

浅谈快速成型技术在航空航天业的应用与发展

Application of Rapid Prototyping in Aviation Industry

上海联泰科技有限公司 马劲松



马劲松

上海联泰科技有限公司副总经理,长期从事立体、光固化激光快速成型技术的应用和市场研究工作。

快速成型技术(Rapid Prototyping, RP)是20世纪80年代中后期发展起来的新型数字制造工艺技术。RP技术的加工原理是基于离散堆积成形思想,由CAD模型直接驱动,把零件的三维数字模型进行离散化,然后按照数字积分的思路进行逐层加工,以快速完成任意复杂形状三维实体零件的制作加工。

快速成型的加工过程可分为前

与传统的切削加工去除成型的减法原理不同,这种基于离散的增长方式成型技术是以加法的方式来获得产品,可直接从CAD文件快速地制作产品物理原型(样件),用以验证产品外观造型、零件装配关系或进行功能试验,从而提供了一种可测量、可触摸的直观手段,改善了设计过程中的人机交流,缩短了产品的开发周期。快速成型技术是继数控技术之后制造业的又一次重大革命。

期的数据处理(离散)和之后的物理实现(堆积)2个阶段(见图1):在离散过程中,将零件的三维CAD模型沿一定方向分解得到一系列的截面数据,在此基础上获得控制成型头的运动轨迹;在堆积过程中,成型头在运动轨迹的控制下,逐层加工出零件的每一个截面,如此反复进行层层截面的堆积连接,最终获得加工零件。

与传统的切削加工去除成型的减法原理不同,这种基于离散的增长方式成型技术是以加法的方式来获得产品,可直接从CAD文件快速地制作产品物理原型(样件),用以验证产品外观造型、零件装配关系或进行功能试验,从而提供了一种可测量、可触摸的直观手段,改善了设计过程

中的人机交流,缩短了产品的开发周期。快速成型技术是继数控技术之后制造业的又一次重大革命。

快速成型技术的工艺特点

RP采用逐层材料累加法加工实体模型,也称为增材制造(Material Incess Manufacturing, MIM)或分层制造技术(Layered Manufacturing Technonogy, LMT),这种特殊的加工方式决定了它具有以下与传统加工方法完全迥然的技术特性。

(1)高度柔性。可以制造任意复杂形状的三维实体。加工过程无需进行刀具、模具或工装夹具等生产准备,对于不同的零件模型,只需重新输入CAD数据,或调整设置不同

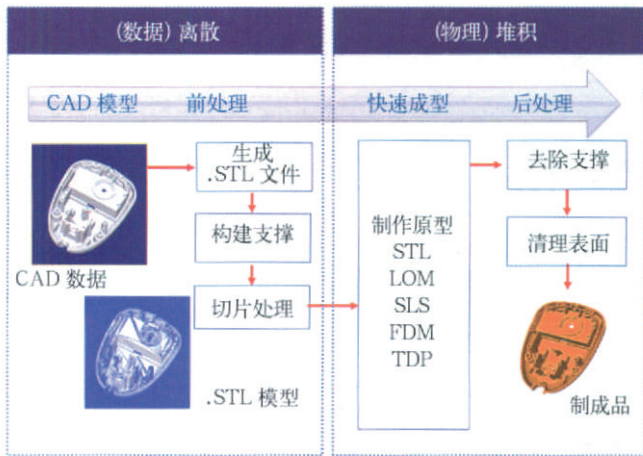


图1 快速成型加工过程

的工艺参数即可,其单件生产成本几乎与产品的复杂程度和产品批量无关。

(2)CAD/CAM 高度一体化。RP 技术由 CAD 模型直接驱动,不同的零件生产无需考虑专用工具和工装的设计使用,可避免繁琐的 CAPP 瓶颈,制作过程完全数字化,真正实现了 CAD/CAM 之间的无缝衔接。

(3)成型全过程的快速性。从 CAD 设计到原型零件制成,一般只需几个小时至几十个小时,即可得到高精度和高还原性的产品,远远超出了传统加工的速度。

(4)高度自动化。工艺过程全自动,加工过程无需人员干预,零件加载后,设备可做无人值守工作。

快速成型技术的应用方向

从 20 世纪 80 年代以来,RP 技术发展迅速,广泛应用于汽车、航空航天、医学、轻工等诸多方面,其应用方向主要有 3 个方面(见图 2)。

(1)模型。RP 技术成功地解决了三维造型“看得见,摸不着”的问题,其最大特点是能以最快的速度将设计思想转变为具有一定结构功能的产品原型,使设计模型从“看得见”(三维数模)到“摸得着”(实体模型)。因此 RP 技术一个主要的作用是还原设计思想,快速获得概念产品,侧重于外观的还原和展示效果,

分评估。

由于 RP 技术的 CAD/CAM 的高度一体性,它不仅可以快速地还原产品外观,也同样能够快速制成产品零件和结构部件,从而可以对产品进行结构、装配的验证和分析,对产品设计进行快速评估、测试,缩短产品开发的研制周期,减少开发费用,提高参与市场竞争的能力。

此外,在快速获得的产品原型基础上还能对后期的产品模具设计、生产工艺、装配流程,甚至是批生产工夹具的设计等后续制造进程进行校核和测评,避免进入批生产流程之后由于设计缺陷可能导致的生产问题和巨大损失,从而能以最快的速度、最低的成本和最好的品质将产品投入市场。事实上,如果研发/生产体系结合得当,快速成型技术将成为实现并行工程和敏捷制造一个非常有效的技术手段。

(3)单元制造/小批量直接生产。使用间接制模的方法,结合各种转换技术将 RP 原型转换成各种快速模具,如硅胶模技

术、RIM 技术、消失模铸造等,可便捷地实现单件或小批量产品生产,满足产品更新换代快、批量小的发展趋势。

通常用于新产品的销售演示和市场推广,测试市场反应,从而提高新产品开发的市场反应速度,降低开发风险。

快速成型技术在航空航天领域的应用实例

航空航天产品具有形状复杂、批量小、零件规格差异大、可靠性要求高等特点,产品的定型是一个复杂而精密的过程,往往需要多次的设计、测试和改进,耗资大、耗时长,RP 技术以其灵活多样的工艺方法和技术优势而在现代航空航天产品的研制与开发中具有独特的应用前景。

在各类已经商业化运用的快速成型工艺中,立体光固化成型 (Stereolithography Apparatus, SLA) 技术应用最为成熟,是工业领域中应用最广、最主流的 RP 技术。SLA 技术依靠光聚合反应来进行固化成型,不产生热扩散和热形变,加上链式反应能作精确控制,可保证聚合反应不发生在激光点之外,因而加工精度高,表面质量好,原材料的利用率接近 100%,成型效率高。

此外,由于 SLA 技术没有热效应,能制成各类大小规格的复杂精细零件,适用范围广泛,具有良好的综合稳定性,是唯一能满足航空航天产品的精度、表面质量和稳定性



图2 快速成型技术的应用方向

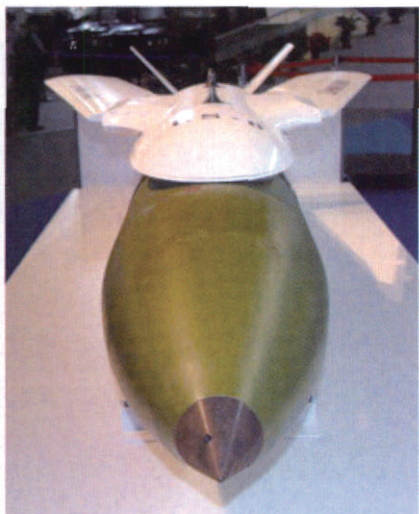


图3 用SLA技术制作的制导炸弹弹翼组件

要求的快速原型技术。目前,比利时 Materialise 公司的 Mammoth 激光快速成型系统,其一次性最大加工尺寸可达 2200mm;在国内,上海联泰科技有限公司的 RS800 型设备最大可提供 800×600×500mm 的成型空间,最小薄壁厚度可做到 0.4~0.6mm,可满足大部分航空航天快速原型件的要求。下面以快速成型技术在航天航空行业的部分实际应用案例来作一些简要说明。

(1) 展示模型——制导炸弹弹翼组件。图 3 为 2008 珠海航展上展出的空军某型 250kg 级制导炸弹。该弹是在现有的老式航弹弹体上加装弹翼组件后改装而来的。展出的绿色弹体为常规航空炸弹,白色部分为弹翼组件,由联泰科技 RS6000 激光快速成型机全尺寸制作完成。其(单边)翼展最大尺寸约为 1.2m 长,整个组件在 10 天内即全部完成,其中 SLA 制作 7 天,表面处理时间 3 天,为模型及时参与航展提供了有效保障。

(2) 功能讲解演示模型——航空发动机。图 4 为美国通用公司全尺寸航空发动机模型,所有零部件均由 SLA 技术实现。制作过程中甚至可在外壳上特别设计出可打开的剖面机构,以充分暴露其内部结构,利于进行产品内部组件的展示和功能

讲解。

(3) 涂装方案评估模型——C919 外形模型。图 5 为利用联泰科技 RS6000 按 1:100 的比例制作得到的 C919 缩比模型,主要用于多种机身涂装方案的效果快速评估。首先将 IGS 格式的数据导入 Magics 软件进行缺陷数据的处理和修复,主要包括对法向方向定义相反的曲面、没有进行正常连接的曲面(曲面之间有交叉和缝隙)或在数据转换过程中出现轮廓缺失的曲面进行统一修整,将修整好的数据按 2mm 的壁厚进行抽壳后加载到 RS6000 设备上原型加工,原型制成后按不同的涂装方案要求进行表面喷涂处理。相比传统的手工制模,利用 SLA 工艺进行涂装模型的制作有 2 个明显优势:

- 速度快,效率高: 数据处理时间约为 1 天; SLA 制作缩比模型时间约为 13h; 后处理时间为 4 天。

- 与手工模型相比, SLA 原型的精度高、数据还原性高,如翼身融合部、引擎部分、舵面线等细节。

(4) 风洞模型——某无人机风洞试验模型。风洞试验是任何飞机研制必不可少的一个关键进程,以试验飞机各项气动外形性能和飞行性能等。低速风洞试验模型,要求模型数据准确,具备一定的强度,一般采用金属 CNC 加工,后期还需人工进行表面打磨光顺,加工周期长,成本高,由于比较重,试验操作也不方便。

现阶段的快速成型技术在精度和强度上还不能完全满足整体风洞模型的要求。联泰科技采用国产碳

纤维,结合快速成型、快速模具工艺,以低成本快速制作某无人机项目的风洞试验模型(1:13),满足了其低速试验要求。整个模型制作时间为 5 周,而传统金属风洞模型的制作通常需要 3~5 个月的时间,碳纤维模型成本也仅为钢制模型的 1/4 左右。

采用碳纤维代替钢质材料来制作风洞试验模型,降低了制造成本和生产周期,机械性能较高,综合经济性优越,可满足低速风洞试验需要。但由于复合材料目前在精度控制方面与金属材料的 CNC 加工方式相比还有一定的差距,对于精度要求更高的高速吹风试验,还需要工艺上的进一步改进和优化。

(5) 单件产品快速制造——某型导弹弹体的快速精铸件。在航空零件中,精密铸件所占的比重很大,特点是品种多、形状复杂,传统的铸造方法周期长、成本高。RP 技术与铸造技术相结合,为铸造原型和模壳的制作提供了速度更快、精度更高、结构更复杂的技术保障,是快速制得金属零件的有效途径,尤其适合单件小批量铸件的生产。SLA 工艺由于优越的尺寸稳定性和良好的表面质量,对于航空航天领域中常见的一些薄壁、大框架尺寸的结构复杂件,更是具有不可替代的技术优势。

由联泰科技制作的某型导弹弹体的快速铸造 SLA 原型件,其弹体由 5 段组成,单段弹体最大长度为 550mm,壁厚仅为 2.5mm,钛合金浇铸。这样的铸件若使用常规的消失铸造技术,其原型模具和蜡型的制取都非常困难,铸造难度也很高。而利



图4 用SLA技术制作的全尺寸航空发动机模型



图5 利用SLA技术制作的C919模型

用 SLA 可轻易制得大尺寸、高精度的原型件。弹体的 SLA 原型件经特殊的数据处理,内部呈蜂窝状中空结构,在获得较好焙烧性能的同时,还能保持原型有足够的强度用于挂浆制壳。从前期的数据处理到后处理(后固化及气密测试)完成,一套弹体 SLA 原型件的制成仅需 7 天左右的时间,生产效率非常高。

使用 SLA 工艺进行快速铸造生产,其目的有二:一是由于铸件铸造难度大,快速获得原型用于铸造,以及时获取各项铸造参数,验证零件的可铸造性,为后续批生产铸造工艺的完善和定型提供依据;二是对于小批量或单件零件生产,用 SLA 原型直接替代蜡型进行消失铸造,获得最终产品,避免复杂蜡型模具巨大的开发成本和漫长的生产周期。

我国快速成型技术的应用现状及分析

20 世纪 80 年代以来,RP 技术发展迅速。2000 年前后,我国的快速成型应用开始进入推广普及阶段,并日趋成熟,到 2006 年前后到达一个高峰期,此后逐步进入一个平台发展期。

综合来看,我国快速成型产业现阶段有以下几个特征:

(1) 对 RP 技术的理解和认识存在误区。快速成型技术由于其迥异于传统加工的独特工艺及其优越性,在初期引入阶段对其的认识始终带有一层神秘色彩,因此我国工业界对快速成型技术的认识其实还很概念化,并不十分成熟;与国外情况相比,大部分应用模式还仅停留在手板的概念上,对其本质的理解和认识仍不是非常深刻。这种认识误区在初期虽然对技术推广起到了积极作用,但同时也对快速成型的产业深化发展及持续使用产生了消极影响。

(2) RP 技术的普及使用南北差异大:由于我国改革开放进程的特

性,工业产业是由南方沿海向内陆北方逐步扩展蔓延的,新技术的引进和应用也相应地会随同这种趋势进行梯度扩散。目前,快速成型技术在南方沿海已经成为一种比较成熟的工艺手段,甚至出现了过度竞争的情况,但更为广袤的内陆企业对 RP 技术的认识和接受却是才刚刚起步,整个产业呈南重北轻的态势。由于我国航空航天工业大部分都分布于内陆北方,这种布局的失衡也导致了 RP 技术在我国航空航天业的应用和推广仍处于比较初级的局面。

(3) RP 技术的应用需求未得到充分的发掘:随着我国制造水平的发展,各种国际前沿的制造软件和设备陆续引入,我们的数字化设计和数字化制造能力得到了很大程度的提升,但由于我国制造企业多年来传统体制上的惯性和制约,设计和工艺、研发和制造二者之间的脱节现象仍然比较明显,设计和生产部门固守和维持原有的工作思维和工作习惯,各行其事,难以真正实现设计制造一体化的生产模式。这种意识和体系上的脱节使得 RP 技术作为 CAD/CAM 之间的有机桥梁的核心意义被严重忽视,利用 RP 技术来进行问题解决意识和意愿都非常低下,大量可能的应用需求未被充分激发。

(4) RP 技术的投入产出效果不明显,应用价值未得到充分体现:相比传统加工方法,虽然在制作周期、柔性等方面有较大优势,但快速成型设备及制作成本还相对较高。从国内目前快速成型设备的采购用户来看,主要集中在国有大中型制造企业、高校、政府主导的各地促进中心、南方沿海大型 OEM/ODM 企业以及民营性质的手板服务中心等。

对于大中型国有企业,其体制上的限制导致对新技术新工艺的使用意愿不强,设备使用效率较低;而高校及促进中心,由于缺乏必要的市场运行机制、管理体系以及成熟的配套

技术,与市场的实际需求还有一定距离,无法深入地提出系统性的解决方案,导致 RP 技术的应用比较形式化,客户使用体验差,技术价值未能得到充分体现。RP 技术的投入产出比不高,很大程度上跟我国现阶段的运用水平较低有非常大的关系,快速成型技术巨大的隐性经济价值并没有得到正确、充分的认识和评估。

发展建议

综上所述,快速成型技术是一种正在迅速发展、完善的高新技术,它的优越性和应用前景已为越来越多的人所认识,RP 技术应用的基础是快速原型,它使直接从概念设计迅速转为产品设计的生产模式成为可能。现阶段我国对快速成型技术的认识和应用水平仍然较低,在航空航天行业则处于起步阶段,应用程度仍比较浅,也正是如此,我们能想象的需求空间也非常巨大。

在推动快速成型技术的普及应用过程中,我们应坚持做好 2 方面的工作。

(1) 对快速成型技术能有一个比较准确的理解。任何一种技术工艺都不是十全十美的,不能对其抱有不切实际的过高期望。理性认识快速成型技术的本质,回归其于常态,才能保证 RP 技术在实际生产过程中得到准确应用。

(2) 同时,我们要对快速成型技术在研发和生产之间的巨大缝合作用予以充分的认识。在系统性的设计制造一体化方面,我们在理念、思维和体系设计等各方面还有很大程度的滞后,必须打破那种条块分割的固有体系,建立正确的设计和工艺之间的有序化。

解决了这 2 点,快速成型技术的作用和价值才能在国民经济的主战场得到相应的重视和体现,为推动我国航空航天的技术发展发挥其应有的作用。(责编 依然)