

选区激光熔化 SLM 成形工艺实验

一、实验目的

- 1、了解选区激光熔化设备组成和工艺特点；
- 2、增强对选区激光熔化工艺原理的理解；
- 3、掌握工艺参数激光功率、扫描速度、扫描间距等对铝合金材料选区激光熔化增材制造成形表面粗糙度的影响。

二、实验设备和材料

- 1、选区激光熔化设备及配套设备，粗糙度测量仪等。
- 2、AlSi10Mg 铝合金粉末，粉末尺寸 15-53 微米，气雾化制备的球形粉末。
- 3、保护气体、送粉气体、约束气体均为 Ar 气，纯度高于 99.99%。

三、实验原理

1、同步送粉激光增材制造系统结构与工作原理

(1) 选区激光熔化设备

选区激光熔化设备的核心器件包括主机、激光器、光路传输系统、控制系统和软件系统等几个部分，设备整体构成如图 13-1 所示。

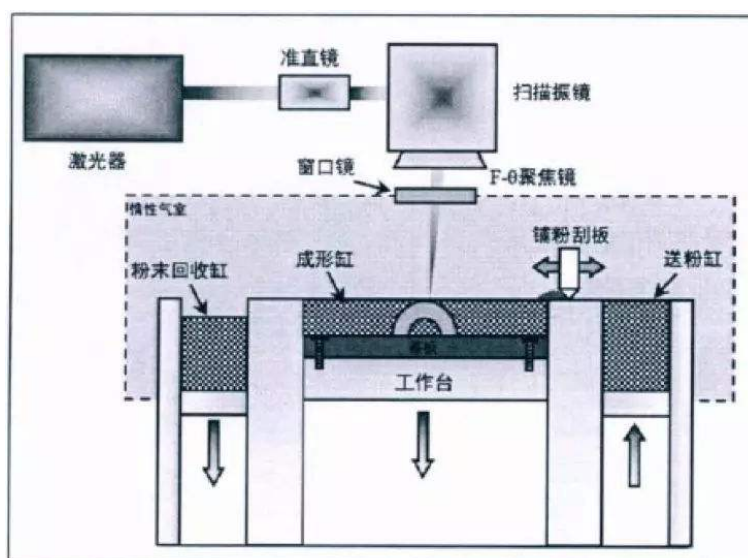


图 13-1 选区激光熔化设备结构示意图

(2) 选区激光熔化设备工作原理

SLM 全过程均集中在一台机床中，主机是构成 SLM 设备的最基本部件。从功能上分类，主机又由机架（包括各类支架、底座和外壳等）、成形腔、传动机构、工作缸/送粉缸、铺粉机构、气体净化系统（部分 SLM 设备配备）等部分构成。

激光器是 SLM 设备提供能量的核心功能部件，直接决定 SLM 零件的成形质量。SLM 设备主要采用光纤激光器，光束直径内的能量呈高斯分布。光纤激光器指用掺稀土元素玻璃

光纤作为增益介质的激光器。光纤激光器作为输出光源，主要技术参数有输出功率、波长、空间模式、光束尺寸及光束质量。

光路传输系统主要实现激光的扩束、扫描、聚焦和保护等功能，包括扩束镜、 $f-\theta$ 聚焦镜（或三维动态聚焦镜）、振镜、保护镜。各部分组成原理及功能分别说明如下。

SLM 设备属于典型数控系统，成形过程完全由计算机控制。由于主要用于工业应用，通常采用工控机作用主控单元，主要包括电机控制、振镜控制（实际上也是电机驱动）、温度控制、气氛控制等。电机控制通常采用运动控制卡实现；振镜有配套的控制卡；温度控制采用 A/D（模拟/数字）信号转换单元实现，通过设定温度值和反馈温度值调节加热系统的电流或电压；气氛根据反馈信号值，对比设定值控制阀门的开关（开关量）即可。

SLM 需要专用软件系统实现 CAD 模型处理（纠错、切片、路径生成、支撑结构等）、运动控制（电机、振镜等）、温度控制（基底预热）、反馈信号处理（如氧含量、压力等）等功能。商品化 SLM 设备一般都有自带的软件系统，其中有很多商品化 SLM 设备（包括其他类型的增材制造工艺设备）使用比利时 Materialise 公司的 Magics 通用软件系统。该软件能够将不同格式的 CAD 文件转化输出到增材制造设备，修复优化 3D 模型、分析零件、直接在 STL 模型上做相关的 3D 变更、设计特征和生成报告等，与特定的设备相匹配，可实现设备控制与工艺操作。

2、选区激光熔化基本原理

SLM 技术和其他增材制造技术一样，基于离散-分层-叠加的原理，借助计算机辅助设计和制造，利用高能束激光选择性地逐行、逐层熔化金属粉体，金属粉体迅速冷却，从而直接成形出致密的三维实体零件。这个过程是激光与粉体之间的相互作用，包括激光能量传递、物态变化等一系列物理化学过程。

激光能量传递是将光能转变为热能，并由此引起材料的物态转变。金属粉体吸收不同的激光能量会发生不同的物态改变。激光能量低，金属粉体只能升高表面温度，发生软化变形；随着激光能量的升高，金属粉体熔化，快速冷却后，形成细小晶粒的固态零件；当激光能量过高时，金属粉体在熔化过程中会发生气化，也会造成最终成形的零件发生热应力、翘曲变形等缺陷。

金属粉体在 SLM 成形过程中的激光吸收率对材料的成形性能和激光利用率有很大影响，从而直接影响最终成形的零件性能。目前使用的 SLM 粉体，都为钛基合金、铁基合金和镍基合金等对激光吸收率较高的金属粉体。由于金属粉体一般为不透明粉体，对激光的作用表现为吸收和反射两种形式。当粉体的激光吸收率较低时，只有很小一部分激光能量能够被吸收，大部分则被反射，导致金属粉体无法熔化成形；当粉体的激光吸收率高时，大部分激光能量都被吸收，使材料容易成形，激光利用率得到提高。所以，如何提高 SLM 所用粉体的激光利用率是促进该技术发展的重要因素之一。

在 SLM 过程中，零件成形是一个由线到面、由面到体的增材制造过程，金属粉末在高能束的激光作用下熔化，从而连续不断地形成熔池。在激光束作用下形成的金属熔体能否稳定连续存在，熔池内流体动力学状态和传热传质状态都对成形过程的稳定性和零件的最终成形质量有决定性的影响。

四、实验步骤

1、粉末准备

为实现粉末表面吸附水汽的去除，需要在实验前 AlSi10Mg 铝合金粉末需要进行真空烘干处理。所用设备为真空烘干箱，设定温度 80-150℃，保温时间 2-6 小时。实验前检查各阀门处于封闭状态，加热和真空系统无故障。

粉末放入炉内后开真空泵抽真空，打开炉体与真空泵间阀门，进行抽真空操作，当真空度达到 10^{-1}Pa 时开启加热系统，开始加热。在烘粉过程中保持真空室内真空度不低于 10^2Pa （负压状态），尽量不关闭真空泵。在保温结束后，先关闭真空泵与真空室连接阀门，再关闭真空泵。粉末随炉冷却到 50 度以下时通气，打开炉门，取出粉末，将粉末导入增材制造系统送粉器粉筒内。

2、基板准备和装夹固定

基板需要根据成形粉末种类选择相近成分的材料，根据零件的最大截面尺寸选择合适的基板，将基板调整到与工作台面水平的位置，基板的加工和定位尺寸需要与设备的工作平台相匹配，并清洗干净。准备一套工具箱用于基板的紧固和设备的密封。

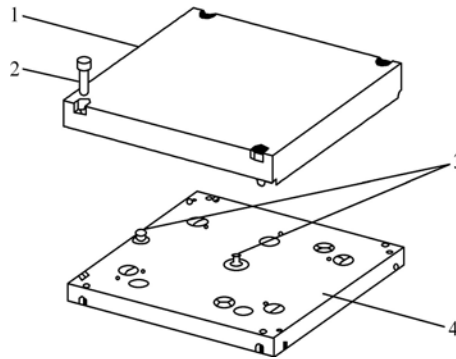


图 13-2 成形用基板示意图

1—工作基板；2—紧固螺栓；3—定位销；4—放置基板载体

3、工作腔准备

在放入粉末前需要将工作腔（成形腔）清理干净，包括缸体、腔壁、透镜、铺粉辊/刮刀等。最后将需要接触粉末的地方用脱脂棉和酒精擦拭干净，尽量保证粉末不被污染，尽量使成形的零件里面无杂质。将基板安装在工作缸上表面并紧固。

4、模型准备

将 CAD 模型转换成 STL 文件，传输至 SLM 设备 PC 端，在设备配置的工作软件中导入 STL 文件进行切片处理，生成每一层的二维信息。将模型数据导入 3D 打印机。

5、试样制备

数据导入完毕后，将设备腔门密封。抽真空后通入保护气氛，设置基底预热温度（若粉末需要预热）。将表 13-1 所示工艺参数输入控制面板，制备大小为 $8\text{mm}\times 8\text{mm}\times 8\text{mm}$ 的方块试样。计算机控制振镜将激光束按当前层的二维轮廓数据选择性地熔化基板上的粉末，当该层轮廓扫描完毕后，工作缸下降一个切片层厚的距离。送粉缸再上升一定高度，铺粉辊滚动将粉末送到已经熔化的金属层上部，形成一个层厚的均匀粉层。

6、粗糙度测量

利用表面粗糙度测量仪测量不同工艺参数下成形试样的表面及侧面，记录相应数据。

表 13-1 选区激光熔化工艺参数

试样编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
激光功率(W)	230	230	230	290	290	290	350	350	350
扫描速度(mm/s)	1000	1300	1600	1000	1300	1600	1000	1300	1600
扫描间距(mm)	0.11	0.15	0.19	0.11	0.15	0.19	0.11	0.15	0.19

五、实验结果分析

- 1、激光功率对粗糙度结果分析
- 2、扫描速度对粗糙度结果分析
- 3、扫描间距对粗糙度结果分析

六、思考题

- 1、选区激光熔化设备有哪几部分组成？
- 2、激光功率如何影响选区激光熔化成形试样的粗糙度？