

增材制造也称 3D 打印，是一种潜在革命性的高效制造技术。通常涉及按严格的技术规范“打印”复杂组件，具体方法是逐层堆积粉体，然后选择性地熔结。控制粉体性能对于过程效率和成品质量至关重要。当形成粉层时，粉体流动和装填方式决定了该性能的各个方面。原料的多变性会导致松装密度不一致、粉层不均匀、抗张强度低以及表面光洁度差。



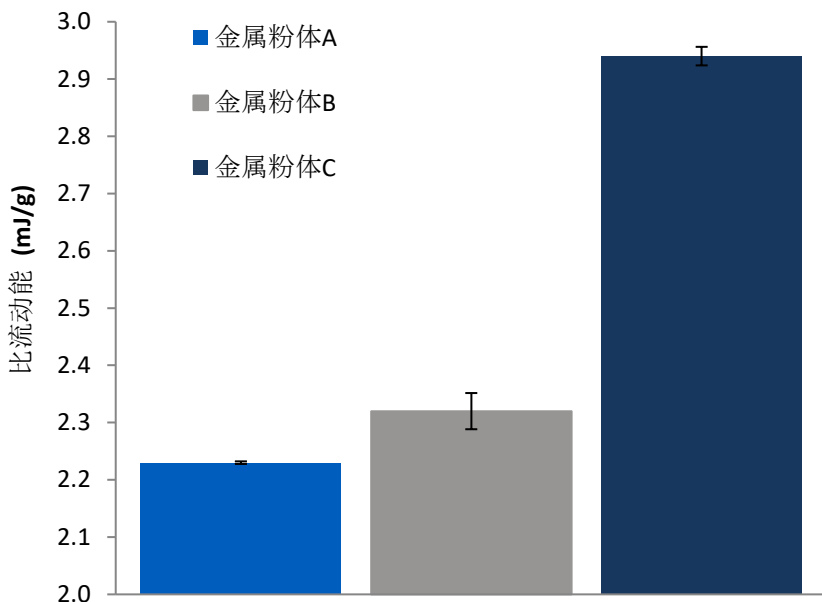
AM 对工业的影响程度取决于高速精密机械的发展，以及是否能辨别和稳定供应满足此类机械严格要求的粉体。现在，关注重点日益转向粉体本身，以及如何以智能、可靠的方式优化它们。粉体特性表征在支持这一进程方面起到关键作用，而确实能够测量与 AM 性能直接相关的属性的技术也非常重要。辨别哪些粉体属性能促成均匀、可重复的粉体性能，这有助于优化新处方，避免因评估样品在过程中的适用性而花费大量金钱和时间，帮助减少成品的不合格率。

现有技术 (例如，休止角测试、漏斗流速和松装密度测量) 的作用显而易见。但这些方法并未融入现代技术的优势，有时敏感度较差，无法精确表征过程性能间微小差异。

FT4 粉体流变仪™是一种通用型粉体测试仪，可自动、可靠且全面地测量粉体材料特性。这些信息能够与加工经验相联系，以提高加工效率，帮助实现质量控制。FT4 专用于测量动态流动特性，同时集成了剪切盒，能够测量密度、可压性和透气性等整体属性。

量化原料批次间差异

AM 机器在运作误差极小，意味着原料批次间差异可能导致产品性质和质量的显著差异。在原料进入加工过程之前筛选每个批次，可确保避免性能的差异。但是，传统的粉体特性表征手段往往无法识别导致性能差异的细微属性差异。

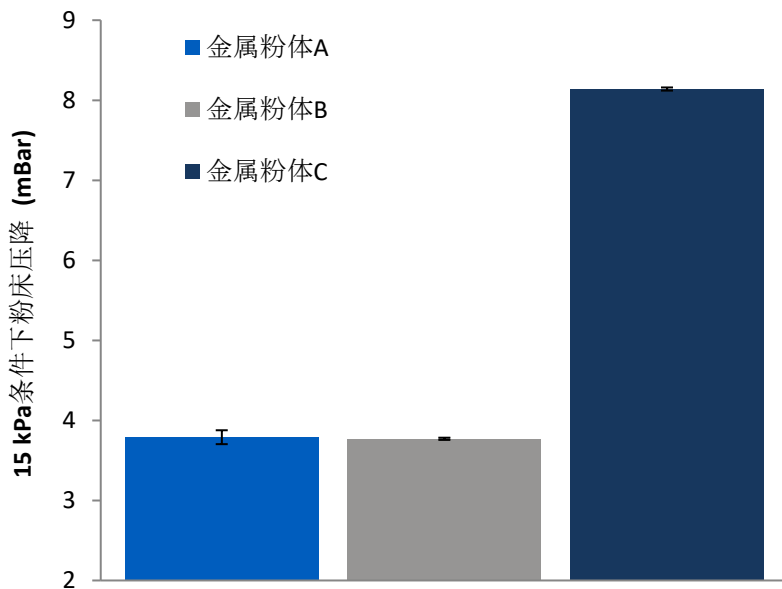


同一供应商提供的三批不锈钢粉体在 AM 过程中的性能具有显著差异：金属粉体 A 和金属粉体 B 都呈现可接受的特性，而金属粉体 C 经常引起堵塞和沉积不均，继而产生不合格的成品。三种样品的粒径分布几乎相同，在休止角和霍尔流动性测试中表现出相似的特性。

但使用 FT4 评价样品时发现，样品之间存在许多差异与工艺性能密切相关。在动态测试过程中，金属粉体 C 的比流动能存在明显差异，该值越高表示机械咬合程度和颗粒间摩擦作用较大。自身流动阻力增加是导致低应力环境下堵塞和其它流动相关问题的常见原因。

在整体测试中，透气性测试的结果更有区分度。与其它样品相比，金属粉体 C 粉床产生的压降明显较高，说明金属粉体 C 的透气性比粉体 A 和 B 低得多。

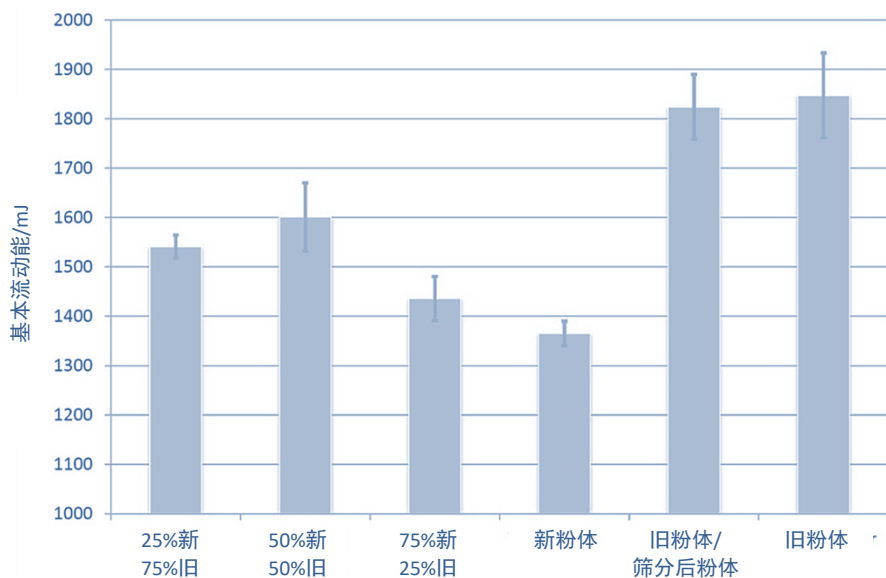
在任何需要移动粉体的操作中（特别是当驱动力是重力时），透气性起到非常重要的作用。气体必定占据颗粒间空隙，这些气体越容易通过粉体，粉体就越易于倾倒，也越容易释放倾倒过程中包覆的空气。在沉积过程中低透气性会导致粉体中夹带的空气量增加，而在 AM 应用中试图充填或沉积密度相同的粉体时，这通常会导致粉层的不均匀，成品出现缺陷，甚至可能需要报废。



新、旧原料间过程相关的差异

粉床和激光沉积技术都需要使用足够量的粉体，但并非所有粉体都能制成成品组件。粉体的重复使用可大大降低原材料的成本，减少废弃物的总量。但重复使用需要仔细评估粉体在通过 AM 机后特性的变化程度，以及是否可以进一步加工而不影响成品组件的质量。

使用 FT4 动态方法对一系列不同新、旧原料比的粉料进行评估，确定旧粉与新粉相比，其关键特性是否有所改变，如果改变，应采取何种措施将粉体恢复到可重复使用的状态。



新、旧粉体的结果对比显示，加工过程使得粉体的流动能量显著增大。这表明旧粉无法像新粉一样自由流动，因此不太可能在加工中呈现良好性能。

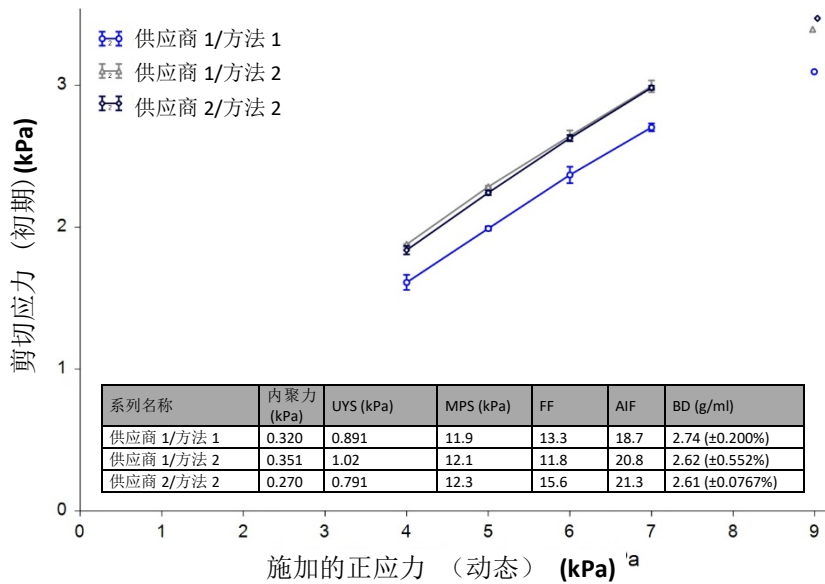
从 AM 机中出来的粉体可能包含来自熔池的大颗粒飞溅物，其化学性质也可能发生变化，例如表面粘附污染物。因此，通过实验确定筛分旧粉是否能将其恢复到流动能量可接受的状态。而筛分可以提高粉体流动性，但无法将其恢复到新粉测得的原始流动能量值。

通过完成更多的实验，观察是否可以将旧粉和新粉混合在一起，形成可接受的给料供后续加工。75% 的新粉与 25% 的旧粉混合后，其流动性与新粉最接近，并具有相对较好的性能。在所有混合样品中，50:50 混合物的 BFE 最高，表明流动性不随新粉含量线性变化。

这些结果突显了动态测试检测粉体细微差异的能力，而这些差异与粉体在 AM 机中的性能直接相关。因此，动态测试有助于 AM 中的金属粉体成功优化和生命周期管理，这是其它粉体流动测试仪器所无法企及的。

不同供应商和制造方法的影响

增材制造的粉体原料可使用不同方法制造，每种方法都可生成中值粒径和粒径分布相似的粉体，每家制造商有自己的等级划分和验收标准。然而，制造方法也会影响粉体的其它特性，导致在整个过程中表现出不同性能，而制造商自己的验收测试不足以辨别这种情况。

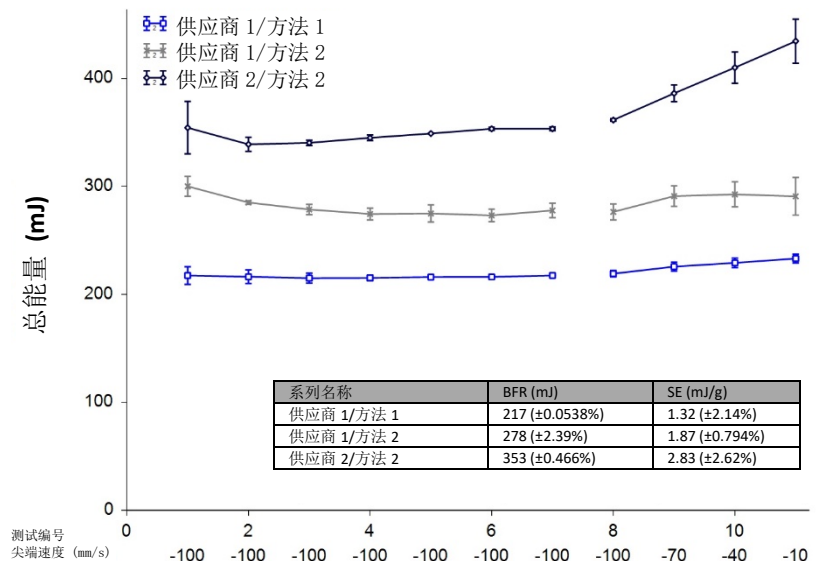


使用 FT4 评估三种中值粒径和粒径分布相似的粉体原料 (其中两种由不同供应商使用相同方法制造，两种由相同供应商使用不同制造方法制造)，尝试确定不同的供应商或制造方法是否会影响过程中的粉体性能。

剪切盒测试 (左图) 区分了制造方法变化引起的差异，即方法 1 比方法 2 产生的剪切应力要低，说明可能存在客户控制范围之外的变量产生影响，突显了定期、密切相关的原材料评估的必要性。但是，仅凭剪切测试，两家不同制造商使用相同方法生产的样品被归为同类产品。

动态测试 (右图) 不仅能突显更改制造方法引起的变动，还能辨别两家不同供应商样品的差异。与供应商 1 的样品相比，供应商 2 的样品的 BFE 和 SE 更高，这表明动态应用 (例如，充填和分层) 中粘性更强。特性变化表明更换供应商可能对工艺性能有重大影响，在作出更换决定时，除了财务或物流的效益之外，还要考虑这方面的影响。

这些结果表明，使用多变量方法进行相关和全面粉体特性表征的必要性，尤其是注重精密、准确层沉积的 AM 过程，因为只有使用特性合适且一致的粉体才能保证这一点。

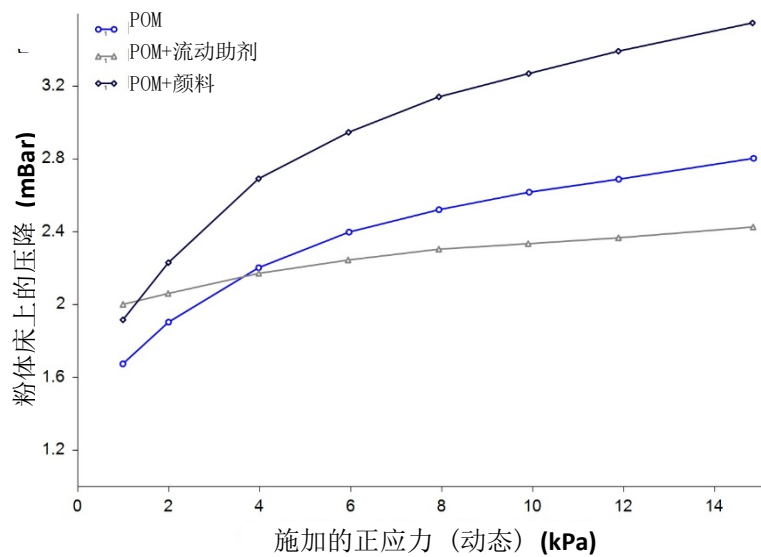
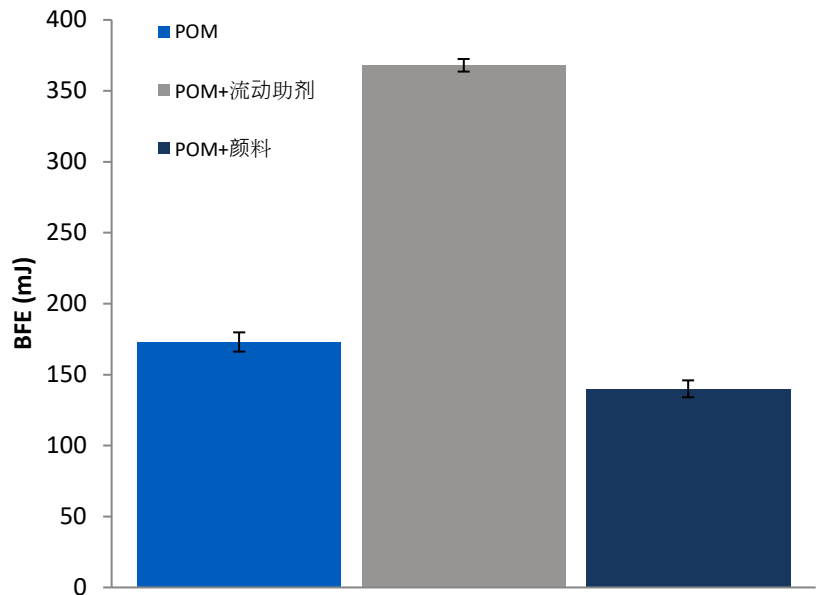


添加剂对原料特性的影响

通常使用不同的添加剂处理原料，以具备有效的特性，例如，着色、助流或实现成品的特定功能。然而使用不同的添加剂会对原料特性及应用的最终性能造成不同影响。量化不同添加剂对处方特性的影响有助于优化处方和过程，适应添加剂的特性，使得性能维持在可接受的水平。

SLS 操作中使用三种聚甲醛 (POM) 样品, 其中两种包含不同添加剂 (一种颜料和一种流动助剂)。据观察, 三种处方从储料斗到烧结机中具有不同的流动特性, 导致成品的属性和质量变化。虽然已采用一系列传统的表征手段, 但它们不能区分样品间的差异。

与另两种样品相比, 含流动助剂的样品所产生的基本流动能 (BFE) 较高, 需要更多能量才能推动 FT4 桨叶在粉床中上下行径。在这种情况下, 高 BFE 通常与更高效自组的粉体其均匀的内部结构相关, 与自组性能不佳的粉体相比, 可借助桨叶运动移动更多的颗粒。



在低固结应力的条件下, 含流动助剂的样品在粉床内的压降最大, 说明流动性较好的材料其透气性较低, 并具有更致密的内部排列状态。但是, 随着固结应力增大, 虽然所有三种样品的压降都增大了, 但纯聚甲醛和含颜料的样品相对于含流动助剂的样品变化更大。

对固结应力变化的敏感度低是内部排列有效的粉体的另一个标志, 原因是受到挤压时, 可供颗粒逃逸的气孔更少了。含颜料的样品的透气性变化程度最大, 这与其粉体中包覆空气量最多的情况相符, 因此可作为该流动模式下粘性较强的一个标志。

结论

粉体流动性不是材料的固有属性, 而是粉体在特定设备中以其所需要的方式流动的能力。成功的加工需要粉体与过程的完美匹配, 相同的粉体在一个 AM 过程的单元操作中表现良好, 而在另一个过程中却不佳的情况并不罕见。也就是说, 需要多种特性表征方法, 得出的结果能够与过程评估相联系, 确定哪些参数对性能的影响最大, 从而构建对应于可接受的过程行为的设计空间。

这些研究突显了 FT4 多变量方法检测粉体细微差异的能力, 而这些变化与粉体在 AM 机器中的性能直接关联。因此, FT4 有助于对 AM 中的金属粉体成功优化和生命周期管理, 这是其它测量技术所无法企及的。还有一点, 即使是较为现代化的技术 (如粒径分析和剪切盒测试), 也无法保证能辨别此类过程相关的差异, 因此强调使用多种技术来完全描述粉体在给定过程中的特性是非常有必要的。

更多信息可拨打电话+86 (0) 21 6478 9668 或通过电子邮箱 info@freemantech.com.cn 联系应用团队。