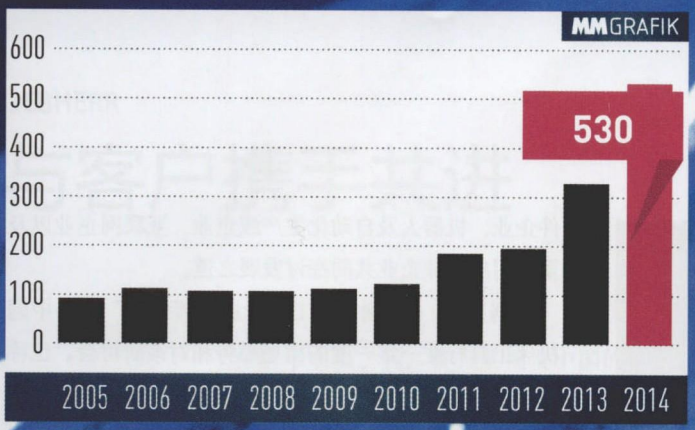

在过去几年中，金属增材制造系统销售呈明显增长趋势

变幻莫测的 3D 革命

即使不是明天就将铣床从加工车间送到废料场，但是增材制造的应用已成燎原之势无法阻挡，特别是 3D 立体设计构架对于零部件的功能和设计方式产生了革命性的影响。但是，目前 3D 的应用还存在一定的局限性，3D 打印技术更适合的领域是单件或者小批量的复杂产品。

文 | Victorica Sonnenberg 和 Stephane Itasse

“革命高潮尚未到来”是由德国机床制造商协会（VDW）在 Metav 展会期间举办增材制造研讨会中的摘录标语，未来 5 ～ 7 年不会产生巨大的变化。基于对于增材制造（AM）需求的推延，涉及到整个金属切削机床，其总需求量应该明显＜ 1 %。

阻碍 3D 打印技术进入市场的主要原因是成本和加工时间，增材制造优势是小批量加工以及复杂个性化和小型零部件的加工实现了无模具制造。除此之外，AM 技术还可以自动生成孔槽，如飞机工业的轻型结构件、内冷却通道等。由此，这些零部件在中等和大批量加工中的费用可以相互抵消。

无工具、快速、低成本制造

“在谈到工具或者金属切削工艺，AM 与传统工艺相比，如果涉及到复杂零部件。增材制造技术实现了零件的无工具制造，具有加工时间短、生产成本低、制造周期短的优点。对于复杂零部件，如涡轮的加工，可无关地与几何形体对‘零件’进行加工。”Voxeljet 公司市场 & 应用经理 Tobias King 说道。

该企业不仅是构建体积达 8 m^3 的工业级打印机生产商也是服务商，他

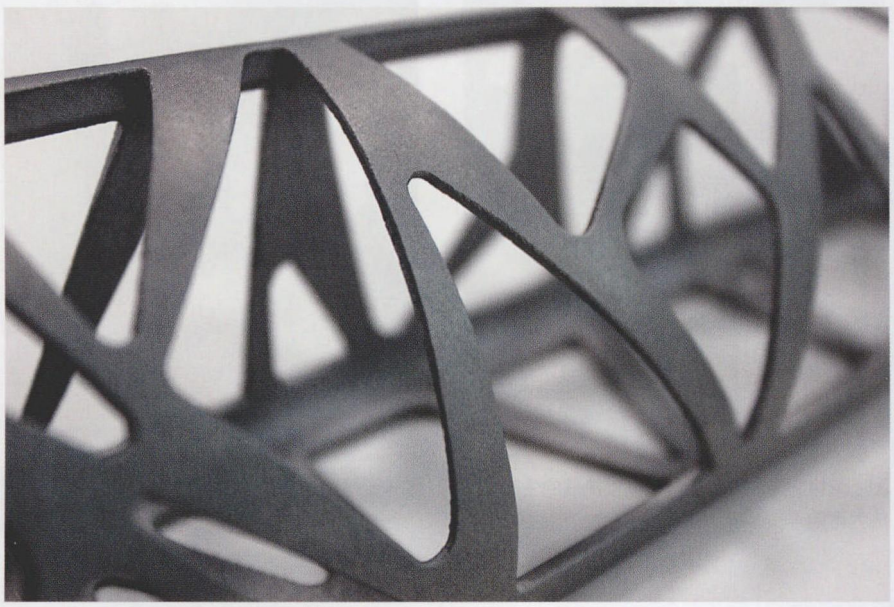

图 1 飞机座舱扶手要尽可能少地使用材料，只有采用增材制造才能减轻重量

们根据需求为客户打印单件直至中等批量，造型的独立性几乎无极限。AM 的设计自由性只是引人注意诸多方面中的一个因素。

“增材制造在加工过程中的柔性化和个性化具有很大的潜力，基于一个 CAD 模型便可以直接通过 AM 工艺生成零部件。与传统工艺相比，由于放弃了专用贵重的刀具或者费力的装配作业，大大缩短了小批量的加工时间和减少了成本。AM 排除了传统工艺在造型方面的限制，使具有复杂外几何形体和内几何形状的零部件的加工成为可能。”IWFT 工具和生产技术学院院长 Martin Reuber 教授解释说道。增材制造还可以在如下方面发掘新的潜力：

- 轻量制造：在保持相同或者甚至零部件的性能得到改善的前提下减轻内部结构的重量；
- 功能性：由于 AM 具有造型和设计的自由性，可以生产出更好的功能性零部件，如冷却通道可直接集成到零部件之中；
- 生产：由于具有高的柔性化和个性化，AM 适用于原型制造和小批量制造，亦即个性化的批量加工。

采用 AM 可降低生产成本，比如在 Bosch Rexroth 铸造厂，通过采用 3D 打印定制化的铸芯，使个性化的小批量供货时间明显得到了缩短。“用户仅需要将所希望部件的 CAD 数据传输过来，3D 打印机将按照增材制造原理加工出所需的砂芯或者具有复杂几何形状的砂型。如果客户不能提供数据也可以通过光电测量系统来实现。因为取消了成型制造的个性化模具生产和开发过程。由此，明显降低了原型样机和小批量的单件成本，缩短了从 CAD 数据组的收集到浇注成成品的流程时间。”Bosch Rexroth 铸造厂技术经理 Thomas Kuhn 说道。

“为此，我们认为，未来几年增材制造的费用将可以得到明显的改善，直至实现小批量的高效率生产，到那时从开发和加工过程直至整个价值链才能确定采用全新的技术。”Bosch Rexroth 制造工艺和工艺过程开发工业应用部门经理 Stefan Hoevel 补充说道。

尽管具有明显的优点，传统与现代相比较还是没有那么简单：传统的加工，通过加工工件的数量可降低单件成本，零部件的复杂程度又会增加成本，而增材制造只需要通过相应的曲线便可完成。正如 Aachen Fraunhofer-ILT 高级工程师和精英集群的 Christian Hinke 在 2016 钢材论坛“高薪国家的集成生产技术”说道：“目前增材制造的成本约为 3 欧元 /cm^3，这种加工价格还是很高的。”

图 2 采用 3D 打印技术生产的定制铸芯，为 Bosch Roxroth 铸造厂生产个性化铸件和小批量加工节约了成本和供货时间

经济性有待改善

只有增材制造的经济性得到改善，增材加工技术才能得以推广。按照 Hinke 的介绍，目前有两项措施可以提高经济性：一是提高激光的功率；二是多个激光头平行作业，即将多个二极管激光器平行设计放置。按照他的话讲，这样可以产生无限量的效率。

当然，不仅研究院所还有企业工程师们都在为改善其经济性而努力地工作着。Concept Laser 有限公司开发了一种新型增材制造的质量保障系统，用 QM 模块 Meltpool 3D 监测熔池的整个过程。在红外线范围内熔化时，产生的熔池辐射通过传感器同轴检测，由此实现了用 3D 图像直观熔池辐射的大小和强度。该系统的扫描速度为 10 kHz，3D 显示的分辨率为 35 μm，将可能出现的误差位点过程排列显示。

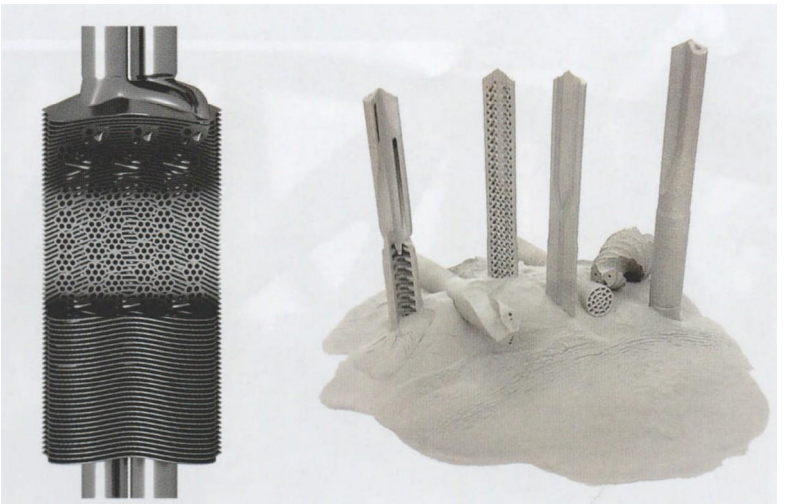

图 3 增材制造使拥有大散热面换热器的生产成为可能

图 4 增材制造生产的优质钢材试件

选择性激光烧结（熔化）金属粉末

SLM Solution 有限公司是一家知名的金属 3D 打印设备制造商，他们专为大型零部件研发生产了激光熔化设备 SLM500 HL，其结构尺寸为 500 mm × 280 mm × 365 mm。借助于选择性激光烧结熔化设备可打印，如钛、铬镍铁合金、不锈钢或者铝金属粉末材料，该设备拥有 4 台 700 W 的激光器，可以模拟加工很多零部件。金属粉末的颗粒直径为 10 ～ 45μm 之间，更确切地说铝材为 20 ～ 60μm 之间，在最大扫描速度为 10 m/s 时，金属粉末厚度为 20μm 和 75μm。

德国著名激光设备制造商通快（TRUMPF）公司将产品定位在 3D 金属打印机 Truprint1000，通过一个 200 W 的激光器照射粉末层，金属粉末厚度为 20μm，整个过程借助于实时图像跟踪控制系统。除此之外，通快还提供在线视觉支持系统，通过图像、声音和视屏即时与客户交流。

客户往往出于各种原因选用增材制造，正如空客子公司 Apworks 总裁 Joachim Zettler 在钢材论坛中说道：“AM 设计和制造工艺相比于传统工艺使结构更强、重量更轻、功能集成、耗材少、备件无时间拖延，无需仓储管理以及复杂几何形状零部件的生产。”这是他们使用 3D 打印机的依据。

“增材制造的设计采用自动拓朴最佳化法，这在今天不算什么特殊的。”Zettler 继续解释说道。但是 3D 打印的设计能力成为了应用的障碍，Apworks 的客户缺少掌握这种技术的员工。“与传统工艺相比，这完全是另外一回事，为此人们还需要其他的工具。”Zettler 说道。

为了增材制造技术，Apworks 与空客集团共同开发了被称为 Scalmalloy 的合金，Scalmalloy 是专门为 3D 打印而设计的材料，具有杰出的机械性能，其抗腐蚀性能强、重量轻，其强度与钛相近，而在增材制造广泛应用的铝硅粉末 AlSi10Mg 只有其一半的强度。另外，Scalmalloy 合金具有很高的韧性，特别适用于具有安全极限的领域。

据 Apworks 称，Scalmalloy 合金是机器人、汽车和航天领域高效率金属打印材料，加之与设计自由化的完美组合，通过金属 3D 打印出意想不到的功能零部件，Apworks 目的是提供符合航空业包括工业领域的质量要求的产品。

随着增材制造技术的不断发展及技术的不断突破，除了这种技术的可能性和局限性还可以创造出完全不同的生产现场，其可能性是无止境的，如果设计师还没有体验到新的自由性，那说明还不够好奇，也就是说 AM 的潜力还没有被充分挖掘出来。“打印需要 CAD 数据，而客户提供给我们的往往只是技术图纸，借助于设计师的帮助再将图纸转化成 3D 数据，这样常使设计师陷入设计局限性，没有充分发挥 AM 的设计自由性。”按照 TobiasKing 更具体化的经验，“以往是设计引导制造，还没有做到功能优先设计，如果开发增材技术造形的自由创造性，我们就可以看到全新复合结构的零部件。”

无论是技术还是人的因素，其发展结果都令人紧张期待着。迄今为止，专家的出发点是将生成式制造作为传统制造的补充。

“目前媒体过度夸大了 3D 打印技术，媒体将 3D 打印称之为下一次工业革命，我们不要把这种技术看作万能的，更多是将它比作为一个工具箱，把它应用到正确的项目中，发挥其优势。”King 强调说道。

预测 AM 将出现小规模的革命

IWFT 的 Reuber 接着说道，对于不同的要求：“AM 技术全部取代传统的加工技术是不可行的，因为一种技术的适合性要通过符合应用要求而体现出来，传统的加工技术在一定应用范围内仍然优于增材制造。”他继续说道，“如设备技术不断优化进步，AM 的流程时间继续减少，预测 AM 的大批量加工的经济性远不如传统的工艺链，只要传统工艺链还具有几何形体零部件的可加工性。

一场未知晓的革命可能会出现，AM 行业市场波澜起伏、变幻莫测，3D 打印机的前景正变得越来越不确定，市场和技术均未到成熟地步。人们需要在未知之处充分挖掘其潜力，即金属打印材料在航空航天和医疗技术领域的应用。用以加工对于功能、重量或者几何形体有很高要求的复杂设计的单件和小批量加工，其相对于费用和加工时间的缺点相比可以抵消。MM