



3D 打印技术替代传统工艺制造火箭零件

2013年,新合并的美国航天发动机制造商 Aerojet Rocketdyne 公司面对预算比以前更大的不确定性,在 NASA 重型火箭太空发射系统(SLS)的推进项目中采取大量的节约成本的措施,努力削减成本。“不能把所有的钱都花在带我们去太空的运载上,而应该把更多的钱花在我们到达那里时的勘探上”。其最典型降低成本的办法是引入了 3D 打印技术,该工艺被称为“选择性激光熔化(SLM)”,使用激光在特定模式跟踪熔化金属粉末层,接触点粉末焊接在一起,不断重复逐层熔化,就像传统的 3D 打印工作。采用 3D 打印工艺制造的喷注器(图 1)证明了此工艺既能降低火箭零件的生产成本,又缩短了制造周期,并增加安全性。目前,3D 打印的喷注器已通过了点火验证。



a 3D 打印的喷注器

b 抛光后的喷注器

图 1 采用 3D 打印工艺制造的喷注器

最先采用 3D 打印技术制造的火箭零件是 J-2X 发动机的排气口盖,并在 J-2X 发动机热点火测试中通过了验证,这是第一个在全尺寸发动机点火测试的 3D 打印零件。火箭发动机零件加工复杂,需要大量的劳动力和生产时间。喷注器是一个火箭发动机的核心,是发动机中最昂贵的组件之一。采用 3D 打印技术制造喷注器,代表了增材制造应用上的一大重要进步。传统缩比火箭喷注器共有四个部件,五道焊缝和复杂的机械加工,需要花六个月的时间制造出来,每个成本超过 1 万美元。而采用 3D 打印技术通过烧结钢铬镍铁合金粉末制造出相同的单一零件的喷注器,在通过最少的加工和计算机扫描检查后,零件到达测试站仅用了三周时间,制造成本不足 5000 美元。3D 打印喷注器的性能与传统生产的喷注器没什么区别,但成本和生产周期却大大降低。

3D 打印技术改变了传统的方式生产,目前美国

正在研究采用 3D 打印技术制造“pogo”液氧防溅挡板和推力室内衬等。经过点火试验的喷注器也将继续进行二次试验,累积点火时间,以测试其耐久性。应用此工艺预计将节省大量的成本和时间,如气体发生器组件一般要用 9 个月时间,生产成本 30 万美元,现在预计将用 3~5 周时间,成本仅为 3.5 万美元,通过“打印”工具将大大减少发动机零件甚至整个宇宙飞船生产时间和成本。

由于增材制造设备更便宜,制造的零件更具多样性、复杂性,应用会越来越广泛。目前,NASA 马歇尔航天中心的工程师继续完成 3D 打印技术地面和空间制造的测试,加州莫菲特菲尔德公司与 NASA 合作开发和测试 3D 打印机,计划明年将在国际空间站建造打印工具,NASA 在休斯顿的约翰逊航天中心甚至在开发太空打印食物。

J-2X 发动机一直被认为是美国下一代载人火箭的关键项目,它由土星上面级发动机 J-2 改造而成,将用于 SLS 的上面级。第一批四个 SLS 发射分别定于 2017 年、2021 年、2023 年和 2025 年。SLS 的第一级将使用四个 RS-25 发动机(原航天飞机主发动机 SSME),目前 NASA 有 15 个完整的 RS-25,第 16 个将从现有的部件组装而成。Aerojet Rocketdyne 公司正在重启 RS-25 生产,2021~2022 年交付第一个新发动机。3D 打印技术最初的目标是用于 RS-25 发动机,以期降低其生产费用。SSME 发动机控制器使用的是 1980 年代的,新建 RS-25 发动机将采用 J-2X 的现代数字发动机的控制器。目前 J-2X 的许多技术都有可能用于新建 RS-25 发动机上,J-2X 和 RS-25 之间估计有 65%是共同的,有可能会更高。根据修改后的工艺,新 RS-25 生产的总时间从长主导项目到安装预计将从航天飞机的 6.5 年减少到大约 4 年。NASA 决定使用成熟和相对低风险的技术,SLS 的主要原则之一是大量使用传统的硬件。J-2X 中植入更多的现代制造技术和设施,布局优化了生产和装配流程,预计能有多达 50%的成本节约通过发动机技术共享来实现,即生产工艺在发动机之间共同流动。

(丁新玲 供稿)