



李涤尘

著名快速制造技术专家

■ 李涤尘 Li Dichen

快速制造国家工程研究中心副主任

Deputy Director of National Engineering Research Center for Rapid Manufacturing

长江学者特聘教授

Chang Jiang Scholar

**问:** 您的主要研究领域是快速成形制造技术,请您介绍一下快速成形制造技术目前的进展,以及在航空航天制造业中的应用情况。

**李涤尘:** 与传统的车削、铣削、磨削、电火花加工等材料去除加工方法相比,快速成形制造是一种材料累加制造方法,可以制造任意复杂的三维结构,实现从三维设计到三维制造。快速成形发展目前最大的难题是,材料的物理与化学性能制约了实现工艺。有机高分子材料、金属材料直接成形的难点是如何提高精度;发展方向是研究陶瓷材料和复合材料的快速成形制造。在制造装备的发展上,三维打印机是国外近年来的发展热点,并将其作为计算机的一个外设。这样,快速成形技术就从工业设备向信息产品发展,在工业造型、产品创意、工艺美术方面等有着广泛的应用前景和巨大的商业价值。

快速成形在航空航天制造业方面有着广泛应用。据美国快速成形咨询机构 Wohlers Associates 统计,国外快速成形在航空航天工业和军事行业中的应用分别占 8.1% 和 9.0%。快速成形尤其适合于航空航天产品中的零部件单件、小批量的生产,并具有成本低和效率高的优点。例如,在飞机和航空发动机的零部件快速铸造上、航空器风洞模型制造上以及飞机装配实验室都采用了快速成形技术,体现了该技术在复杂曲面和结构制造上的快速性和经济性。

**问:** 在航空发动机叶片制造方面,快速成形制造技术应用的特点和优势是什么?

**李涤尘:** 航空发动机涡轮叶片制造是制造技术上的难点,英国罗·罗公司的 CEO John Rose 爵士形容其为皇冠上的宝石,在一定程度上是一个国家制造技术水平的标志。随着航空发动机推重比要求的升高,叶片的工作温度不断提高,这对叶片的冷却结构和材料组织控制提出了

极高的要求;气膜冷却叶片内部的流道更为复杂,叶片的壁更薄,制造也更困难。例如,俄罗斯全俄航空材料研究院研发的壁冷空心叶片,由于叶片的壁表面下增加了空冷结构,必须镶嵌型芯来制造。中心型芯和镶嵌型芯要分别制作,然后用一种特殊的材料把镶嵌型芯和中心型芯组合起来,但型芯组合操作难度大,存在较大的装配误差,且组装的型芯是一种非固定性连接,浇铸时在重力和金属液的冲击作用下,型芯容易偏移,降低了空心涡轮叶片的成品率。

因此,探索新的涡轮叶片的金属直接成形方法是快速成形的一个热点。金属直接堆积出空心结构和复杂外形,无需传统的芯模制造,制造效率提高,成本降低。美国斯坦福大学 Printz 教授受美国军方委托研究金属材料激光直接熔覆快速成形技术,该技术应用于航空叶片的制造,主要集中于研究叶片外形的精密成型。瑞士洛桑联邦理工学院的 M.G. Humann, S. Henry 博士研究了激光金属成形外延生长中的显微组织,显示了激光成形技术用于单晶结构制造的可能性。另一个发展方向是制作陶瓷叶片,进一步提高叶片工作温度,但制造精度是一个难点。

**问:** 我国在快速制造技术方面的研究在国际上处于什么样的水平,相关软硬件的条件如何?

**李涤尘:** 20 世纪 90 年代初开始,西安交通大学、清华大学、华中科技大学、北京隆源公司等典型的快速成形设备以及软件、材料的研究和产

业化方面获得了重大进展,基本上与国外产品相同。随后,国内许多高校和研究机构也开展了相关研究,重点在金属成形方面,如西北工业大学、北京航空航天大学、南京航空航天大学、上海交通大学、中北大学、中国工程物理研究院等单位都在做探索性的研究工作。研究工作基本与国际

**李涤尘** 教授:1993 年获西安交通大学博士学位,1993-1995 年在西安交通大学动力机械与工程热物理博士后流动站进行博士后研究。现任西安交通大学“长江学者”特聘教授、博士生导师、快速制造国家工程研究中心副主任。2000 年获国家科技进步二等奖 1 项(第二名),省部级一等奖 2 项;2000 年获高校青年教师奖,并获得“国务院特殊津贴”;2004 年获第 8 届中国青年科技奖;2005 年获得中国优秀博士后称号;2007 年入选国家“新世纪百千万工程”计划。近年来主要以制造工艺与装备研究为主,在快速成形制造技术和中小批量定制化制造方面开展工作。在学术观点上力主“设计、材料、制造、装备”一体化研究思路,面向未来社会发展,研究快速、低成本和适应单件、小批量的制造技术与生产模式,通过基础工艺创新和设计、材料、制造的工艺集成,实现自动化装备的创新。



同步。但由于我国企业在这方面的投入不足,开发能力较弱,因此相对于欧美国家,我们在新技术的应用方面已显落后。因此,不断加强与企业的合作,拓展应用领域是快速成形研究者的重要工作。我们在与西安飞机工业公司的合作中,研究了快速成形在飞机精密铸件和复合材料成型方面的应用。我们与中国空气动力研究与发展中心、成都飞机设计研究所的合作中,研究了快速成形技术在飞机风洞模型制造方面的应用,这些工作都很有价值。

(采访 侧卫 责编 钟元)