

在 $T_3^* = 370\text{ }^\circ\text{C}$ 时, 因供油量加大, 燃烧变得剧烈, 火焰变长, 几乎充满整个视场范围。燃烧比较稳定, 看不出火焰跳动, 火焰尾部及上部为橙黄色, 右下部为亮白色。

在 $T_3^* = 550\text{ }^\circ\text{C}$ 时, 火焰如图 4 所示。此时燃烧更加剧烈、稳定, 火焰充满了整个视场范围, 火焰颜色几乎成全白色。

在 $T_3^* = 360\text{ }^\circ\text{C}$ 时, 火焰如图 5 所示。这是一个逐步熄火的过程, 在开始时火焰图像与 $T_3^* = 370\text{ }^\circ\text{C}$ 并无太大差别, 随即火焰变得极不稳定, 不停跳动, 火焰颜色中间为白色, 周围为橙色。在熄火过程中, 有时会观察到两团火焰, 估计是残留在火焰筒底部的燃油燃烧所引起的。

4 结 论

利用光纤窥镜观测燃烧试验中的火焰尚属新技术。通过光纤图像观测系统, 能够大致了解燃烧室的启动点火与熄火过程, 以及随着供油量的变化, 燃烧室火焰形状及颜色的变化情况。但由于工作尚处于起步阶段, 系统性能还有许多不足之处, 其主要表现在三个方面:

(1) 系统透过率低, 不利于点火等现象的观察。

如能够采用透过率高的材料 (如石英) 来制作传像棒, 尽可能减小传像束的长度, 以及选用高性能的 CCD 摄像机等均有助于改善系统的透过率。

(2) 使用中发现燃烧室火焰亮度变化范围很大, 大大超出 CCD 摄像机的动态工作范围。今后可通过增加一个带自动光圈的镜头, 以便随光强变化来调整 CCD 摄像机的进光量。

(3) 照明系统光强不足, 以致冷态时无法观测到燃烧室内部的损伤程度。可通过改进探头结构, 增加照明传光束的数量和截面积等措施来提高探头的进光量。

参 考 文 献

- [1] 金如山. 航空燃气轮机燃烧室 [M]. 北京: 宇航出版社, 1988.
- [2] William W Morey. Hot section viewing system [R]. NASA CR-174773, N87-11144, 1984.
- [3] 何家祥. 光学技术手册-纤维光学 [R]. 中国科学院西安光学机械研究所, 1992.
- [4] 佚名. 光导纤维图像观测装置研究报告 [R]. 中国科学院西安光学机械研究所, 1998.

(责任编辑: 史亚红)

新技术报道

巴顿焊接研究所的喷涂技术

乌克兰巴顿焊接研究所, 在喷涂技术方面已取得多项突出成果, 在航空发动机及火箭发动机的耐高温、耐冲刷部件上得到了广泛的应用。

1 用超声速气流进行喷涂

提高喷射速度是增强喷涂质量的方法之一。为此巴顿焊接研究所应用了超声速气流进行喷涂, 并已研制了专门的喷涂设备。表 1 为空气混合气等离子喷涂不同设备的性能比较。

由表 1 可见, 利用超声速气流进行喷涂, 尽管所需功率比用亚声速气流进行喷涂的功率大, 但是其生产率则是亚声速的 2 倍还多, 涂层的性能也有大大改善, 最大结合强度是亚声速的 4 倍, 而空隙率只有亚声速的 1/4。并且实践表明, 涂层的微观

组织很致密, 没有气孔。

2 用等离子爆轰原理进行喷涂

其原理是利用混合气体爆炸产生的能量进行喷涂。该装置象把枪, 由于可燃性气体的加入, 点火后产生爆炸, 温度高达 $3\ 000\text{ }^\circ\text{C}$, 爆轰波由小管道传播, 将管道中压力高达几十 MPa。燃烧室后端有个小孔, 将喷涂材料以与爆轰频率同等的频率由小孔加入, 由于碰到爆轰波, 喷涂材料受热并加速, 速度高达 $300\text{ m/s} \sim 500\text{ m/s}$, 相当于一个粉末状的子弹, 由管道打到工件表面进行喷涂。爆轰喷涂的能量与激光能量相当, 因此喷涂粒子与工件的结合完全达到了原子结合, 是至今为止所有喷涂方法中结合强度最大的一种方法。巴顿焊接研究所已研制

表 1 不同喷涂设备的性能比较

设备型号	Kiev-7	Kiev-S
工作气体及含量	空气+ (2%~15%) 甲烷	空气+ (2%~15%) 甲烷
等离子气流速度	亚声速	超声速
工作气体流量/ (m ³ /h)	4~ 14	10~ 40
功率/kW	20~ 80	70~ 180
电流/A	100~ 320	200~ 400
电压/V	200~ 250	350~ 450
最大生产率/ (kg/h) (合金)	25	50
氧化物	10	20
W, Co 碳化物	20	50
涂层性能, 结合强度/MPa	25~ 40	60~ 150
空隙率/% (容积百分比)	2~ 8	0.5~ 5

生产了爆轰喷涂设备系列 (Perun 系列), 以适应不同的需要。萨泊洛兹航空发动机厂已将该方法用于发动机涡轮叶片耐高温、抗冲刷的表面涂层, 使用寿命提高了 7~ 12 倍。

3 用微束等离子进行精密喷涂或局部喷涂

微束等离子喷涂作为等离子喷涂的发展有着一系列的优点。其主要特征是有一层流等离子体, 可使喷射点的尺寸减小至 1 mm~ 5 mm, 由于较低的热容量, 从而使被喷涂的薄壁零件或小尺寸零件不产生过热或变形。微束等离子不仅可以用于不同目的的喷涂 (抗磨损、耐腐蚀、提高导电性等), 还可以对黑色、有色、难熔金属及合金、陶瓷等小尺寸及薄壁零件磨损后进行修复。

尽管微束等离子喷涂的效率比一般等离子喷涂低, 为 0.25 kg/h~ 2.5 kg/h, 但其所需功率只要一般等离子喷涂的 1/20, 单位耗能是一般等离子喷涂的 1/10。而且特别适合于对小尺寸零件或薄壁零件进行精密喷涂, 或对复杂零件进行局部喷涂。

4 EB-PVD

EB-PVD 即电子束物理气相沉积, 是利用电子束将涂覆材料熔化蒸发, 使其沉积在工件表面, 该方法已广泛应用于燃汽涡轮, 汽车发动机, 微电子, 纤维光学及航空航天等领域, 例如用于火箭发动机燃烧室及喷管的涂层, 以及航空发动机叶片的耐高温涂层等, 还可以将陶瓷材料喷涂到金属表面, 大大提高其耐高温性能。另外, 该方法打破了传统的材料生产方法, 可加工得到单相的、双相的、微层的、微孔性的及梯度性的新型材料。

5 应用不寻常的喷涂材料

巴顿焊接研究所已开发研制了多种系列的喷涂材料。例如, 《AMOTECH》系列喷涂材料能形成非晶态结构的表面涂层, 有效地改善了材料的抗磨损及耐腐蚀的性能。研究发现将铸铁粉末作为喷涂材料, 由于快速冷却 (冷却速率为 10^5 K/s~ 10^6 K/s), 可生成一种稳定的相 (Fe-C-Si 相), 更有效地提高了材料的耐磨性能。利用铸铁粉末作为喷涂材料, 比目前广泛应用的镍合金喷涂材料, 其价格要低 15~ 20 倍。另外, 通过试验发现, 涂层中增加相的含量, 可以使结合强度增加至原来的 1.2 倍, 可以使涂层在 20 °C~ 500 °C 范围内的微观硬度增加 7%~ 15%。

6 利用计算机模拟等离子喷涂 (CASPS)

CASPS 是为模拟亚声速紊流等离子喷涂过程设计的软件, 该软件可以模拟喷涂粒子的加热状况和运动轨迹。该软件由二个模块组成; 第一个模块模拟紊流等离子体, 该模块根据不同的电极尺寸, 电弧电流, 等离子气体的种类和流量, 以及等离子在枪内形成的过程, 可以对等离子温度及射流速度的空间分布进行计算和显示。第二个模块可以通过计算等离子体的温度和速度分布来模拟等离子射流中的行为, 该模块根据喷涂材料的种类和喷涂粒子的初始直径, 以及粒子进入射流时的状态, 可以显示喷射粒子的轨迹、速度和温度场。

(上海新力动力设备研究所 潘丽华)