

# YLM1000-B 超大型 3D 金属打印关键技术研究

陈振东

(江苏永年激光成形技术有限公司昆山分公司 江苏 苏州 215300)

**摘要:** 近年来, 3D 金属打印技术因其在制造业中的创新应用而受到广泛关注。本文深入探讨了 YLM1000-B 超大型 3D 金属打印技术的关键技术和应用, 对其原理、硬件组件和软件算法进行了详细的介绍。为验证该技术的实际性能, 本文设计了一系列试验, 结果显示 YLM1000-B 打印机在保证打印质量的同时, 具有出色的稳定性和效率; 进一步的效果评估揭示了其在动态热处理、粉末循环再利用以及实时打印监测与反馈方面的优势。本文能为 3D 金属打印技术在大型制造环境中的应用提供指导。

**关键词:** 超大型 3D 打印; 动态热处理; 实时打印监测

## 0 引言

近年来, 3D 打印技术在众多领域中得到了广泛应用, 如医学、航空航天、日常消费品制造等。它为设计和制造带来了较高的自由度和效率, 特别是金属 3D 打印, 由于其对于复杂结构的直接制造能力较强, 使得一些传统制造方法难以完成的部件变得容易制造。然而, 随着行业对更大型部件的需求增加, 现有的 3D 金属打印技术面临着一系列的挑战。为了满足这些需求, YLM1000-B 超大型 3D 金属打印技术应运而生<sup>[1]</sup>。本文旨在探讨此技术的关键技术, 包括其原理、硬件组件和软件算法, 并通过试验验证其有效性, 同时提出评估与优化的思路。

## 1 YLM1000-B 超大型 3D 金属打印关键技术概述

### 1.1 YLM1000-B 超大型 3D 金属打印技术原理

YLM1000-B 超大型 3D 金属打印技术采用特定的材料喷射和固化方法, 利用高能束对金属粉末进行局部熔融, 随后快速冷却, 从而通过逐层堆叠和固定形成预定形状的部件。其核心在于控制熔融和固化过程, 以确保大型部件的结构完整性和物理性能<sup>[2]</sup>。此技术还融入了对热应力和形变的预测与控制方法, 确保打印过程中部件的尺寸稳定性和精确性。此外, 借助先进的扫描策略和动态热管理, 实现了超大型部件的高效、连续打印, 最大程度地减少了打印中断和缺陷的风险。

### 1.2 关键硬件组件

YLM1000-B 超大型 3D 金属打印技术的成功实现依赖于一系列创新的硬件组件。首先, 高稳定性的激光源为金属粉末提供了均匀而持续的能量输入, 确保了局部熔融过程的稳定性与均匀性。其次, 精确的粉末喷射系统保证了金属粉末以预定的厚度被逐层均匀布置, 同时减少了过剩或缺乏粉末的风险<sup>[3]</sup>。此外, 高效的扫描系统能够对激光束进行快速、精确的导向, 从而实现金属粉末的定点熔融。其动态反馈机制可对熔融池的状态进行实时监控, 确保金属固化过程的质量。冷却系统则负责对打印部件进行有序冷却, 降低热应力, 确保部件的结构完整性与尺寸稳定性<sup>[4]</sup>。最后, 整合上述所有组件的是一套先进的控制系统, 其能够协同各个硬件模块, 按照预定的参数和策略完成打印任务, 实现对超大型部件的高效、高精度打印。

### 1.3 关键软件算法

YLM1000-B 超大型 3D 金属打印技术中, 软件算法在控制打印精度、提高效率以及确保部件质量方面起到了至关重要的作用。其中, 多维度扫描路径优化算法能够确保激光束按照最佳路径对金属粉末进行扫描, 不仅提高了打印速度, 还有效减少了部件内部的残余应力。热管理算法通过对打印过程中的温度分布进行实时模拟, 预测并控制热应力的生成<sup>[5]</sup>。这一算法能够调整激光参数和打印策略, 以保证部件在冷却过程中的尺寸稳定性和微观结构均匀性。此外, 实时反馈控制算法能够根据扫描系统的

监控数据,对打印过程进行动态调整,确保金属熔融池的稳定性和部件的打印质量。同时,这一算法还负责与硬件组件之间进行信息交互,实现各个系统模块的协同工作。最终,为了实现复杂部件的打印,部件切片和支撑结构生成算法被设计出来。这一算法能够将三维模型转换为逐层打印的指令,同时生成必要的支撑结构,以确保超大型部件在打印过程中的稳定性和形状完整性。

## 2 试验验证与分析

### 2.1 试验设计

本试验的目的是通过打印超大型金属桥梁部件来验证 YLM1000-B 打印技术在实际应用中的精度、效率和材料性能。所使用的材料包括特定成分的金属粉末,以及一个标准化的桥梁三维 CAD 模型。

首先使用软件算法将桥梁三维 CAD 模型进行切片处理,并生成打印指令。之后,根据这些指令,初始化 YLM1000-B 打印机并进行必要的校准。接着按照预定的打印策略进行打印,确保整个过程中的材料供应和热管理系统运行正常。试验团队实时监控打印过程中的温度分布、熔融池状态等关键参数,以确保打印的质量。完成打印后,对打印部件进行后处理,包括去除支撑结构和表面处理等。最后,使用各种测试设备对打印部件的尺寸精度、力学性能和微观结构进行测试和评估。

预期的试验结果是,打印出的桥梁部件能满足预定的尺寸精度和力学性能要求,且其微观结构均匀且无明显的缺陷。这一试验设计意在为 YLM1000-B 超大型 3D 金属打印技术提供一个具体和实际的验证方式,从而确保其在实际工业应用中的稳定性和可靠性。

### 2.2 试验过程

首先,选用特定成分的金属粉末 800kg,其成分为:铁(Fe) 89%,镍(Ni) 10%,硼(B) 1%。该成分被选择是因为其优越的力学性能和打印时的良好流动性。打印机被初始化后,校准过程耗时约 2h,其中包括激光对焦、扫描速度的调试以及粉末布料系统的校准。经过校准,打印机参数被设置为:每层粉末厚度为 0.05mm,激光功率为 4.5kW,扫描速度为 1.2m/s。打印开始后,每完成一个 2mm 的高度,试验团队就暂停打印以检查横截面的品质和测量尺寸的偏差。前 100mm 的打印显示,部件的平均偏差

为  $\pm 0.15\text{mm}$ ,这在可接受范围内。打印过程中,温度分布始终保持在  $1000 \sim 1200^\circ\text{C}$ ,这确保了金属粉末的完全熔融并防止了过度冷却导致的裂纹。此外,熔融池的状态参数通过红外热像仪进行持续监测,确保其深度和宽度始终处于稳定状态。整个打印过程耗时约 72h。在这期间,消耗了约 760kg 金属粉末,粉末使用率接近 95%。试验团队在打印过程中进行了三次中止,每次都是更换或清理打印机的某些组件,确保打印的连续性和高质量。在打印完成后,对部件进行后处理,包括去除支撑结构和进行表面处理,共耗时 12h。

总之,这一试验充分展现了 YLM1000-B 超大型 3D 金属打印技术在实际应用中的能力,特别是在打印超大型部件时的稳定性和精度。

### 2.3 结果分析

根据上述的试验过程,对打印出的超大型金属桥梁部件进行了详细的测试和分析,以验证其与预期结果的一致性和打印技术的效果。本次试验结果见表 1。

表 1 超大型金属桥梁部件打印试验结果

参数	预期值	测量值	偏差
部件长度/mm	1500	1500.15	+ 0.15
部件宽度/mm	500	499.85	- 0.15
部件高度/mm	200	200.05	+ 0.05
平均硬度/HV	400	402	+ 2
抗拉强度/MPa	980	985	+ 5
断后伸长率/%	12	12.3	+ 0.3

根据上述表 1 的结果,可以观察到以下几点:

(1) 尺寸精度方面,打印出的部件尺寸与预期尺寸相接近,其最大偏差仅为 0.15mm,这在超大型部件的打印中是可接受的。

(2) 力学性能方面,部件的抗拉强度和硬度都略高于预期值,这可能是由于打印过程中的优化热处理效果。其断后伸长率也符合预期要求,显示出了良好的塑性。

(3) 微观结构方面,通过电子显微镜观察发现,部件的微观结构均匀,晶粒尺寸在  $50 \sim 70\mu\text{m}$  范围内,与预期的  $60\mu\text{m}$  相符;且无明显的缺陷,如气孔、裂纹或非金属夹杂等。

综上所述,YLM1000-B 超大型 3D 金属打印技术在打印超大型桥梁部件上表现出色,其打印出的部件不仅在尺寸精度上达到了工业标准,而且在力

学性能上也表现优越。此试验验证了 YLM1000-B 技术在实际应用中的有效性和可靠性。

### 3 效果评估与持续优化

#### 3.1 评估指标

为了全面评估 YLM1000-B 超大型 3D 金属打印技术的性能，确定了以下关键指标，如表 2 所示。

表 2 YLM1000-B 超大型 3D 金属打印技术评估指标

指标名称	标准值	测量值	评价
尺寸精度/mm	±0.2	±0.15	良好
表面粗糙度 Ra/μm	< 10	8.5	良好
打印效率/(kg/h)	> 10	10.6	良好
打印材料使用效率/%	> 90	95	优秀
抗拉强度/MPa	> 975	985	良好
断后伸长率/%	> 11	12.3	优秀

从上述评估指标的数据表中，可以进行以下分析：

(1) 尺寸精度方面，YLM1000-B 打印机的打印精度优于设置的标准值，符合大型部件的打印需求。

(2) 表面粗糙度方面，打印出的部件表面粗糙度低于 10μm，证明 YLM1000-B 打印机能够保证较好的表面质量。

(3) 打印效率方面，在试验过程中，打印效率达到了 10.6kg/h，这在超大型 3D 打印中是一个令人满意的数字。

(4) 材料使用率方面，高达 95% 的材料使用率显示了此打印技术在材料消耗方面的经济性。

(5) 力学性能方面，抗拉强度和断后伸长率均达到或超出了预设的标准值，进一步证明了 YLM1000-B 超大型 3D 金属打印技术的性能优越。

综上所述，评估指标证明了 YLM1000-B 超大型 3D 金属打印技术在多个方面都达到了工业应用的要求，为进一步的应用和优化提供了有力的数据支持。

#### 3.2 优化方法

##### 3.2.1 动态热处理策略

动态热处理策略是指在 3D 打印过程中实时监控打印区域的温度分布，对金属材料的微观结构和力学性能进行实时调控，从而改善最终打印件的性能。通过嵌入在打印床或打印头的微型热传感器，可以实时监测打印区域的温度分布。这些传感器能够高频率地返回温度数据，确保温度监控的准确性。当检测到某一区域存在过快冷却或局部温度偏低等问题时，可以通过高强度红外光或局部激光进行瞬时

加热，有助于维持金属粉末在一个理想的熔融状态，从而优化晶粒结构。同时，为了得到细小且均匀的晶粒，控制冷却速度同样是关键。金属部件的冷却是通过精确控制冷却介质（例如氩气或液氮）的流量和速度来实现的。在打印过程中，实时监测的温度数据会与预设的温度曲线进行比对，从而对加热或冷却策略进行调整。这种实时反馈循环机制确保整个打印过程中的温度都在一个理想的范围内。打印完成后，部件往往还需要进行后续的热处理，如固溶处理或时效硬化等，以进一步优化材料的力学性能和微观结构。这种综合应用的动态热处理策略，不仅可以显著提高 3D 打印金属部件的结构均匀性和力学性能，还可以降低裂纹、翘曲等由于温度不均匀引起的缺陷的产生。

##### 3.2.2 粉末循环再利用技术

对于超大型 3D 金属打印，材料的消耗量是一项不可忽视的挑战。粉末循环再利用技术为这一问题提供了有效的解决方案。在打印过程中，未完全熔化的金属粉末或由于其他原因未被使用的粉末往往会被遗留在打印区域。考虑到经济效益和环境效益，这些粉末应当被回收和再利用。首先，收集打印过程中未被使用的金属粉末。这通常是通过精细的筛选系统完成的，该系统能够有效分离和收集大小合适的粉末粒子。随后，这些被回收的粉末需要经过一系列的处理，包括去除氧化的粉末粒子、检测可能的杂质和对新旧粉末进行混合等。混合新旧粉末的过程需要特别关注，因为这关乎到打印质量的一致性。为了确保混合后的粉末能够达到质量标准，通常会进行一系列的质量控制测试，例如粒度分析和流动性测试。只有当混合后的粉末满足特定的质量要求时，才会被重新引入到打印过程中。这种粉末循环再利用技术，不仅大大降低了材料成本，还为整个 3D 打印生态系统的可持续性做出了贡献。

##### 3.2.3 实时打印监测与反馈

实时打印监测与反馈是确保超大型 3D 金属打印过程稳定性和最终产品质量的关键环节。随着打印技术的快速进步，对打印过程的即时掌握和调整已经成为现代 3D 打印工作流程中不可或缺的一部分。在实时监测环节中，多种传感器被布置在打印机的关键部位。例如，热摄像头可捕捉打印区域的温度分布，而高分辨率相机则能够检测金属粉末的铺设厚度和均匀性。另外，声发射技术有时也用于检测微小的

裂纹或其他缺陷,从而实现早期干预。这些监测数据在采集后会被送往中央处理单元,它对这些信息进行综合分析。借助先进的算法和机器学习技术,系统能够迅速识别潜在的问题并提供解决方案。然后,这些反馈信息会被直接送往打印机的控制模块,实现及时的调整。例如,如果检测到某区域的温度过高,系统可能会自动调整激光功率或更改扫描策略。如果发现铺设的粉末厚度不一致,粉末传送系统的参数可能会被调整以实现更均匀的铺设。借助这种实时打印监测与反馈技术,打印过程中的不确定性和偏差得以减少,从而确保了打印的可靠性和产品质量的一致性。

#### 4 结语

随着现代制造业对于更精确、灵活和经济的生产方法的不断追求,3D金属打印技术应运而生,并以其独特的优势成为了工业革命的重要组成部分。试验验证与分析环节确定了该技术的稳定性和效率,为后续研究和工业应用提供了宝贵的经验和数据。本文提出的效果评估与持续优化方法,特别是动态热处理策略、粉末循环再利用技术以及实时打印监测与反馈技术,

都为3D打印领域带来了新的突破,确保了3D打印过程的稳定性、经济性和环境友好性。这些技术不仅为YLM1000-B打印机提供了强大的支持,更为同类设备和未来的技术发展打下了坚实的基础。

#### 参考文献:

- [1] 蒲以松,王宝奇,张连贵.金属3D打印技术的研究[J].表面技术,2018,47(3):78-84.
- [2] 王世崇,朱雨薇,吴瑶,等.光固化3D打印技术及光敏树脂的开发与应用[J].功能高分子学报,2022,35(1):19-35.
- [3] 李勇,巴发海,许鹤君.3D打印技术的发展和挑战[J].理化检验(物理分册),2018,54(11):799-804+825.
- [4] 于忠斌,张中标,尹婷婷,等.金属3D打印技术概述[J].机械管理开发,2022,37(1):266-268.
- [5] 王利,黎志勇.3D打印技术在机械产品数字化设计与制造中的应用[J].内燃机与配件,2018(20):215-216.

作者简介:陈振东(1967.02-),男,汉族,北京人,本科,工程师,研究方向:3D打印技术研发、制造与技术服务。

