综述与机型

增材制造技术在船用柴油机产业的应用

王雁冰，宋雅丽，董晶瑾

（中船动力研究院有限公司，上海 200129）

摘　要：介绍了增材制造技术的发展及特点，以此为基础探讨了增材制造技术在船用柴油机产业可能的应用方向和前景。指出：增材制造技术在船用柴油机产业的应用是大势所趋，应尽早实践。

关键词：增材制造；船用柴油机；梯度功能材料

中图分类号：TK426　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1001-4357(2015)01-0005-03

Application of Additive Manufacturing on Marine Diesel Industry

Wang Yanbing, Song Yali, Dong Jingjin

(China Shipbuilding Power Engineering Institute Co. Ltd, Shanghai 200129)

Abstract: The development and characteristics of additive manufacturing are firstly introduced. And then the application direction and prospect of additive manufacturing on marine diesel industry are discussed. It is pointed out that additive manufacturing is the obvious tendency in marine diesel industry, and should be put into application as soon as possible.

Keywords: additive manufacturing; marine diesel; functionally graded materials (FGM)

0　引　言

增材制造是依据 CAD 数据将材料逐层累加制作实体零件的技术，是一种基于离散-堆积原理，由零件三维数据驱动直接制造零件的新型成型技术。基于不同的分类原则和理解方式，增材制造技术还有快速原型、快速成形、快速制造、3D 打印等多种称谓，其内涵及外延一直在不断深化和扩展。关桥院士提出了“广义”和“狭义”增材制造的概念，“狭义”的增材制造是指不同的能量源与 CAD/CAM 技术结合，分层累加材料的技术体系；而“广义”增材制造则指以材料累加为基本特征，以直接制造零件为目标的大范畴技术群。“广义”及“狭义”增材制造示意见图 1。

1　增材制造技术发展及特点

经过 20 多年的发展，增材制造经历了从萌芽到产业化、从原型展示到零件直接制造的过程。增材制造以其独特的机理实现了“自由制造”，解决了许多传统制造难以完成的复杂结构零件的成型问题，而且零件结构越复杂，增材制造的优势越明显。增材制造原理与不同的材料和工艺结合形成了许多增材制造设备，在电子产品、汽车、航空航天、医疗、艺术设计等领域都取得了广泛的应用。

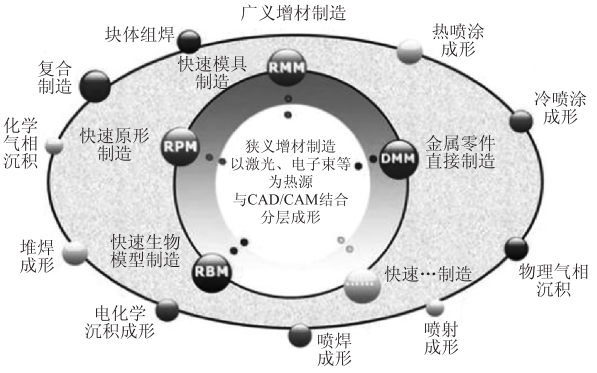

图 1　广义及狭义增材制造示意图

增材制造技术的迅速发展得益于其与传统制造

收稿日期：2014-08-05

作者简介：王雁冰(1983-)，男，工程师，主要研究方向为船用低速柴油机设计，E-mail：wyb@cspi.net.cn。

相比有诸多特点：

(1) 可成型形状复杂零件

增材制造技术采用自下而上的逐层制造方式，可以完成几乎任何空间几何构型的零件，这让许多原本难以通过传统加工方式成型零件的制造变得简单。这不仅对现有零件的制造意义重大，而且给予了设计工程师更大的发挥空间，挣脱了可制造性的约束，在设计中将零件的功能性发挥到极致。

(2) 可成型材料的多样性

增材制造技术支持多种材料的复合成型，无论是金属材料、高分子材料还是生物工程材料都能成为增材制造的原材料。而且由于增材制造自身的特点，材料的复合方式具有极强的可操控性，且不同材料间的过渡及结合均优于传统制造。

(3) 节约原材料

增材制造是材料利用率极高的材料成型方式。传统制造中，由于切削余量，浇冒口等因素，大量材料被作为余料处理，材料利用率低下。增材制造中，材料均被用于直接构成零件本体，材料利用率可高达90%。

(4) 组织均匀性好

增材制造技术，可以通过数控方式保证制造过程中参数始终保持一致，这样整个零件各处组织可以达到均匀一致，避免了传统整体成型方法中常见的组织偏析等问题。

增材制造技术虽然具有以上诸多优点并有广阔的发展前景，但在工业领域也只能作为传统大批量制造技术的一个补充手段。主要原因是：在面对现代工业生产中的大批量产品制造时，增材制造技术与传统的材料成型加工方法(铸、锻、焊、切削、粉末冶金等)相比，仍有成本高、效率低、精度差等不足。既便如此，增材制造在制造原理方面的优势仍使其蕴含了巨大的发展潜力，随着材料适用范围增大、制造精度以及制造速度的提高，必将对制造业产生极为深远的影响。

2 增材制造技术在船用柴油机产业的应用探讨

我国的船用柴油机产业经过多年发展与积淀，已经由以生产为主转型为设计制造并重的产业模式。在日趋激烈的全球一体化竞争环境中，必须在技术创新上保持先进性才能抢占先机，这要求相关企业对新技术有敏锐的嗅觉并敢于在新技术的应用上做先行者。

目前较为成熟的增材制造技术主要集中应用于航空航天和医疗产业中，一方面是由于这些领域具有：对成本因素考虑较少、制造难度高、产量小及个性化程度高等特征，而拥有这些特征的行业最适合增材制造的应用；但另一方面的原因是这些行业对新技术的需求意愿及接纳能力强，促使增材制造与这些行业最先找到结合点，即金属材料增材制造技术的发展方向受相应产业需求的驱动影响。增材制造技术在这些行业的应用也不负众望的结出了累累硕果，既有上海交通大学王成焘教授研制的生物适应性医用植入假体的大量临床应用并收到良好疗效，也有北京航空航天大学王明华教授进行的大型钛合金结构件激光熔化沉积制造技术研究，制造出了全世界最大尺寸的钛合金激光熔化沉积成型零件，且各项性能均远高于锻件，疲劳裂纹扩散速率更是降低一个数量级，使我国在该领域一举领先。

船用柴油机产业对增材制造也应提出自己的需求，将增材制造及早引入制造体系中，以引领整个产业在先进制造领域的飞跃式发展。结合船用柴油机产业及增材制造技术的特点，两者的结合点可以从以下三方面加以考虑。

2.1 设计定型

增材制造技术对船用柴油机设计阶段的支持作用一方面体现在能够低成本，高速地将不同的设计方案变为实际产品并用于进一步评估，因为单件、超规格产品正是增材制造所擅长的；另一方面，增材制造还有助于促进设计过程从平面走向立体。计算机辅助设计(CAD)为三维设计提供了重要工具，但数字三维模型仍然不能完全推演出结构实际的装配特性、物理特征、运动特征等诸多属性。采用增量制造技术，实现三维设计、三维直接制造、三维检验、三维优化，可以摆脱二维制造思想的束缚，直接面向零件的三维特征进行设计与生产，大大简化设计流程，从而可极大地缩短产品的技术更新与性能优化周期。

2.2 梯度功能材料

增材制造技术在梯度功能材料零件的成型制造方面具有无可比拟的优势。所谓梯度功能材料就是指一个零件的不同部位力学性能要求不相同，其组成成分呈现明显的梯度过渡分布。简单来说就是一个零件的不同部位使用不同材料，但却为一体成型。这种复合功能材料的实现依赖于增材制造技术通过微量堆积单元的不断调整实现制造过程中的形态控制和性能控制。对于船用柴油机，经常出现同一零件不同部位受力状态、温度、介质都不相同的问题，目前只能采用多种不同材料的组合件来应对，使用增材制造技术成型的梯度功能材料将成为

解决这类问题最为有效的方案。

2.3　涂层及修补

增材制造技术不仅可以用于零件的整体成型，还能在原有零件基础上通过沉积的方式增补材料。当增补材料均匀覆盖于零件表面时即可形成特定性能的表面涂覆层，这种表面涂覆方式具有结合力强、涂层厚度可控性好等特点，结合高耐磨耐热材料激光沉积技术，可以获得具有极高表面性能的零件。船用柴油机大量零件须要考虑耐磨、耐高温等表面性能，使用增材制造表面沉积方式涂覆涂层有很广阔的发挥空间。

当增补材料在零件表面以特定方式“生长”时，既可以成为零件修补手段，也可以成为零件特定结构成型的补充手段，为船用柴油机重要件的修补提供了新的解决方案。

如船用柴油机的重要零件——排气阀杆，一方面与燃烧室接触，承受高温；另一方面与排气阀座不断敲击，工作条件十分恶劣。为满足使用要求，目前该零件或者采用镍基合金整体锻件的方式制造，价格十分昂贵；或者采用高温合金堆焊镍基合金的方式制造，工艺十分复杂。而如使用增材制造方式，从设计角度，可优化排气阀杆的设计，如将杆身制成中空结构达到减重目的；从功能性角度，可使用多成分复合的梯度功能材料成型方式，在简化工艺的基础上保证了零件各部分的使用要求；从修补角度，可在零件磨损后通过沉积的方式完成修补，延长零件使用寿命。

3　小　结

任何技术都不是万能的，增材制造技术无法在工业领域取代传统技术，但却能够通过与之集合，优化形成新的技术发展点。有远见的企业有必要对增材制造技术积极研发，科学推进、扩大应用，通过形成协同创新的运行机制，使增材制造从产品研发工具走向批量生产模式。用技术引领生产模式的创新，这是增材制造被称为“第三次工业革命”的意义所在。

增材制造技术在船用柴油机产业的应用是大势所趋，同时在增材制造技术领域我们拥有世界领先的技术优势，在这样的背景下，将增材制造技术应用于船用柴油机产业的实践应尽早进行，抢占技术制高点，争取成为船舶产业技术革命的先锋。

参考文献

[1] 李涤尘,田小永,王永信,等. 增材制造技术的发展[J]. 电加工与模具,2012 增刊 1.

[2] 卢秉恒,李涤尘. 增材制造(3D 打印)技术发展[J]. 机械制造与自动化,2013,42(4):1-4.

信息动态

DNV GL 为船舶行业提供燃料切换指南

为帮助船东应对燃料切换时面临的问题，DNV GL 已经为在排放控制区航行的船舶应对即将生效的严格的硫排放法规制订了一个燃料切换指南。

从 2015 年 1 月 1 日开始，在排放控制区航行的船舶将必须使用含硫量不超过 0.10% 的燃料。DNV GL 指出，燃料切换不是看起来那么简单的事。该船级社已经开发了一种特有的船舶燃料切换计算器(FCO)来帮助船东和船舶经营者确定他们的船舶理想的燃料切换参数。

DNV GL 船级社风险和安全、系统工程高级项目工程师 Jörg Lampe 指出，“在准备燃料切换过程中，应将船舶燃油系统设计、任何对燃料温度和硫含量变量的限制因素纳入进燃料切换计算中，这将大幅减少人为错误的风险。”

DNV GL 船级社的软件采用了一种据说是比以前的线性模式更加精确的，并可以为切换过程提供优化的引导时间的复杂的数值模拟，其成本和最大每小时消耗满足限制要求。

Lampe 补充说，“这种数据不仅可以确保燃料切换的成本效益和可靠性，而且有助于满足各个当局对排放的要求。”

DNV GL 指出，两种燃料的温度和黏度以及潜在的不兼容性都是切换过程成功与否的关键。由于重油和船用轻柴油的燃烧温度相差大约 100 ℃，燃料切换或许会导致温度迅速下降，增加对设备造成热冲击的危险。

据新的指南介绍，为了避免燃油泵故障和渗漏，燃油系统还须要考虑运行时产生的黏度差。

DNV GL 强调，这些问题通过为切换准备详细的指南和对船员的培训可以恰如其分地避免。DNV GL 新的燃料切换指南可以在线提供。

(李积轩　编译)