micromeritics®
Effective Solutions for Material Characterization

Application CN Note 025

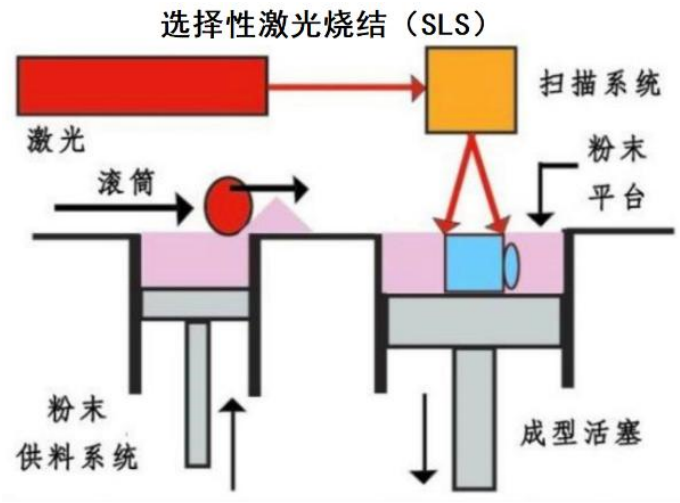
增材制造之粉体性能知多少

前言

增材制造（Additive Manufacturing，AM），又称 3D 打印，它以数字模型文件为基础，运用粉体状金属或塑料等可粘合材料，通过材料逐层累加的方法制造产品。与传统制造技术相比，增材制造技术具有柔性高、无模具、周期短、不受零件结构和材料限制等一系列优点，利用三维设计数据在一台设备上便可快速精确地制造出任意复杂形状的产品，实现了真正的“自由制造”。

近年来，增材制造技术已成为制造业的研究热点，并且在航天航空、汽车、电子、医疗、军工等领域得到了广泛使用，市场潜力巨大，被誉为有望成为“第三次工业革命”的代表性技术。在国务院印发的《中国制造 2025》规划中，增材制造作为代表性的新兴技术占有重要位置。

目前，增材制造的发展现在很大程度上依赖于适当原料的开发，许多增材制造工艺都使用粉体进料，比如：金属、聚合物、陶瓷等。粉体材料作为增材制造产业链中最重要的一环，也是最大的价值所在。以各种粉体为制造原料的粉体床熔融技术（PBF）是当前的主流工艺，其通过热能选择性地熔化金属粉体层区域，主要有选择性激光烧结（SLS）、激光选区熔化（SLM）和电子束选区熔化（EBSM）等技术。对于粉体床熔融技术，其铺粉过程中可能会存在粉体铺设厚度不均匀及粉体颗粒的粒度分布不均匀，成形过程中熔池附近粉体会因为各种原因缺失而导致零件缺陷等等，这些问题都关乎产品质量、工艺可靠性和成品可重复性，并且都与粉体原料的质量有直接关系。



粉体表征的必要性

由于增材制造对粉体的要求非常严苛，如何更好地得到符合要求的高质量粉体是目前行业中的一个挑战，也是制约增材制造发展的关键因素之一。无论是新材料的开发还是生产过程中的质量控制，都离不开粉体表征。粉体的各种物理特性，如比表面积、密度、粒度、粒形、孔隙度等，对加工效率及成品性能有极大的影响，是影响工艺方法再现性和产品质量的关键因素。测定这些特性是工业筛选原材料，保证制造一致性和产出高质量产品的必要条件。因此，对粉体进行一系列相关表征并深入了解粉体特性至关重要，有利于建立起粉体特性与工艺参数之间的关系。

国标 GB/T 35022-2018《增材制造 主要特性和测试方法 零件和粉末原材料》中，对增材制造行业中粉体原材料的粒度及分布，形状和形态，比表面积，密度等均有相关要求。麦克仪器可为增材制造粉体的物性表征提供全面的分析解决方案组合，为优化工艺性能和成品属性提供快速有效的表征技术。以下简要介绍增材制造粉体表征的关键参数及相关表征方法。

粉体的关键参数及表征方法

➢ 比表面积

比表面积指的是单位质量吸附剂的总表面积（m^2/g），可反映材料与其他成分颗粒或周围环境发生反应的总面积。比表面积的大小直接影响金属粉体颗粒的烧结程度，是评估烧结过程动力学和最终产品特性的重要指标之一。

粉体的比表面积可通过气体吸附法测定，其中，气体吸附法主要包括连续流动法（动态法）和静态容量法。通过测定颗粒粉体对气体的吸附量，应用 BET 方法可算得比表面积。

麦克仪器拥有多款静态容量法和动态流动法**物理吸附仪**，其中 TriStar 系列和 Gemini 系列比表面积和孔径分析仪采用静态容量法，可精确测量大多数增材制造领域粉体和成型材料的比表面积。

TriStar 系列物理吸附仪

Gemini 系列物理吸附仪

➢ 密度

密度是单位体积的物质质量，粉体材料的密度可细分为真密度，骨架密度（表观密度），堆积密度，包裹密度以及振实密度等。这些参数各自都具有重要意义：表观密度和振实密度会极大影响粉体层的烧结动力学和最终产品的孔隙率及机械性能；堆积密度主要受粒度和粒形分布的影响，对制定材料的规格指标非常重要，根据堆积密度还可了解粉体流动性和粉体床层的相关信息；包裹密度是基于样品的几何体积来表征产品，能够测定复杂和不规则形态成品的体积。

掌握产品的各种密度参数，有利于更好的把握增材制造的整个过程。

骨架密度的测量主要有气体置换法和比重瓶法。气体置换法以高纯氦气/氮气作置换介质进行测试，根据质量守恒确定样品的体积，从而计算出骨架密度。气体置换法测密度是世界公认的测骨架密度最可靠的技术之一，目前，大部分商品化的全自动骨架密度仪的测量原理都基于气体置换法。

麦克仪器 AccuPyc 系列**骨架密度分析仪**和 GeoPyc 系列**包裹/振实密度分析仪**均采用无损检测技术，可使用户测定增材制造工艺参数所需的主要密度和孔隙率数据，由此评估原材料和成品质量，判断产品是否合格。

AccuPyc 系列**骨架密度分析仪**

GeoPyc 系列**包裹/振实密度分析仪**

➢ **粒度**

金属粉体的粒径分布会直接影响粉体流动性和粉体床层均匀性，还会影响最终产品的表面光洁度。目前最常用的粒径分析技术是激光衍射法。

麦克仪器的 Saturn DigiSizer 系列**全自动高分辨率数字式激光粒度仪**结合了激光二极管和现代化的电荷耦合器件(CCD)来确定粒径分布，极大提升了光散射粒度测定技术的灵敏度、分辨率、再现性和重复性。

Saturn DigiSizer 系列**全自动高分辨率数字式激光粒度仪**

➢ **粒形**

粉体颗粒的形状会影响粉体原料的堆积密度和流动性。球形颗粒能更有效地堆积在一起，确保了粉体床层粒度的均一性，从而获得均匀的粉体床密度和更好的成品质量，是大部分增材制造工艺的首选粒形。不规则的颗粒会降低成品的密度，导致较高的孔隙率。因此，了解原材料的粒形信息可以更有效更灵敏地控制工艺过程。

粒形分析的方法主要有静态图像法和动态图像法。静态图像法是在样品静止的状态下进行表征，动态图像法则是在样品运动的状态下进行颗粒表征，对应仪器为动态粒度粒形分析仪。与静态法相比，动态法分析极为快速，很快就能获得全面的粒度粒形信息并能得到相关的统计结果。

麦克仪器的 SentinelPro 系列**全自动粒度粒形分析仪**是一款现代化的动态图像分析仪，能够捕捉和表征动态颗粒，可实时监测颗粒尺寸和形态，并提供多达 28 种不同的颗粒形状参数。

SentinelPro 系列**全自动粒度粒形分析仪**

➢ **孔隙度**

孔隙度是增材制造成品的设计参数之一，会影响成品部件的最终机械强度和质量。控制孔隙度可以尽量减少其对材料特性、硬度和表面光洁度的影响。

压汞法是测量粉体和成型产品孔隙度公认的方法。压汞法主要是在精确控制的压力下，将汞压入材料的多孔结构中，具有快速、高分辨率及分析范围广等优点。此外，采用压汞仪还能通过计算得到样品的其它特性，如：孔径分布、总孔体积、总孔比表面积、中值孔径等。

麦克仪器的 AutoPore 系列**全自动压汞仪**可采集高分辨率的数据，进汞体积精确至 0.1μL。

AutoPore 系列**全自动压汞仪**

micromeritics®

Effective Solutions for Material Characterization

* 以上图片部分来源于网络

麦克默瑞提克（上海）仪器有限公司

地址：上海市民生路 600 号船研大厦 1503-1509 室

全国服务热线：400-630-2202

网址：www.micromeritics.com.cn

扫码关注官方公众号