

3D 打印与 CNC 加工的差异化选择研究

张铮

(成都市宏宇嘉翔航空设备制造有限公司 四川 成都 611130)

摘要：CNC 加工是一种常见的减材制造技术，使用一系列数控设备，如磨床、铣床、车床等，从原始材料中去除多余的部分得到成品。3D 打印技术出现的时间比 CNC 加工晚，它是一种增材制造工艺，以计算机模型构建的 3D 对象，通常逐层添加材料得到成品。本文主要涉及增材制造（以 3D 打印为代表）与减材制造（以 CNC 加工为代表）的对比差异。通过了解两种不同的技术，结合实际，为制造产品选择最优的生产方式。

关键词：3D 打印；CNC 加工；尺寸精度；工艺特性；成本

0 引言

增材制造以 3D 打印为典型代表，工艺通过一次添加一层材料来制造零件，如图 1 所示。3D 打印不需要特殊的工具或夹具，因此初始安装成本较低。减材制造以 CNC 加工为典型代表，CNC 加工是一种常见的减材制造技术，与 3D 打印不同，CNC 加工过程通常从一块实心材料开始，然后使用各种锋利的旋转工具或刀具去除材料以获得所需的最终形状，如图 2 所示。CNC 加工是目前生产最流行的制造方法之一，它具有极好的重复性、高精度、广泛的材料和良好的表面光洁度。

本文以 3D 打印和 CNC 加工作为两种技术路线的代表进行阐述。表 1 为两者的加工特点对比。

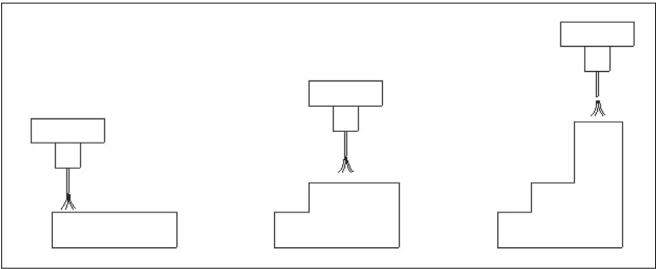


图 1 3D 打印示意图

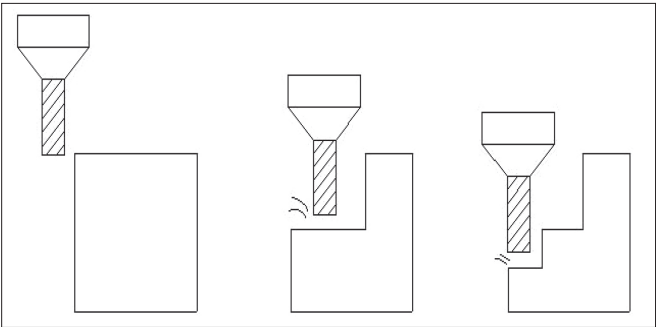


图 2 CNC 加工示意图

表 1 3D 打印与 CNC 加工特点对比

3D 打印	CNC 加工
直接从计算机图形数据中生成任何形状的零件	不能直接从计算机图形数据中生成任何形状的零件
对复杂结构金属零部件免去开发模具环节	对复杂结构金属零部件要开发大量模具
可以制造几乎任意形状的产品：生产形状复杂、尺寸微细、难于制造的零件	有些形状复杂的产品加工不出来
零件的制造更多取决于人的想法	零件的制造取决于加工工艺
产能较低，很难大规模量产	产能较高，适合大规模量产
精度控制低	精度控制高
大型零件制造困难，特别是大型金属零件内部的残余应力不易消除	大型零件制造容易，大型金属零件内部的残余应力在加工之前可轻易消除

1 选择原则

根据长期的经验，绝大部分产品制造都应采用 CNC 加工。通常只有在以下情况下使用 3D 打印才有意义。

(1) 对于内外形状高度复杂的产品，CNC 加工受限较大，采用 3D 打印能更好展现产品的复杂形状，甚至是唯一的解决方案。

(2) 当交付时间至关重要时，同样形状的产品，3D 打印通常可以更快地交付。

(3) 对于体积小的产品，3D 打印成本越来越具有优势，例如近年来很多公司推出的桌面 3D 打印机，对体积小的产品具有更好的适应性。

(4) 当遇到昂贵且不易加工的材料时，如金属高温合金（Ti 合金）、碳纤维复合材料以及柔性 TPU 等，3D 打印能有效地减少废料产生，节约刀具损耗，更能有效地控制成本。

虽然 CNC 加工提供了更高的尺寸精度，并且生产

的产品具有更好的机械性能，但这通常会带来更高的成本，尤其是针对体积较小的产品。另外，如果产品的数量较多（数百个或更多），那么 CNC 加工和 3D 打印都不是具有成本竞争力的选择。传统成型技术，如熔模铸造或注射成型，通常是最经济的选择。根据长期总结的经验，通常情况下，可根据产品数量选择工艺，如表 2 所示。

表 2 推荐工艺参考表

产品数量 / 件	1 ~ 9	10 ~ 99	100 ~ 999	1000 以上
塑料	3D 打印	优： 3D 打印 备选： CNC 加工	优： CNC 加工 备选： 注射成型	注射成型
金属	3D 打印或 CNC 加工	优： CNC 加工 备选： 3D 打印	优： CNC 加工 备选： 注射成型	熔模铸造

2 工艺特性对比

2.1 尺寸精度

CNC 加工提供了严格的公差和极好的重复性。非常大到非常小的零件可以通过 CNC 进行精确加工。由于刀具的形状，内角总是有一个半径，但外表面可以有锋利的边缘，并且可以加工得非常薄。

不同的 3D 打印系统提供不同的尺寸精度。工业级 3D 打印设备可以生产公差非常好的零件。如果需要精密的尺寸公差，也可以通过 3D 打印与 CNC 加工结合的方式实现，关键尺寸可以先 3D 打印并预留少许余量，然后进行 CNC 加工。

3D 打印的产品最小壁厚受末端执行器尺寸的限制(例如：FDM 中的喷嘴直径或 SLS 中的激光光斑尺寸)。由于零件一次只制作一层，因此层线可能是可见的，尤其是在曲面上。3D 打印所能实现的最大产品尺寸相对 CNC 加工来说较小，因为 3D 打印通常需要更为严格的环境控制。几种主流 3D 打印技术与 CNC 加工对比如表 3 所示。

2.2 被加工的材料

CNC 加工主要用于加工金属。此外，它还可用于加

工热塑性塑料、丙烯酸树脂、木质材料、成型泡沫等。常用的 CNC 加工的材料如表 4 所示。CNC 加工出的产品通常都具备该材料本身的特点，不会改变材料的特性。

表 4 常用的 CNC 加工的材料

塑料	ABS 塑料、尼龙、聚碳酸酯塑料、聚醚醚酮等
金属	铝、不锈钢、钛合金、黄铜等

3D 打印主要用于塑料，目前较少用于金属，但随着近年来技术的发展，在航空航天中越来越多的金属材料采用 3D 打印，如美国太空探索技术公司（SpaceX）的超复杂钛合金结构产品均采用 Velo3D 公司的 3D 打印技术进行打印生产。与 CNC 零件相比，因为技术的特点，3D 打印的产品材料种类繁多（表 5），物理性能各异。可能机械性能不如 CNC 加工出的产品，因为它们通常不是完全各向同性的。

表 5 常用的 3D 打印的材料

塑料	ABS 塑料、尼龙、聚乳酸、聚醚酰亚胺等
金属	铝、不锈钢、钛合金、铬镍合金等

2.3 模型复杂性

在设计用于数控加工的零件时，必须考虑一些限制，包括刀具接触和间隙、保持点或安装点，以及由于刀具几何形状而无法加工直角。

有些几何形状无法在数控机床上全部加工完成（即使使用 5 轴机床），因为刀具无法加工所有表面。大多数几何形状需要进行旋转才能使刀具接触到不同的表面。重新装夹增加了加工和辅助时间，还可能定制夹具，从而导致成本激增。与 CNC 加工相比，3D 打印几乎没有几何限制。随着技术的发展，现在已经有公司开发出无支撑金属 3D 打印技术，进一步提高了 3D 打印的效率。制造高度复杂几何图形的能力是 3D 打印的关键优势之一。

2.4 制造流程

在 CNC 加工中，至少需要经历“准备数据—编程—加工—后处理”4 个步骤，编程工程师必须首先考虑刀具选择、主轴速度、切削路径和产品的装夹。这些因素都会极大地影响最终产品的质量和制造时间。制造过程

表 3 3D 打印与 CNC 加工技术参数对比

技术类型	精度 /mm	最小壁厚 /mm	常见的产品最大尺寸 /mm
CNC 加工	±0.025 至 0.125	0.75	铣床：2000×800×1000
车床：φ500			
3D 打印 -SLS（选择性激光烧结成型法）	±0.3	0.7 ~ 1.0	300×300×300
3D 打印 -FDM（工艺熔融沉积制造）	工业级：±0.2 桌面级：±0.5	0.8 ~ 1.0	工业级：900×600×900
桌面级：200×200×200			
3D 打印 -SLM/DMLS（选择性激光熔化 / 直接金属激光烧结）	±0.1	0.4	230×150×150
3D 打印 -Binder Jetting（粘结成型）	±0.2	2	380×355×735

由数控操作工进行，此过程需要最多的人力。加工完成后，由钳工进行处理或进行其他后处理，也需要较多的人力。

在 3D 打印中，一般只有“数据准备—打印—后处理”3 个步骤，工程师首先准备数字文件（选择方向并添加支持），然后将其发送到设备，3D 打印时几乎不需要人工干预。打印完成后，由钳工对产品进行清理或进行其他后处理，这是 3D 打印制造流程中所需人力最多的部分。

2.5 后处理

许多后处理方法可应用于 CNC 加工和 3D 打印零件，以改善产品外观或增加某些特性。最常见的后处理技术如表 6 所示。

表 6 常用的后处理方法

CNC 加工	喷砂、阳极电镀、粉末涂料
3D 打印	介质喷砂、打磨、抛光

2.6 非金属类产品的成本

非金属产品以电子产品为例，电子产品通常应用较多的非金属材料。在设计新的电子设备时，为外壳制作原型是在批量生产之前完成产品定型的关键。为了加快开发时间，短的开发周期和低成本是主要目标。

电子外壳通常有卡扣、活动铰链或其他互锁接头和紧固件。所有这些功能都可以通过 CNC 数控加工或 3D 打印实现，但成本存在较大差异。

由于短的开发周期和低成本是主要目标，并且一般电子产品较小，因此考虑采用桌面级 3D 打印可以有效地节约成本和时间。常规情况下，非金属类产品的成本对比如表 7 所示。

表 7 非金属类产品的成本对比

项目	CNC 加工	工业级 3D 打印	桌面级 3D 打印
成本	高	中	低
常用材料	ABS 塑料、尼龙	聚乳酸、ABS 塑料、尼龙	尼龙
通常周期	1 ~ 2 周	1 周	1 ~ 3 天
精度	高	中	低

2.7 金属类产品的成本

金属类产品一般需要良好的力学性能，比如航空航天所需要的各种铝合金或者钛合金框类和支撑类产品，它们需要可以承受高负荷，并在高温下工作。在这种情况下，尺寸精度和良好的材料性能是主要目标。

如果产品几何形状简单，那么 CNC 加工是其精度、机械性能和成本方面的最佳选择。当几何形状复杂性增加或需要更多特殊材料时，必须考虑 3D 打印。因为这种情况下，CNC 加工起来非常困难且成本高昂。

另外，CNC 加工和 3D 打印可以结合起来，在关键位置制造具有复杂形状和高精度的零件。常规情况下，金属类产品的成本对比如表 8 所示。

表 8 金属类产品的成本对比

项目	CNC 加工	3D 打 印 -SLM/DMLS (选择性激光熔化 / 直接金属激光烧结)	3D 打印 - 粘结成型
成本	低	高	中
常用材料	铝合金、不锈钢等	铝合金、不锈钢、钛合金等	不锈钢、铬镍铁合金等
通常周期	高	中	低
精度	优	良	中

3 结语

总而言之，3D 打印技术相对于传统的生产方式是一次重大变革，它具有 CNC 加工所不可比拟的优势，但不能由此认为 3D 打印技术可以替代 CNC 技术。虽然 3D 打印和 CNC 加工存在本质上的区别，但现有的技术水平上，这两种技术不是互斥的存在，而是互相补充，互相配合。从现阶段来看，3D 打印通常适用于小批量（或一次性原型产品）和复杂几何图形，可以作为 CNC 加工有益的补充。随着以后技术水平的提高，3D 打印应用范围会越来越广泛，在粗加工方面对 CNC 加工的替代作用也会越来越明显。有效地将 3D 打印和 CNC 加工结合起来，是中国制造业“提质增效”的有力手段。

参考文献：

[1] 邱绍虎，赵宏顺，房开拓. 3D 打印与 CNC 加工在汽车及零部件制造不同阶段中的应用 [J]. 汽车工艺师, 2021(06):33-37.
[2] 王龙威. 3D 打印技术与 CNC 技术未来的关系走向 [J]. 科教导刊, 2017(08):143-144.

作者简介：张铮（1988.06-），男，汉族，四川成都人，本科，工程师，研究方向：机械加工类产品设计及数控加工制造。