

增材粉末金属打印原材料加入管控的管理方法研究

刘娟 常涛 乃晓文 高军
共享智能铸造产业创新中心有限公司 宁夏 银川 750021

摘要：本文聚焦于增材粉末金属打印3D打印领域，针对3D打印机设备供应商面临的客户使用非原装原材料导致打印质量下降、设备损坏风险增加甚至知识产权侵权等问题，深入探讨在管理系统中引入原材料使用监控、设置原材料消耗等级提醒以及在原材料耗尽后控制打印机锁机的管理方法。通过对原材料从生产、运输、存储到消耗全过程的详细分析，旨在为该领域的原材料管控提供一种系统化、精细化的感控思路，确保打印质量和一致性，延长设备使用寿命，降低维护成本，并保护知识产权。本文将实时监测原材料消耗量，根据打印任务类型和设备性能动态调整消耗等级阈值，并在原材料耗尽后自动暂停打印任务并提示用户更换材料，甚至通过远程控制锁定打印机，防止使用非原装材料。这种系统化、精细化且与打印机控制相结合的管控思路，为相关研究者和从业者提供参考依据，助力增材制造行业健康发展。

关键词：增材粉末金属打印；原材料管控；过程管理；消耗等级提醒

1 引言

增材制造技术的快速发展推动了增材粉末金属3D打印在工业领域的广泛应用。打印原材料的质量和稳定性直接影响打印成品的性能。为确保打印效果和设备寿命，部分3D打印机设备厂商希望对客户打印机的原材料使用进行有效管理，鼓励使用原装原材料。本文重点研究如何在管理系统中引入原材料使用监控、设置消耗等级提醒，以及在原材料耗尽后控制打印机运行等管理方法，以实现增材粉末金属3D打印原材料的精准管控。

2 原材料使用监控管理

2.1 监控模块的构建

实现原材料管控的基础是构建专门的原材料使用监控模块，并将其集成到3D打印机管理系统或直接构建于3D打印机管理系统中。该模块需要与打印机的硬件传感器配合，实时采集打印过程中的相关数据，用于计划原材料耗用。采集的数据包括打印产品的重量、体积、使用时长等信息。例如，通过在粉末料仓中安装高精度重量传感器^[1]，可以精确监测粉末剩余量；在打印喷头处设置流量传感器，可以实时获取粉末消耗速率。这些传感器获取的数据会及时传输至监控模块，为后续分析和管理工作提供数据支持^[1]。

2.2 数据采集与传输

为确保监控的准确性和实时性，需要合理设置数据采集的频率和精度。对于关键数据，如粉末剩余重量，应采用较高的采集频率，以便及时捕捉原材料的微小变化。同时，要保证数据传输的稳定性和安全性，避免数据丢失、错误或被篡改。可以采用加密传输协议和数据

校验机制，确保数据的完整性和可靠性。

对于未安装精密采集传感器的打印机，可以根据采集的打印产品重量、体积、使用时长等信息计算耗用量，并与库存数据集成，实现耗用量和剩余量监控。



图1 打印任务监控图示



图2 原材料消耗数据管理图示

2.3 监控数据的存储与管理

在数据采集后，为了实现有效的存储和管理，设计一个具备用户友好的界面，专门做数据管理模块，用于集中存储和管理采集的数据，方便管理人员进行操作。根据不同的维度对数据进行分类存，按照数据采集的时

间进行归档，便于追踪历史记录。将数据与具体的打印任务关联，方便后续分析任务的执行情况。根据原材料的批次进行分类，便于追溯和管理原材料的使用情况。

3 原材料消耗风险等级提醒设置

3.1 风险等级划分标准

根据原材料的使用情况和耗用计划，科学地划分原材料消耗等级是实现有效提醒的关键^[2]。一般来说，可以将消耗等级划分为低风险、中风险、高风险和即将耗尽等多个级别。每个级别的划分标准应综合考虑打印任务的规模、频率、原材料的初始储量以及打印设备的性能等因素。

以下是一个可参考的消耗风险等级划分：

低风险等级：剩余量高于总储量的50%。打印任务频率较低，且原材料消耗速度缓慢。

中风险等级：剩余量在30%至50%之间。打印任务频率适中，原材料消耗速度逐渐加快。

高风险等级：剩余量低于30%但高于5%。打印任务频繁，且预计在短期内会消耗大量原材料。

即将耗尽等级：剩余量低于5%。需立即采取措施，如补充原材料或调整打印计划，以避免生产中断。

通过这样的划分，可以帮助相关人员及时了解原材料的使用情况，合理安排采购和生产计划，确保生产流程的顺利进行。

3.2 提醒方式与时机

针对不同的原材料风险等级，需要设置不同的提醒方式和时间。低风险时，只需在管理界面上显示提示，提醒操作员注意材料消耗情况。中风险时，系统会弹出对话框或发送邮件，通知相关人员考虑补充材料，并且可以自动生成采购订单，直接发送给打印机厂商，实现快速采购。高风险时，系统会发出警报声或发送短信，确保操作员立即注意到并采取行动，例如降低打印速度或切换到低精度打印模式。当材料即将用尽时，系统会直接锁定打印机，防止因材料耗尽而导致打印失败或设备损坏。

3.3 动态调整提醒策略

原材料消耗量会随着打印任务和设备运行状态而变化，因此需要一套能够动态调整的管理办法。通过实时分析数据和预测打印任务排程，来调整风险等级划分标准和提醒方式。例如，如果检测到打印任务量突然增加，可以降低风险等级的阈值，提前发出提醒；反之，如果任务量减少，可以适当放宽标准，减少不必要的提醒。为了提高提醒的准确性和实用性，还需要根据实际使用情况和用户反馈不断优化提醒策略。



图3 预警管理图示

4 打印机锁机控制机制

4.1 锁机触发条件设定

为了在原材料耗尽时确保打印质量和设备安全，需要系统化设计打印机锁机触发机制。除了“原材料完全耗尽”这个基本条件，还应该考虑打印任务的关键性和设备运行的稳定性。例如，如果原材料耗尽时，打印任务已经接近完成，可以允许设备完成当前层再锁机。但是，如果在打印复杂结构时检测到原材料耗尽，为了避免打印缺陷或设备故障，必须立即触发锁机^[3]。锁机后，需要扫描新的原材料标识信息进行验证才能解锁。

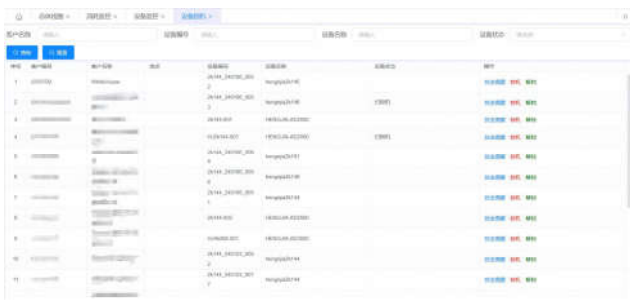


图4 设备锁机图示

4.2 锁机前的处理流程

锁机机制启动前，必须执行一套安全停止流程，以保护设备和打印任务。首先，系统会自动备份当前的打印进度和相关设置，以便后续可以无缝恢复。其次，设备会进行受控降温 and 清理，防止因突然断电或停止工作而导致的损坏或粉末堵塞。此外，操作员会收到警报，说明锁机原因，并告知他们需要采取的措施，例如补充原材料或检查设备。

4.3 锁机后的恢复策略

解决原材料问题后，为了让打印设备重新投入使用，需要一套完善的恢复流程。这个流程包括两个关键部分：一是设备状态检查，确保各部件运行正常、传感器数据准确、原材料供应系统无阻；二是打印任务恢复，利用已保存的进度和参数，精确地从关机前的状态继续打印，以保证最终成品的完整性和质量。

5 人工智能在增材粉末金属 3D 打印机原材料管控中的应用

随着人工智能（AI）技术的日益成熟，将其应用于增材粉末金属3D打印的原材料管控中，能够显著提升管

控的智能化、自动化和精细化水平,从而进一步优化打印质量、降低成本并提高生产效率。

5.1 基于AI的原材料质量预测与评估

基于AI的质量预测与评估模型,可以通过分析原材料的生产过程数据、成分数据、粒度分布数据等,预测原材料的质量指标,如流动性、松装密度、化学成分均匀性等。

数据驱动的预测模型:利用机器学习算法,如支持向量机(SVM)、随机森林(Random Forest)、神经网络(Neural Network)等,训练原材料质量预测模型^[4]。

实时质量评估:将训练好的AI模型集成到原材料监控系统中,实时接收来自生产线的数据,并进行质量评估。一旦发现原材料质量异常,系统可以立即发出警报,并采取相应的措施,如调整生产参数、更换原材料等,从而避免因使用劣质原材料而导致的打印失败。

5.2 基于AI的原材料消耗量优化

基于AI的消耗量优化模型,可以通过分析历史打印数据、任务类型数据、设备性能数据等,预测不同打印任务所需的原材料消耗量,从而实现对原材料的精准管理。

任务类型识别与消耗量预测:利用深度学习算法,如卷积神经网络(CNN)、循环神经网络(RNN)等,训练任务类型识别模型和消耗量预测模型。

动态调整消耗等级阈值:基于AI的预测结果,动态调整原材料消耗等级阈值。例如,对于需要高精度打印的任务,可以降低高风险等级的阈值,提前发出警报,以确保原材料供应充足。

优化打印参数:利用强化学习算法,优化打印参数,如激光功率、扫描速度、层厚等,以降低原材料的消耗量。例如,通过调整激光功率,可以在保证打印质量的前提下,减少粉末的烧结量,从而降低原材料的消耗。

5.3 基于AI的非原装材料识别与预警

为了防止客户使用非原装原材料,损害设备和知识产权,可以利用AI技术进行非原装材料的识别与预警。

光谱分析与模式识别:利用光谱传感器采集原材料的光谱数据,并利用机器学习算法,如支持向量机(SVM)、K近邻(KNN)等,训练非原装材料识别模型。这些模型可以学习原装材料和非原装材料的光谱特征差异,实现对非原装材料的准确识别。

实时预警与控制:将训练好的AI模型集成到打印机管理系统中,实时接收来自传感器的数据,并进行非原装材料识别。一旦识别出非原装材料,系统可以立即发出警报,并采取相应的措施,如暂停打印任务、锁定打印机等,以防止设备损坏和知识产权侵权。

6 结论

通过对增材粉末金属3D打印机原材料加入管控的管理方法进行深入研究,系统的提出了包含材料溯源追踪、用量预警机制和智能停机功能的系统化管控方法。该方法通过数字化手段实现耗材全流程监管,有助于保障设备制造商耗材供应的可控性,同时提升成型件质量与设备可靠性。方法中可根据不同工况配置检测阈值和管控逻辑,支持用户按需进行参数校准。随着技术迭代,该管控方法将持续优化,为增材行业原材料制造领域的规范化发展提供技术支撑。

参考文献

- [1]王宏伟,李志强.金属增材制造粉末闭环管理系统研究[J].机械工程学报,2022,58(5):1-10.(聚焦粉末回收利用的闭环控制,含传感器选型标准)
- [2]国家标准化管理委员会.GB/T 39254-2020增材制造金属粉末性能表征方法[S].北京:中国标准出版社,2020.(包含粉末流动性、粒径分布等关键检测指标)
- [3]张明远等.基于物联网的3D打印耗材智能监控系统设计[J].自动化仪表,2021,42(8):56-60.(提供LoRa无线传输模块的具体实施方案)
- [4]黄海涛,等.增材制造过程闭环控制策略与实现[J].自动化仪表,2023,44(3):45-50.DOI:10.16086/j.cnki.issn 1000-0380.20230009