

表面工程技术在航空发动机制造中的应用与发展

■ 中国航发西安航空发动机公司 (陕西 710021) 何金梅 蔡 卿 张麓娟

摘要: 航空发动机作为飞机制造的重点, 加工技术不断升级。本文主要介绍表面工程技术在航空发动机制造中的应用, 并介绍该技术在未来发展中的应用重点。



工程技术一级专家、高级工程师 何金梅

航空发动机被称为飞机的心脏, 它有高温、高压、高转速和高负荷的特点。为了提高航空发动机零部件在极端条件下工作的可靠性, 航空发动机制造技术一方面采用了新结构、新材料, 另一方面也提出了新工艺和新技术来满足新型发动机的制造要求。

近年来, 表面工程技术在发动机制造行业中得到了逐步重视和提高, 并不断进行研发和应用, 使得零件的工艺性能得到很大改善。在提高叶片、涡轮盘和

轴类部件的耐高温、耐腐蚀、抗氧化及抗疲劳强度等方面发挥了关键作用。特别是在改善材料表面性能、延长零件使用寿命、节约资源、提高生产力以及减少环境污染等方面已取得显著的效果, 是航空发动机制造中不可缺少的新生技术。

1. 表面工程技术在航空发动机制造中应用

表面工程技术是将零件表面经过预处理后, 通过表面涂覆、表面改性或多种表面技术复合处理, 改变固体金属表面或非金属表面的形态、化学成分、组织结构 and 应力状况, 以获得表面所需性能的系统工程。目前在航空发动机制造行业中应用较早, 且比较成熟的技术主要有以下几方面。

(1) 喷丸强化技术即将钢丸(或玻璃丸)高速喷射于金属表面, 利用钢丸的冲击和摩擦作用, 清除金属表面的铁锈及其他污染, 并得到有一定粗糙度, 显

露金属本色的表面。更重要的是, 利用钢丸对金属表面的冲击作用使零件表面硬化, 生成0.1~0.4mm厚的硬化层, 增加零件表面对塑性变形和断裂的抵抗能力, 并使表层产生压应力, 提高抗腐蚀性和抗疲劳强度。同时通过喷丸强化可以弥补零件表面的微细裂纹缺陷, 这对加工中形成的、工程上的探伤灵敏度无法发现的表面微裂纹有非常好的弥合作用。如图1所示, 喷丸强化技术可显著提高抗弯曲疲劳、抗腐蚀疲劳、抗应力腐蚀及抗微动磨损、耐腐蚀以及抗接触疲劳能力。

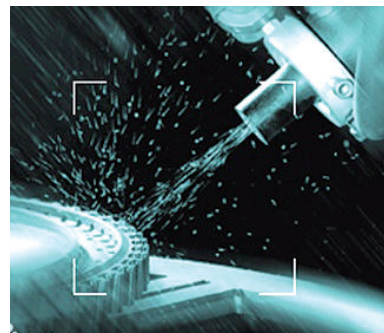


图1 喷丸强化

喷丸强化技术产生于20世纪初的美国,20世纪80年代后,喷丸处理技术在大多数工业部门得到推广和应用,并在航空发动机制造中得到重视。90年代我国逐步从国外购置先进的数控喷丸设备,能够进行玻璃丸、钢丸及陶瓷丸等喷丸强化加工,已具备了多功能,多丸粒类型喷丸加工能力。

(2) 等离子喷涂技术是利用高温、高速的等离子焰流作为热源,在焰流中加入金属或合金粉末等涂覆材料,瞬间熔化后以很高的速度喷涂到事先处理过的工件表面上,获得金属涂层或难熔合金涂层的一种加工方法。如图2所示,等离子喷涂的涂层致密,粘结强度高,是继火焰喷涂之后大力发展起来的一种多用途的精密喷涂方法,能够提高工件表面耐高温性能、抗氧化性和耐磨性能。

20世纪80年代,美国、瑞士等国家率先在等离子喷涂技术上研发成功并投入生产,被广泛应用于发动机热端涡轮工作叶片和导向叶片部件的优质高温防护涂层的制备,在发动机关键部件的隔热、高温防护、耐磨、严封及阻燃等方面起到很重要的作用。

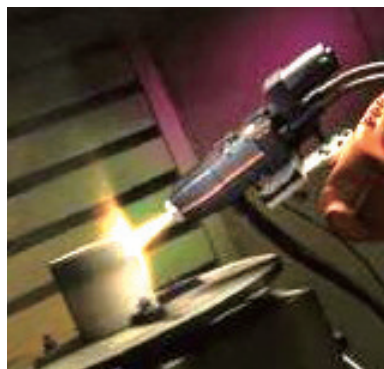


图2 喷涂技术

20世纪90年代初,我国从瑞士、美国等发达国家引进等离子喷涂技术和设备,目前对喷涂工艺积累了宝贵的专业经验,在热喷涂技术的应用中逐步建立起包含等离子喷涂、低压等离子喷涂、火焰喷涂、超音速火焰喷涂和爆炸喷涂等表面涂覆技术体系。

(3) 气相沉积技术是一种发展迅速,应用广泛的表面技术,它利用气相之间的反应,在各种材料或制品表面沉积以制备各种特殊力学性能的薄膜涂层,如超硬、高耐腐蚀、耐热和抗氧化性等。在航空发动机制造中,电子束物理气相沉积技术和多弧离子镀膜技术已成功应用在热障涂层和抗氧化涂层的制备生产中。

我国在21世纪初从乌克兰、俄罗斯及瑞士先后引进该类设备,已在航空发动机涡轮叶片隔热涂层、防腐蚀抗氧化涂层的研发和应用中建立了坚实的技术基础,积累了丰富的经验,但还需在研发新涂层方面继续开展工作。

2. 表面工程技术在发动机制造中的发展

近几年,随着航空工业制造技术的迅猛发展和需求,人们对表面工程技术的认识得到进一步的提高,并开发了多种新工艺,

下面进行简述。

(1) 激光熔覆技术是近年来发展起来的新工艺,如图3所示。将两种或两种以上不同性质的材料通过激光束加热,使其熔合在一起,充分发挥各自优良性能工艺方法,激光熔覆具有加热速度和冷却速度快的特点。获得的熔覆层显微组织很细,强度高,性能明显优于其它熔覆层,利用该项技术将在发动机整体叶盘修复技术中取得突破。

(2) 激光强化技术是利用高峰值功率密度(GW/cm^2)短脉冲(几十纳秒)激光辐射在涂有吸收层的金属表面,与表面涂层材料发生相互作用产生高压(GPa)等离子体,进而产生高压冲击波,并在金属表层形成稳定、密集的位错结构,形成表层应变硬化及压应力,从而提高材料的疲劳强度和抗应力腐蚀等性能。激光冲击强化具有高压、高能、超高应变率的特点,已在抑制喷气发动机零件裂纹的工程中得到应用,是未来表面强化工程技术的发展新方向。

(3) 超声喷丸技术是通过超声波使弹丸产生机械振动,从而驱动弹丸对工件进行喷丸处理的工艺。超声喷丸可以获得比传统

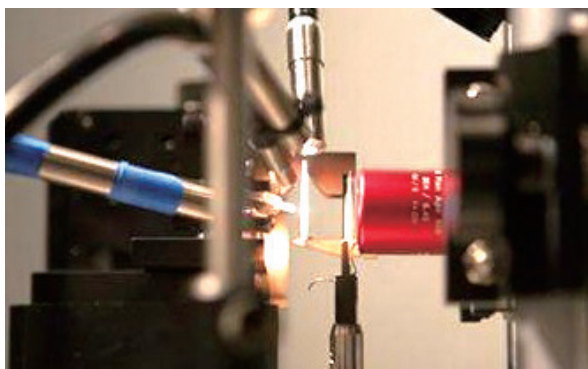


图3 激光熔覆技术

用“工程思维模式”加速航空发动机产业发展

■ 惠阳航空螺旋桨有限责任公司（河北保定 072152） 李国平

摘要：航空发动机，是集空气动力学、材料力学、控制技术、电子和测试技术、计算机及加工工艺为一体的多学科共融的产物。具有高温、高压、高速旋转、变工况、空间狭小、应力高等工作特点，其地位、重要性不言而喻，发动机技术已经是一个国家科技水平、工业水平和综合国力的重要标志，本文将对其发展和工程思维模式进行阐述。



研究员级高级工程师 李国平

1. 国内外航空发动机现状

航空发动机是一种高度复杂、可靠的精密装置。为此，欧美等发达国家制定了系统的专项

研制计划，并得到政府及国民长期、有力的支持，如美国将航空发动机技术列为9大核心技术第2位，加大科研投入，重视技术成熟度，始终占领航空事业制高点，在航空发动机技术中始终处于领先地位，F119-PW-100成为有史以来最长无故障运转间隔的发动机，成熟度（TRL）、稳定性高，F119战斗机涡轮发动机涡轮前温度最高达1 977K，处于世界领先地位。

自新中国成立以来，我国的航空事业有了很大的发展，实现了由喷气发动机向涡扇发动机的历史性跨越，由小推力到中等推力向大推力转变，由二代半向三

代机、四代机转变，目前正在开展四代机及大推力、大涵道比发动机的预研工作。

回顾历史，我国航空发动机经历了曲折的发展道路，几代航空人兢兢业业的劳作，不惧西方列强的欺凌、技术封锁，为之付出了毕生的心血。有成功的经验，更有失败的教训，许多机型因为种种原因而中途下马，让我们为之惋惜，也与发达国家航空技术形成鲜明对比。

主要差距表现：①材料问题，材料的纯度、配方、性能指标及内部组织的稳定性。②特种工艺问题，特别是表面处理和热处理技术能力与欧美国家差距明

显。喷丸更深残余压应力层，且残余压应力的数值也更大，同时表面粗糙度也好于传统喷丸。对于发动机复杂型面的零件强化和局部喷丸处理，超声喷丸将具有显著的优势和很大的发展潜力。

3. 结语

为了促进航空发动机制造

技术的提升，满足新型发动机的高质量、高效率和高标准的制造要求，表面工程技术还必须不断变革、创新和全面应用。目前，虽然我们在该技术领域取得不小的成绩，但我们与发达国家、与国际领先发展水平还有着相当的差距。关键把关设备受西方国家

封锁；很多关键前沿设备都在院所进行制造，技术和设备无法工程化应用；前沿制造技术储备不足；关键制造技术成熟度较低。所以，对我们来说，未来的使命任重而道远。**MW**

（收稿日期：20161116）