

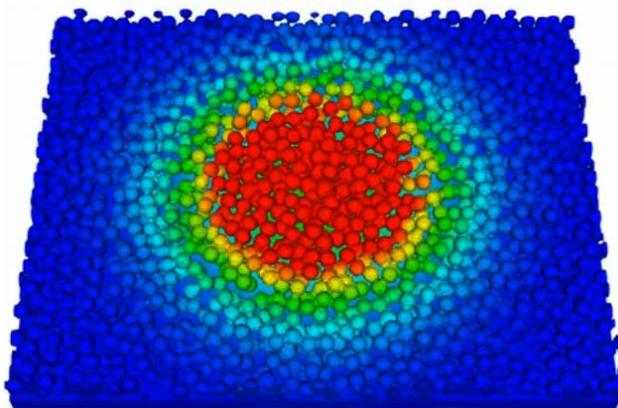
聚焦激光熔融性能

选择性激光熔融系统的新型光学方案能够提高激光加工条件的稳定性和一致性。动态光束聚焦功能可在整个加工托盘上和不断变化的温度条件下实现更加稳定一致的聚焦控制。

激光熔融基本原理

选择性激光熔融系统引导微小的激光光斑加热金属粉末，使其液化形成熔池。熔池在粉末床上移动，当激光能量移开后，“熔融轨道”快速固化，形成一个坚固又充分致密的固体结构。

我们必须根据所加工的金属合金的特性和层厚来精确调整所施加的激光能量和熔池移动速度。这项工艺要求控制光斑尺寸，确保施加到粉末上的能量密度和总量是一致的。



上图说明：激光光斑加热粉末颗粒，热量被传导到附近的材料中

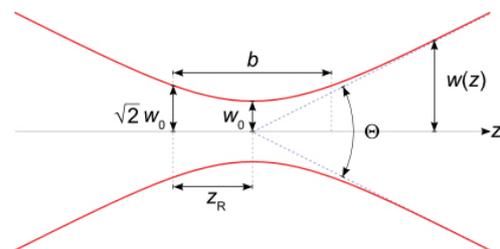
激光光束聚焦对于熔融工艺性能十分重要。通过清楚聚焦的光束才能产生正确的加热效应。一旦散焦，将导致激光能量偏移预定熔融区域之外，从而可能导致尺寸误差和表面粗糙。如果散焦导致光斑尺寸显著增大，则可能导致成品零件不完全熔融和材料特性不一致。

聚焦问题

在理想情况下，激光光束呈高斯强度分布，即光束中心的强度最高，向两边递减。



光学透镜用于聚焦光束，将光纤发出的直径为几毫米的光束聚焦成加工托盘上的微小光斑。若偏离焦点，则光束的横截面积增大，并在光束的瑞利长度处达到最小光斑尺寸的两倍（下图中的 Z_R ）：

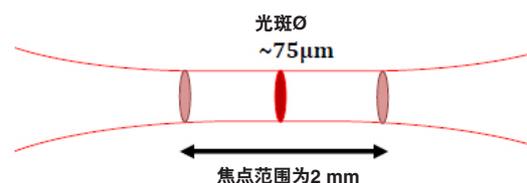


图片来自Wikipedia

瑞利长度与光斑直径的平方成正比，与激光波长成反比。光斑直径越小（适合加工细节特征），则瑞利长度越短，系统对聚焦精度的反应越灵敏。如果聚焦不精确，当偏离正确焦点一个瑞利长度时，光斑面积将增大一倍，而能量密度则会减小一半。

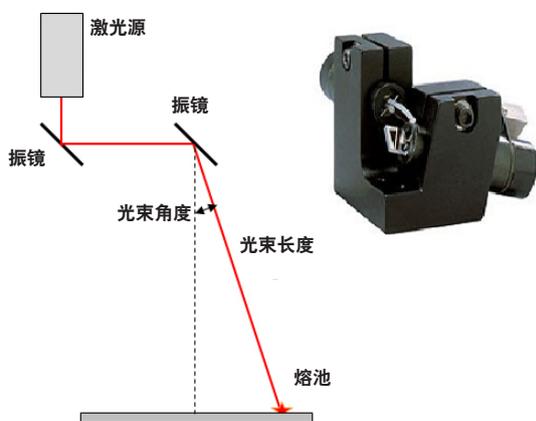
在雷尼绍激光熔融设备上，若光斑直径为 $75\mu\text{m}$ ，波长为 $1,070\text{ nm}$ ，则瑞利长度为几毫米。诚然，当能量密度减半时，会大大偏离大多数材料的最佳加工条件，因此在实际操作中，允许的聚焦范围更接近于 $\pm 1\text{ mm}$ ：

意思是，当激光光斑在粉末床上移动时，光学系统必须能够将焦点保持在这个范围内。



振镜激光定位和聚焦

大多数激光熔融系统使用振镜系统引导激光光束熔融粉末床上的不同位置。粉末床中央的上方装有一对扫描振镜，用于以一定范围的复角将光束引导到加工托盘上要求的XY位置。

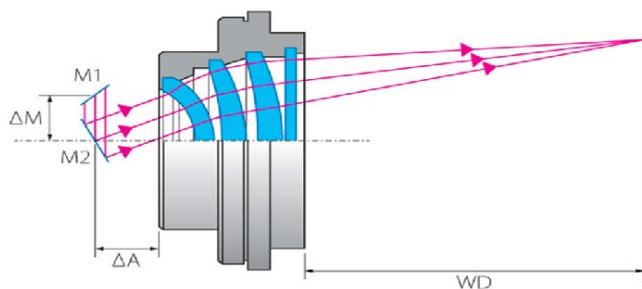


因此，随着角度变化，光束会以不同的长度到达粉末床上。熔池离粉末床的中心越远，从振镜到粉末床的光束路径就越长。

光束焦距必须精确地随光束角变化。要做到这一点，主要有两种方法：被动型F-theta系统和动态变焦系统。

F-theta系统

雷尼绍的AM 400机器上采用的是F-theta系统。该系统包括一个多元件透镜组件，能够将入射光束聚焦到一个平面上。F-theta透镜的焦距随光束进入透镜的角度而变化。它的目的是使WD在整个入射光束角范围内保持恒定：



F-theta系统采用简单的被动控制设计，运行快速。但是，当激光功率较高时，这种系统存在设计问题：

- 为避免组件内出现杂散光，F-theta系统涂有防反射涂层，但是这些涂层会导致每个表面上产生高达入射功率0.3%的热量。再加上透镜吸收的热量，整个系统可产生10W热量，并且会随着激光功率增加而增加。透镜组件内部温度变化可能会导致焦距变化。

- 由于焦距是入射角的函数，因此振镜相对于F-theta光学镜组的位置很关键。温度变化可能还会引起振镜位置变化，进而导致激光散焦。
- 因此，多激光系统上需要安装多个F-theta系统，导致成本增加、操作复杂。

动态聚焦系统

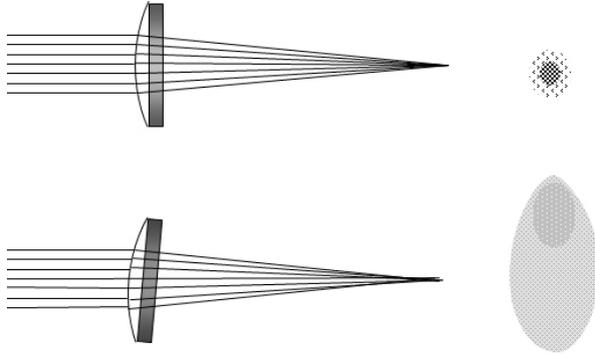
动态系统将一个极小的透镜放置在振镜的光束线上游，并相对于光源位置移动透镜，从而改变光学系统的焦距。雷尼绍在其搭载500W激光器的新型RenAM 500M系统上采用的是这种聚焦控制系统。



在振镜系统引导光束扫描粉末床时，这种受控的透镜移动可校正近抛物线焦距变化。这种方法具有以下几大优点：

- 焦距变化由伺服控制，因此由扫描系统引起的任何已知失真都可以映射到透镜位置要求中。
- 对聚焦进行完整程序控制 — 如需要，还可以有意使激光散焦，以产生不同的加工效果。
- 由于不受刚性透镜组件的束缚，因此可以根据当前加工条件调整焦点，在加工过程中随热流影响机器结构来跟踪热效应。
- 动态聚焦系统的光学元件和防反射涂层更少，因此产生的干扰热量更少。
- 从聚焦伺服器发出的反馈可随振镜位置一起记录，工艺可追溯性提高。
- 与F-theta系统相比，动态聚焦系统结构紧凑且具有成本效益，因此更适合扩展到多激光系统上。

需要注意的是，控制聚焦透镜使其与光轴对准对于确保光斑精确聚焦和定位至关重要。任何细微的对准误差都可能导致严重散焦，因此必须精确调整光学系统并进行温度控制，以避免产生误差。



总结

为实现高质量制造，必须保证一致性、可控性和可追溯性。稳定一致的焦距控制对于保障激光熔融性能的一致性和效率来说至关重要。

随着增材制造系统愈加精密复杂，不仅采用多个激光器，而且激光功率越来越高，因此动态聚焦变得愈加重要。

作者简介

Marc Saunders，增材制造应用总监

Marc Saunders先生在高科技制造领域有超过25年的丰富经验。Saunders先生在雷尼绍先后担任了多个职位，在开发公司屡获殊荣的RAMTIC自动化加工平台中做出了关键贡献，还成功为航空航天领域客户提供交钥匙测量解决方案。

Marc现在是雷尼绍全球增材制造解决方案中心网络的负责人，致力于帮助考虑将增材制造工艺纳入生产流程中的客户在采购新设备之前获得实际操作体验。

www.renishaw.com.cn/additive

