

综述与机型

3D 打印技术在船用柴油机领域的应用前景分析

李 佳, 张纪可, 冯明志

(七一一研究所, 上海 201108)

摘 要: 介绍了 3D 打印技术的原理、国内发展现状及优缺点, 分析了其在船用柴油机领域的应用前景。指出: 3D 打印技术可以有效地降低船用柴油机研发成本、缩短研发周期, 具有广阔的发展前景。

关键词: 3D 打印; 船用柴油机; 增材制造

中图分类号: TK421 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2015)02-0001-05

Application Prospect of 3D Printing in Marine Diesel Engines

Li Jia, Zhang Jike, Feng Mingzhi

(Shanghai Marine Diesel Engine Research Institute, Shanghai 201108)

Abstract: The principles of 3D (three-dimensional) printing, its development status in China, as well as its pros and cons are introduced. Its application in the field of marine diesel engines are analyzed, and it is pointed out that 3D printing technology could effectively reduce the development cost of marine diesel engines, shorten the R&D cycle, thus would be widely applied in this industry.

Keywords: 3D printing; marine diesel engine; additive manufacturing

0 引 言

英国《经济人》杂志认为: 以 3D 打印技术为代表的智能制造, 是经历了金融危机的欧美等工业发达国家和地区重振制造业的重要手段, 是实现国家制造业经济转型“再工业化”和制造中心回流的重要途径, 并预言 3D 打印技术作为第三次工业革命的核心推动力, 将掀起继蒸汽机和工业流水线后的第三次工业革命^[1]。

近年来, 3D 打印技术发展势头迅猛, 已被广泛地运用于航空航天、汽车零部件、重大装备、文化创意、生物医学等领域^[2-4], 根据美国添加制造技术咨询服务协会 Wohlers 在 2013 年发布的年度报告, 3D 打印产品在 2013 年全球市场规模约为 40 亿美元, 相比 2012 年市场年均复合增长率近 100%, 预计到 2017 年 3D 打印市场份额将达到 50~60 亿美元左右^[5]。但是在船舶行业的应用鲜有

报道, 作为一种新兴的制作技术, 有必要了解其原理及其在船用柴油机中的应用前景。

1 3D 打印技术基本原理

1.1 3D 打印技术原理

根据维基百科对 3D 打印技术的解释: “它运用粉末状金属或塑料等可黏合材料, 通过一层又一层的多层打印技术, 来构造零部件。”通俗地说, 3D 打印就是在普通二维打印的基础上再加一维, 之所以还称之为“打印”, 则是因为其借鉴了二维打印的技术原理, 分层加工的形式和喷墨打印的过程相似^[6], 只不过打印的材料是“实物”而不是“墨水”。3D 打印技术的原理如图 1 所示, 首先通过一组平行平面去截零件, 得到一系列足够薄的切片(一般为 0.01~0.1 mm)或者称之为二维零件模型, 然后按照一定规则堆积起来即可得到整个零件。

收稿日期: 2014-11-28

作者简介: 李佳(1982-), 男, 高级工程师, 主要研究方向为柴油机 CAE 仿真分析, E-mail: lijia@csic-711.com。

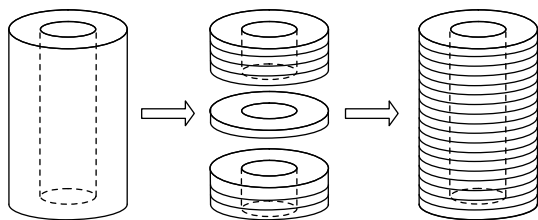


图 1 3D 打印技术原理示意图

1.2 3D 打印技术工作流程

根据 3D 打印技术的原理,在进行实物打印时需要以物体三维数字模型为基础,输出利用三角面模拟几何模型的 STL 格式几何文件给专业分层软件,利用软件将三维模型分层离散,根据实际层面信息进行工艺规划并生成供打印设备识别的驱动代码,根据代码命令利用不同技术方式的打印设备,再使用激光束、热熔喷嘴等方式,将金属、陶瓷等粉末材料或纸、聚丙烯等固体材料以及液体树脂、细胞组织等液态材料进行逐层堆积黏结成型,最后再根据打印设备技术特点进行固化、烧结、抛光等后处理^[7]。其工作流程如图 2 中所示。

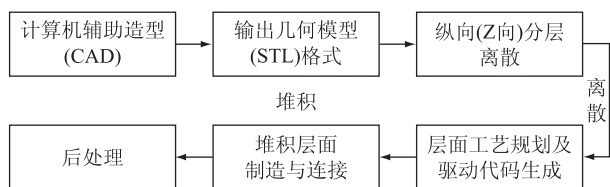


图 2 3D 打印技术工作流程图

2 国内发展现状

近年来随着国际和国家层面对 3D 打印技术的关注和支持,国内研究持续火热,为整合资源,形成设备、材料全产业链开发,将整个产业做大做强,高校和地方政府结合组建产业联盟的形式逐渐兴起^[8],已经成立的有中国 3D 打印产业联盟、陕西省 3D 产业创新平台、浙江省 3D 打印产业联盟等,上海、南京等地也在逐渐酝酿成立 3D 产业联盟。

3D 产业技术在 20 世纪 90 年代初由清华大学颜永年教授引入国内,但是由于和 CNC (Computer Numerical Control) 加工中心存在竞争关系,往往只作为 CNC 的补充,多停留在高校研究和教育培训领域。而国内企业产品多以自主开发桌面级产品,同时代理国外工业级产品的模式为主,产业化进程缓慢,自主开发的产品在成型精度、成型速度以及产品稳定性方面和国外产品尚存在一定差距。高附加值的粉末等原材料开发工艺能力不足,企业

经营模式也较为单一。

近年来随着 3D 打印技术的进步和国外市场的推动,国内西安交大的卢秉恒院士等团队、湖南华曙等企业,在解决激光成型中变形开裂,尼龙烧结材料研制等方面均取得了一定的成果,特别是在航天领域已经达到世界先进水平^[9-11]。

3 3D 打印技术优缺点分析

3.1 3D 打印技术的优点

3D 打印技术的主要优点:

(1) 设计制造快速一体化。由设计三维模型直接驱动制造,通过三维模型识别、分层转换、代码生成、叠加成型等一系列过程,在一定程度上实现了设计、制造一体化。这样就可以自动、直接、快速、精确地将设计思想转换成真实的产品模型,从而可以对正处于设计阶段的产品做出快速评价、修改及功能试验。

(2) 高效率生产。可以实现无人操控的自动生产,且无需开发模具,产品周期可以缩短近 4/5^[12];零件的形状和结构设计没有任何约束,有利于激发设计的思维活跃度,实现个性化和定制化,基于拓扑设计优化的复杂模型的直接制造也成为可能。

(3) 材料丰富。材料没有限制,树脂、塑料、陶瓷、纸质、金属亦或复合材料都可以使用,甚至可以根据零件实际功能要求实现不同部位不同材料。

(4) 低研发成本。与传统“去材制造”有别,无需初始生产线和模具投入,一次打印完剩余的原材料还可重复利用,提高了材料和能源的利用效率,大幅度减少了原材料消耗浪费以及对环境地破坏。

3.2 3D 打印技术的缺点

从中长期看,3D 打印技术具有较为广阔的发展前景,但目前产业化距离成熟阶段尚有较大距离,3D 打印技术还须进一步克服以下缺点:

(1) 尺寸限制明显,制造成本高,金属材料种类偏少;大型零件打印时间太长,与传统加工方式相比没有优势;现有 3D 打印机造价普遍较为昂贵,金属 3D 打印机的售价一般要 400 ~ 500 万以上,有的甚至过千万;材料粉末价格比材料本身高 10 倍以上^[13],且目前可用的金属材料种类较少,这都给其进一步普及应用带来了困难。

(2) 精度和效率难平衡,无法满足高效生产。目前 3D 打印成品的精度还不尽如人意,表明光滑度与产品要求仍差距明显,打印效率与铸造等批量

生产方式相比, 产能还远不能满足大规模生产的需求, 而且受打印机工作原理的限制, 打印精度与速度之间存在严重冲突, 制造精度与制造效率的平衡问题还有待解决。

(3) 金属零件工作强度偏低。目前, 3D 打印技术的金属构件无法达到高温、重载、冲击等极其严酷的工况的要求, 还须配合后续的致密性处理, 如静压处理等; 经过加工后, 堆积成型产品的韧性与强度等都有待进一步提高。

(4) 打印过程可能造成人体危害, 产业环境急须立法完善。3D 打印部分设备由于原料为粉末, 在成品后处理过程中不可避免会产生一定的粉尘, 可能会对人体呼吸道和肺部带来一定的疾病隐患。同时, 由于 3D 打印产品更容易被复制和扩散, 产品设计和生产各阶段都存在一定的侵权风险, 容易引起知识产权纠纷, 急须立法保护^[14]。

3.3 3D 打印技术的发展趋势

随着智能制造的进一步发展成熟, 新的信息技术、控制技术、材料技术等不断被应用到制造领域, 3D 打印技术也将被推向更高的层面。未来, 3D 打印技术与装备将以数字化、网络化为基础, 向个性化、精密化、智能化、通用化以及便捷化等方向发展。

(1) 工艺和设备开发。提升 3D 打印技术的速度、效率和精度, 开拓并行打印、连续打印、大件打印、多材料打印的工艺方法, 提高成品的表面质量、力学和物理性能, 以实现直接面向产品制造, 更加适应分布化生产、设计与制造一体化的需求, 可以直接打印出尺寸更大的零件。

(2) 材料验证。开发多样的 3D 打印材料, 如智能材料、功能梯度材料、纳米材料、相变零膨胀材料、非均质材料及复合材料等, 在扩展 3D 打印技术应用范围的同时降低打印成本。

(3) 软件升级。软件集成化, 实现设计加工制造一体化, 使设计软件和生产控制软件能够无缝对接, 减小数据处理误差, 实现设计者直接联网控制的远程在线制造。

(4) 拓展应用领域。在生物医学、建筑、车辆、服装、能源等领域的应用得到进一步拓展。

4 3D 打印在船用柴油机领域的应用前景

目前, 3D 打印技术应用最为广泛的是消费品, 电子、交通设备和医疗三大领域^[15-16], 在船用柴油机领域的应用鲜有报道, 这和 3D 打印的技术特

点、技术现状以及船用柴油机自身的特点有关。

船用柴油机属于传统制造业, 零件尺寸往往较大, 使用材料没有特殊要求, 而 3D 打印机的打印尺寸有限且打印材料成本往往远高于材料本身价格, 因此船用柴油机领域还不具备批量的直接进行金属打印的条件。但是根据 3D 打印技术的特点和优势, 可以在样机研发过程中作为缩短开发周期和改进设计的有力手段进行多方面尝试。

4.1 快速原型

利用 3D 打印技术可以快速地将设计模型可视化。基于打印的快速原型可以检查实体模型的设计情况, 进行模型改进和优化; 对于须要检查装配情况的模型, 可以不考虑材料和强度, 在保证精度的情况下利用廉价材料快速造型, 进行装配检查, 节省设计时间。

除了快速打印原型零件进行设计和装配检查外, 还可以打印特殊的试验件, 快速响应试验需求。如直接利用树脂材料打印多方案气道吹风试验样件(图 3), 可以有效缩短制作“木模—砂模—铸造原型”的时间; 由于跳过了前期高额样件制造所需的模具费用, 且可以自由设计, 省却了多余材料, 直接打印成型, 可以大幅缩短开发成本。

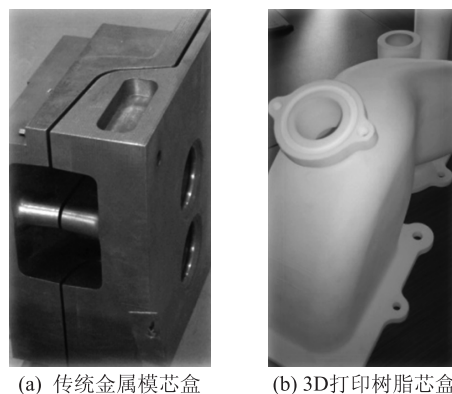


图 3 气道吹风快速原型芯盒样件对比图

4.2 快速铸造

在产品开发过程中, 模具的形状和加工周期是制约整个产品生命周期的重要因素, 也是目前 3D 打印技术与实际工业联系最为紧密的应用。对于尺寸较大的船用零部件, 受限于金属打印的尺寸限制, 直接打印出金属模具困难较大, 但是可以应用无模快速铸造。

以往船用柴油机的复杂结构零件铸造工艺都是通过三维 CAD 模型得到三维砂芯模型, 然后建立符合工艺要求的三维砂芯模具模型, 制作砂芯模具, 通过翻砂制作砂芯, 再进行浇铸等。利用 3D

打印技术中的无模铸造技术直接制作出符合铸造要求的零件砂芯,可以简化传统铸造工艺,同时保证不同模具之间带来的容差型,提高效率、降低成本。

由于船用柴油机机体和缸盖内部结构复杂,依靠传统的设计制造方法,仅铸造模具、修改模具等环节就需要近半年的时间,而且机体和缸盖等内部存在多处自由曲面,采用传统方法制造很难保证曲面精度。而采用无模铸造技术,先制作出用于铸造的砂型,再浇铸成机体和缸盖,不但可以极大地保证模具精度,更为重要的是,大大节省了时间。与传统方法相比,采用无模铸造技术可以将成品时间缩短 2/3。图 4 为几个无模制作实例。

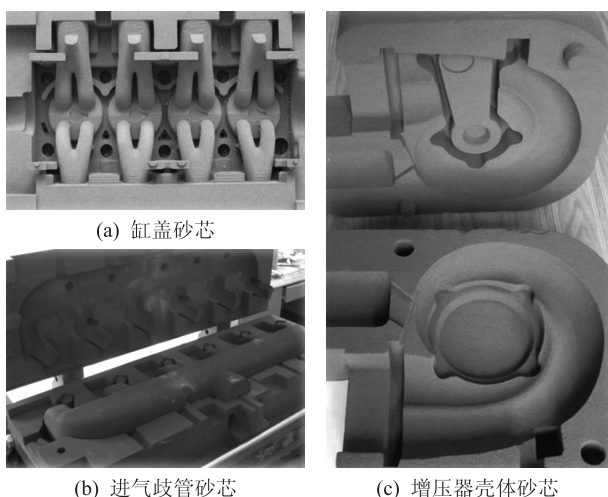


图 4 无模铸造砂芯实例图

同理,进排气管、增压器罩壳和油泵罩壳等部件也可以利用同样的方法进行快速铸造;除此之外,还可以直接打印蜡模,用于增压器涡轮叶片等部件的熔模精密制造,以避免薄壁热开裂现象。

4.3 快速制造

近几年来,随着 3D 打印技术材料的丰富和打印精度、打印尺寸的进步,利用 3D 打印技术的优势和特点,越来越多的小批量、定制化和高设计附加值的产品开始直接进行成品打印。

在船用柴油机领域,同样受限于金属材料的打印尺寸,目前尚不能打印大尺寸零件,但是可以对增压器涡轮叶片、气门和气门座圈等尺寸容差率和精度要求高的高温合金材料零件进行直接打印成型;也可以解放设计束缚,进行快速混合制造,即对于零件好加工的部分采用传统制造方式,难加工的部分直接 3D 打印;或者对于像 ECU 插板(图 5)等非金属件进行自由设计和打印。

另外,利用 3D 打印技术的优势突破以往加工

限制,设计中空零件或者复合材料零件;对于冷却水道等受限于制造工艺的部位进行优化设计,为设计带来新思路。

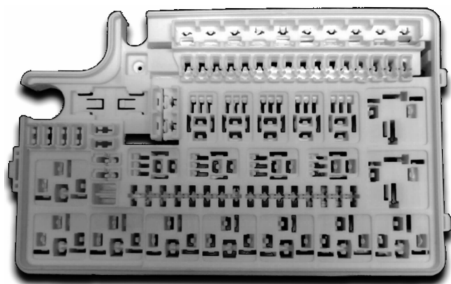


图 5 ECU 插板快速样件示意图

4.4 快速修复

近年来在航空航天领域,对于容易损坏且造价较高的钛合金叶片等零件常常利用 3D 打印中 DMD (Direct Metal Deposition 金属送粉沉积) 技术灵活牢固的特点,进行直接修复(图 6),或对耐磨材料进行金属涂覆。

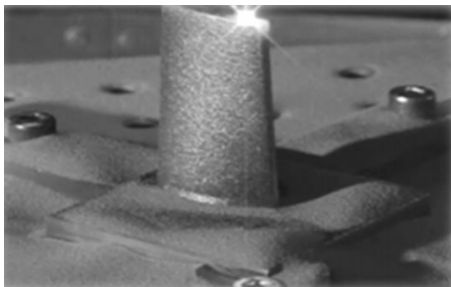


图 6 DMD 技术进行叶片直接修复示意图

对于船用柴油机来说,曲轴主轴瓦等零部件造价较高且极易磨损,可以利用 3D 打印技术对该类零件损坏处进行修复或者添加高温镍基合金等材料作为涂层,以提高其耐磨性能和疲劳寿命。



图 7 易磨损的主轴瓦下瓦示意图

5 结 论

3D 打印技术作为一种“增材制造”技术,近年来受到了越来越多的关注,其设计制造一体化,

适合小批量、定制化和个性化制造的技术优势和特点,推动其在航空航天、汽车、医疗制造业等领域的应用。

船用柴油机作为传统行业有其自身的特点,目前 3D 打印技术的水平还无法挑战传统工艺在船用柴油机领域中的地位,但是 3D 打印技术具有广泛的应用潜力,可以作为传统工艺的一种有利补充,应用在小批量产品研发和试验件制造。随着 3D 技术的进步,材料的丰富和打印成本的降低,相信未来其在船用柴油机中的应用会越来越广泛。

参考文献

- [1] <http://www.economist.com/node/21552901>.
- [2] Michael S. Kim, Adam R. Hansgen. Rapid prototyping: a new tool in understanding and treating structural heart disease[J]. Circulation, 2008, 117: 2388 - 2394.
- [3] C. Z. Liu, E. Sachlos, D. A. Wahl. On the manufacturability of scaffold mould using a 3D printing technology [J]. Rapid Prototyping Journal, 2007, 13(3): 163 - 174
- [4] Vladimir Mirnov, Vladimir Kasyanov, Christopher Drake, et al. Organ printing: promise and challenges [J]. Future Medicine, 2008, 3(1): 93 - 103.
- [5] Wohlers Associates Inc. Wohlers Report 2013[R]. 2013.
- [6] E. Sachs, M. Cima, P. Williams, et al. Three dimensional printing: rapid tooling and prototypes directly from a CAD model[J]. Journal of Engineering for Industry, 1992, 114: 481 - 488.
- [7] Francisc. Moon, Jimmy Hai, Carlo Paventi. 3-D printing the history of mechanisms [J]. Journal of Mechanical Design. 2005, 9(127): 1029 - 1033.
- [8] 王忠宏, 李扬帆, 张曼茵. 中国 3D 打印产业的现状及发展思路[J]. 经济纵横, 2013, 1: 90 - 93.
- [9] 王雪莹. 3D 打印技术与产业的发展及前景分析[J]. 中国高新技术企业, 2012(26): 3 - 5.
- [10] 李怀学, 巩水利, 孙帆, 等. 金属零件激光增材制造技术的发展及应用[J]. 航空制造技术, 2012(20): 26 - 31.
- [11] 李澈尘, 贺健康, 卢秉恒. 增材制造: 实现宏微结构一体化制造[J]. 机械工程学报, 2013, 49(6): 129 - 135.
- [12] Xue Yan, P Gu. A review of rapid prototyping technologies and systems [J]. Computer-Aided Design, 1996, 28(4): 307 - 318.
- [13] Morteza Vatani, Farshad Barazandeh, AbdolReza Rahimi, et al. Distortion modeling of SL parts by classical lamination theory [J]. Rapid Prototyping Journal, 2012, 18(3): 188 - 193.
- [14] 姚强, 王丽平. “万能制造机”背后的思考——知识产权法视野下 3D 打印技术的风险分析与对策[J]. 科技与法律, 2013(2): 17 - 21.
- [15] David Bak. Rapid prototyping or rapid production? 3D printing processes move industry towards the latter [J]. Assembly Automation, 2003, 23(4): 340 - 345.
- [16] Elena Bassoli, Andrea Gatto. 3D printing technique applied to rapid casting [J]. Rapid Prototyping Journal. 2007, 13(3): 148 - 155.

重 要 启 事

各位作者和读者:

由于原邮箱 **cyj216@sh163.net** 容量较小, 无法满足编辑部日常邮件往来需求, 自本期起, 启用新邮箱 **dieselengine@sina.com**。即日起至 2015 年 12 月 30 日为过渡期, 原邮箱将同时使用, 但请优先选择新邮箱发送邮件。

由此带来不便, 深表歉意。希望广大作者和读者继续支持本刊。

《柴油机》编辑部

《柴油机》杂志广告价目表

版位	尺寸/mm	颜色	定价
封面	205 × 226 (去刊头)	彩色	8000 元/版
封二	210 × 297	彩色	6000 元/版
封三	210 × 297	彩色	4000 元/版
封底	210 × 270 (去条形码)	彩色	5000 元/版
首插页	210 × 297	彩色	5000 元/版
插页	210 × 297	彩色	4000 元/版

注:《柴油机》杂志为双月刊, 单月月底出版, 全年 6 期。

联系人: 高荃, 夏斐 电话: 021 - 31310201, 021 - 31310204