

## 在极高温和极低温下材料性能测试装置

近几年来,随着复合材料、陶瓷和其它先进材料的发展,要求能够进行极高温和极低温材料性能测试装置已有显著进展。与此同时促进了许多测试辅助装置,如新型夹具、精确的延伸计、特殊环境腔和稳定的加热炉等的设计和发展。美国一些重要的材料力学性能测试机构已装备了这些极端温度下测试材料性能的装置。日本超高温材料研究中心(JUTEM)在1992年开放。该中心重点在于温度高于2000℃应用的金属、陶瓷和复合材料的研究。日本的Gifu中心则集中在测定2300℃材料的力学性能、热冲击、磨损和氧化性能。

### 控制试样温度

NASA Lewis研究中心使用的Instron装置用以试验陶瓷基复合材料(如SiC<sub>f</sub>/RBSN)。该装置能模拟使用气氛,温度达1600℃。试验机为电驱动传动。该试验机带有水冷却夹具和具有气体净化能力的密封环境腔。

MTS公司为拉伸和拉/压疲劳试验提供的标准炉子,可以将试样加热至1600℃。其中一种炉子高度85mm,可使用标准的夹具和陶瓷试样的特殊夹具。657.03型炉子为对开式蛤壳单热区结构。Kanthal公司的超33型加热元件——二硅化钼水平安置以适应圆形和平板试样。炉子配备有该公司研究的水冷却轴向延伸计和任选的光学延伸计窗口。

Instron公司还生产了一种空气中试样温度达1600℃的短炉,是紧凑型两热区装置。两热区在1500℃时,SiC试样的温度梯度小于±5℃。炉子也由机械式和光学延伸计作为技术保障。

Zwick公司生产一种新型的HT炉,可以和万能试验机配合使用,用于进行陶瓷和金属试样的弯曲、拉伸和压缩试验。这种炉子也为对开式壳形结构,试验温度为800~1600℃。据称最大加热速率达30℃/min,精确度为±1℃。炉高620mm,直径460mm。其试验面为120mm,直径85mm。

Satec设备公司的TTI3000试验炉装置,试验区最高温度1650℃,炉子系对开式管子结构。内有高性能的难熔绝缘材料和不锈钢制作的双层壁,壁内可通风冷却。炉子由微处理器控制,结合计数法的滤波反馈演算的装置,确保温度长期稳定。用B型热电偶作为温度传感器。该装置可应用于高温拉伸、压缩、动态疲劳、蠕变和应力松弛的测试。

Astro公司1800型高温超真空炉,温度达2500℃,真空度为0.13μPa。炉内需用钼合金并用陶瓷绝缘。试验时配备监控试样尺寸收缩、重量变化和气体成分变化的装置。该公司还提供单个装置的零度以下的环境腔和高温环境腔。这种环境腔带有一台手持数字控制器和光学延伸计窗口、特殊的夹具和夹紧装置。该装置适用于进行拉伸、压缩、剪切、弯曲和疲劳试验。

材料工程

这些炉子的共同特点是使用水冷却的延伸计或激光尺寸传感器,对应变进行精确测量。炉温高,加温快,能精确控制炉温。

### 测量应变的新方法

MTS公司研制了一种水冷却的轴向延伸计。它可以在所需的高达2000℃温度下进行试验时用以控制和测量应变。其中632.59型延伸计系由氧化铝或碳化物材料制作,可用于1600℃;或由碳/碳复合材料制作,可用于2000℃。延伸计的杆子伸入炉内,但不影响试验性能。该公司还设计了与试样低应力接触的伸长计,有助于防止与陶瓷接合和由此而产生的裂纹起始。

Instron公司研制一种可以测量陶瓷和先进复合材料的很小应变的延伸计,使用温度为1600℃。延伸计设计使得可在工作力小于1gf下工作,这样就可消除臂杆滑动,而且减小对试样的接触力。延伸计的分辨率为±0.1mm。用在高温拉伸和蠕变试验中的Haynes 214合金是延伸计的理想材料。据报告,在高温(1095℃)持久试验超过5000h下,该材料的延伸计仍活动自如可靠。其它材料制作的延伸计则由于运动零件粘住,使之在相当短的时间内产生氧化。Ni-17Cr-4.5Al-3Fe-Y合金抗氧化温度达1260℃,这是因为少量的钇元素改进了起防护作用的Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>型薄膜,从而形成粘着力强的氧化层。该合金应用得如此之好,以致于Haynes公司决定提供足够的该材料的板材、管材和杆件用以制造延伸计。

Zygo公司研制的激光尺寸传感器扩大了延伸计的测量范围。采用非接触扫描激光束是解决应力应变测量的理想方法。测量温度高达2500℃时,激光延伸计特别有用,因为这是传统夹型延伸计所无法做到的。该公司1100系列激光延伸计扫描速度达到每秒300次,偏移量为100mm,测量精度为±5微应变(微应变为试样线性尺寸每单位长度的变化量,一微应变等于百万分之一应变)。其典型装置由收发机模块、多元处理机和控制装置组成。控制装置存储整个尺寸数据、载荷传感器的力、试样温度、热膨胀系数和其它的相应数据。例如,激光测量仪利用测量连接试样两刀刃“标记”之间的距离,测定轴向应变数据。

Zwick公司对于测量中、高延伸率的应变,即聚合物和弹性体类的试样之应变,建议采用光电延伸计。工作温度在-150至250℃之间。光线由一个白炽灯从温度腔上的窗口照射进去,然后由试样标距的标记向后反射。反射光由一个硅光电二极管检测并转化为应变度量。Zwick装置中,温度窗口系涂以透光导电涂层,低温试验时加热,以防出现雾气而减弱延伸计的分辨率。非接触延伸计的分辨率为0.01mm。

### 特殊的夹紧装置

陶瓷材料高温性能测试必须采用特殊工具。Zwick

公司设计了一种试验时可以自连接试样的专用夹具—自对中夹具, 确保试验载荷作用在试样中心, 避免产生侧向力。Instron 公司的自对中高级夹具可用于 1600℃ 陶瓷和金属试样单轴加载的试验。夹具承载能力为 35kN。夹具组件由一个试样夹持器和一个已取得专利的万向联轴节构成。

MTS 公司研制了一种陶瓷基复合材料平试样高温试验用的夹具。连接器因有水冷却, 可以用不锈钢制作。连接器涂以高性能的摩擦材料, 粒度可以调节。绝缘内衬防止不锈钢夹具避免炉温的强烈辐射。

在低温试验方面, Instron 公司生产的 CAD 型加载—夹紧装置, 额定载荷 90kN, 可以和标准试验机一同使用。这种装置原是由费米国家加速器实验室研究成功的, 是由复合材料管做成的推/拉杆结构。复合材料热传导低, 防止热传至低温物质, 例如使用液氮时, 能长期经济地工作。

联合标定公司为杜邦公司制造了一台自动拉伸测试装置, 在 -40~250℃ 下可以试验多达 200 个增强塑料试样。装置部件包括一个 22kN 的水平载荷构架和激光延伸计, 封闭式环境腔和控制柜。控制柜包括计算机, 打印机和数字绘图仪。

上述试验装置和辅助试验装置已先后投入生产和使用。随着航空航天等高技术的发展, 不仅要求测试在极高温度和极低温度下的材料力学性能, 还将要求测试在这些温度下的其他综合性能, 因此, 先进测试装置的发展将进一步受到重视。

(傅孙靖)

## 碳化硅增强钛合金的制造和应用

连续碳化硅纤维增强的钛合金具有很好的强度和韧性, 在 982℃ 条件下仍能保持适用的性能。因此, 它是高温用的一种极好材料。目前, 碳化硅已经成功地与下列钛合金基体进行了复合: CPTi、Ti-6Al-4V、Ti-3Al-2.5V、Ti-1.5V-3Cr-3Sn-3Al、BetaCTi-3Al-8V-6Cr-4Mo-4Zr、IM1829Ti-5.5Al-3.5Sn-3Zr-1Nb 及钛铝化物 (Alpha2 型)。

### SiC 纤维的制造

连续 SiC 纤维主要是采用化学气相沉积法制造的。它包括将加热的碳单丝通过一个充以专用混合气体的玻璃管反应器。该过程分为两个阶段: 1) 将大约 1μm 厚的热解石墨沉积在光滑的基底上; 2) 将沉积热解石墨的基底置于硅烷和氢气中。随后产生分解并在基底上连续形成 β 碳化硅 (βSiC)。通过下列方法对几个微米表面内的组分和纤维结构进行改性: 1) 加入非晶态碳恢复结晶面以改进表面强度, 2) 改进硅-碳比以提供与金属的良好粘接。峰值沉积温度规定在 1300℃ 左右, 以避免快速沉积和晶粒增长造成的拉伸强度下降。为防止纤维内的高内应力以及随之发生的金属基复合材料性能的下降, 也要避免明显的低温。

化学气相沉积 SiC 纤维典型的力学性能如下: 平均拉伸强度为 3790~4140MPa; 弹性模量为 400~415GPa。

### SiC 预制品的制造

这种纤维在改进的织机上制成织物或在转鼓上缠绕成 240 纤维/英寸预制品, 然后用等离子喷涂制成钛单相带。这种织物是一种制造复合材料用的预制品体系。其中, 较粗的 SiC 单丝保持垂直和平行, 以 100~140 纤维/英寸缠绕并与交叉编织的低密度钛肋线组合一起。

### SiC/Ti 复合材料的制造

按设计要求将碳化硅纤维和金属箔或等离子喷涂预制品交替迭层制成构件。这种迭层工艺对确定成品件的设计性能十分重要。平行于纤维方向的性能受纤维支配, 而垂直于纤维方向的性能则受基体材料的控制。这种复合材料的结构范围从 1 层到 120 层, 主要含 30~42 (体积)% 的碳化硅。SiC 纤维的体积含量和纤维方向适于开发不同用途要求的性能。

为防止弯曲将整个迭层置于两个钢加强板之间, 在两个钢板间留一个排气孔并将钢板四周缝焊在一起, 形成一个真空密封袋, 然后对整个真空袋进行泄漏试验以保证真空的完整性。排气后用热等静压法对 SiC/Ti 复合材料进行固结。冷却后打开容器, 取出构件进行酸浸蚀和溶剂清洗, 用计算机控制刀具进行精加工。

### 性能

以碳化硅纤维增强的 Ti-6Al-4V 复合材料为例, 主要用于承受持久的高温环境。用 SiC 纤维增强的钛合金 Ti-15v-3Cr-3Al 也获得了极好性能, 拉伸强度达 1585~1930MPa。

### 特定零件的制造和应用

碳化硅纤维增强钛合金零件正在开发用于教练机发动机。这些零件包括驱动轴、转子、盘和空心风扇叶片。

在制造 SiC/Ti 复合材料驱动轴时将纤维预制品置于钛箔上, 然后呈螺旋形进行缠绕以便插入钢管之中。将该组件封入钢压力容器之中并抽真空。排气后将组件进行热等静压, 随后进行机加工, 使每端形成齿槽连接。不使用钢护套也可对轴进行加工。

由于具有减轻重量的潜力, 这种复合材料正在发展用于涡轮发动机。使用环形 SiC/Ti-6Al-4V 复合材料盘可将 15.6Kg 重的 Ni-Cr-Fe-Cb-Mo-Ti-Al 合金 718 压气机盘减重至 0.8kg。

用碳化硅纤维增强的钛合金已制成空心风扇叶片。采用了超塑性成形/扩散连接工艺。

### 质量保证

除进行物理测试外, 还需使用 X 射线、超声扫描和扫描电子显微镜进行经常性的产品质量检查。X 射线用于探测基体开裂、纤维断裂和界面脱胶。用高速超声扫描器探测纤维周围的三维缺陷 (分层和不适当的变形)。扫描电子显微镜已广泛用于研究断裂表面。

(冬白)