已广泛应用于多个领域：如生物医疗、医学修复与再生、结构工程、汽车零部件制造等等。例如，可以将医用组织工程化，并能够加工成复杂形状的零件；可直接制成各种构件，甚至是整体结构件；也可以用来构建人造器官等。国外自 1990 年起对 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 陶瓷材料进行了研究，成功地制备出具有良好力学性能和生物学性能的人工关节及软骨。国内在这一方面起步较晚，目前尚处于初步探索阶段。但随着科技水平不断提高以及社会经济的不断进步，3D 打印技术必将得到广泛重视。现在，国内外研究者纷纷投入陶瓷材料用于 3D 打印。

##### 4.2 SLS 成形

SLS 成形方法属于一种快速凝固成形技术，它是以粉末冶金为基础发展起来的先进制造技术之一，该技术可以实现三维复杂结构的一次加工成形。这种成型方式一般应用于陶瓷、金属及其合金零件的成型。先将粉末准备好表面，再经激光烧结凝固，逐层获得需要形状的零件。在黏结剂的视角下，成形时又分需加入结合剂及不含结合剂两种情况，使其能够适用不同材料的要求；此外还能避免传统铸造中产生缺陷，提高产品精度和性能。因此,SLS 技术具有广泛的应用领域。SLS 技术可用于制备各种高性能材料，如：钛合金、高温合金、陶瓷材料以及复合材料等等，改变传统陶瓷制备速度缓慢的问题、成型效果不佳等。

##### 4.3 SLM 成形

SLM Molding 发展状况国外科学家在 SLS 的基础上开展了 SLM 的研究，选择适当的热源（通常是激光）熔化固体粉末，层层得到部件。与 SLS 技术相比,SLM 具有工艺简单、成本低等优点。由于 SLM 技术本身的特点和优势,SLM 可以作为一种新型的加工方法广泛应用于生产生活的各个方面。

#### 五、结论

典型无机非金属材料增材制造技术是在 3D 打印技术基础上发展起来的先进复合材料成型工艺，现已在建筑材料领域中得到了广泛的应用，并且获得了较好的经济效益。文章主要分析了典型无机非金属材料增材制造的研究状况及应用，其目的是为相关领域的研究提供参考依据。

#### 参考文献：

- [1]邱建荣, 史才军. "无机非金属材料 3D 打印技术"专  
辑前言[J]. 硅酸盐学报, 2021, 49(5):2.
- [2]关岩李志辉李婷徐娜田琳李国华. 一流课程建设背  
景下无机非金属材料综合实验教学的改革与实践[J]. 科教  
导刊-电子版(上旬), 2021, 000(002):118-119.
- [3]钟彬扬. 典型无机非金属材料增材制造现状及创新  
路径[J]. 漳州职业技术学院学报, 2021, 023(001):84-89.