

## 层状样品的热传递性能的研究

Dr. Juergen Blumm

NETZSCH-Gerätebau GmbH, Selb/Germany

编译：张红 曾智强

耐驰科学仪器商贸（上海）有限公司

### 前言

在较为广泛的工业应用领域里，人们越来越重视对层状样品的热传递性能进行表征。一个典型的例子就是电子元件（或电子包装材料）的热传递性能测试。当热量从正在工作的电子元件上传递出去的效率越高时，电子元件就可以以越快的时钟频率运作而不至于被烧坏。另一个多层材料的例子是热障涂层，它已经被越来越多的用于高温燃气轮机上。这些陶瓷涂层不但可以保护燃气轮机中的金属底层不被气体腐蚀，同时由于涂层的低导热性能，在涂层厚度上形成显著的温度梯度，从而允许燃气轮机在较高的温度下工作，极大的提高了这一体系的工作效率。

### 激光闪射法

激光闪射法，经过数十年的不断改进，已经广泛的用于固体材料的热物性测试。它的基本原理是：一束激光脉冲照射到端面平行的片状样品底部，热量从样品底部向上传递，从而导致样品的上表面温度升高。通过检测这一温升随时间的变化得到样品的热扩散系数。这种测试方法是非接触式，非破坏式的测试方法，它具有测试时间快，样品易制备，测试准确度高等优势，而且可以用于多层材料的测试。二 / 三层样品测试的原理示意图如图2、3所示。



图1. 耐驰激光导热仪 LFA457

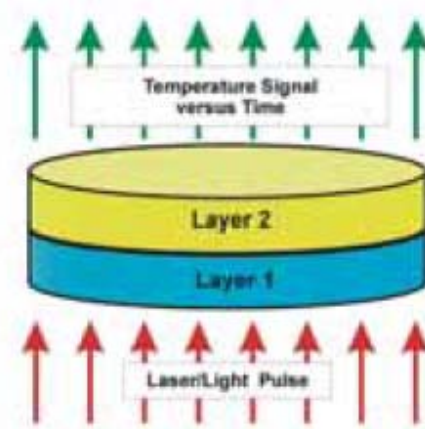


图2. 激光导热仪测量两层材料模型

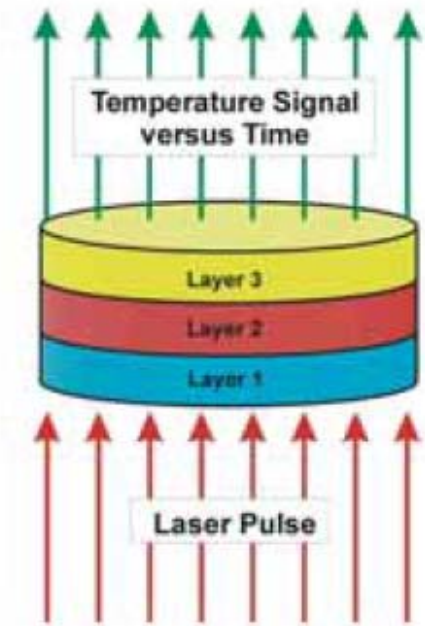


图3. 激光导热仪测量三层材料模型

### 理论模型

多层样品体系分析的解决方案最早是由1975年Lee提出来的。他考虑到了热损失，将Cowan单层样品计算模型进行改进用于计算多层样品模式：（方程式）

$$T(d_2, t)_{\text{heat loss}} = T(d_2, t)_{\text{adiabatic}} \cdot \exp\left(-\frac{\beta t}{(d_1 + d_2)^2}\right)$$

### 新型分析模型

这里介绍一种新的分析模型，它结合了一个非线性回归方程，可以对激光法测试结果进行很好的拟合。图4展示了两层样品测试体系的拟合情况（镍基高温合金表面的热障涂层）

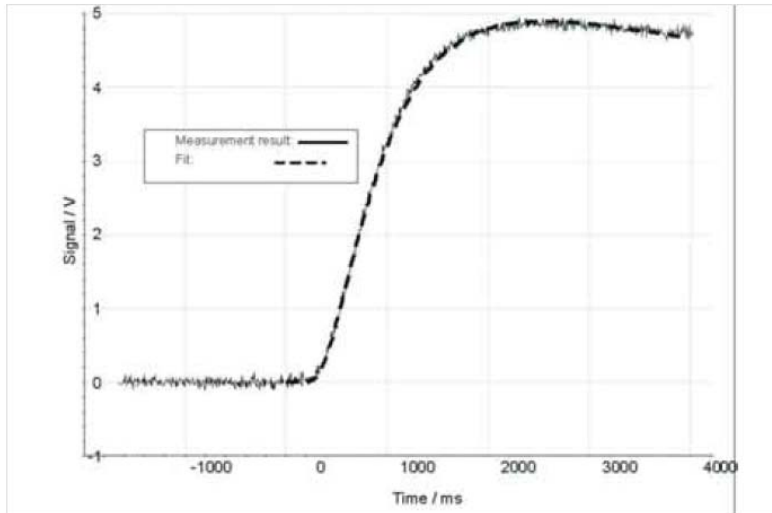


图4. 两层样品测试曲线

很明显，这种新的分析模型能够准确的拟合实验测量结果。标准样品（人工合成的两层样品或是两种标准样品形成的两层材料）的测试证明了这种模型的计算结果非常可靠。只要样品未知层的热阻占整个样品热阻的50%以上，这一模型测试误差将会在±5%以内。当然，对于两层样品模式，需要指出的是其中一层样品的热物性必须是已知的（比热、密度和热扩散系数）。而且第二层样品的比热和密度也必须是已知的。这一要求同样也适用于三层样品测量模式。

### 结果与讨论

图5是镍基高温合金的热扩散系数和导热系数测试结果。镍基高温合金一般用于燃气轮机热障涂层的基底材料。

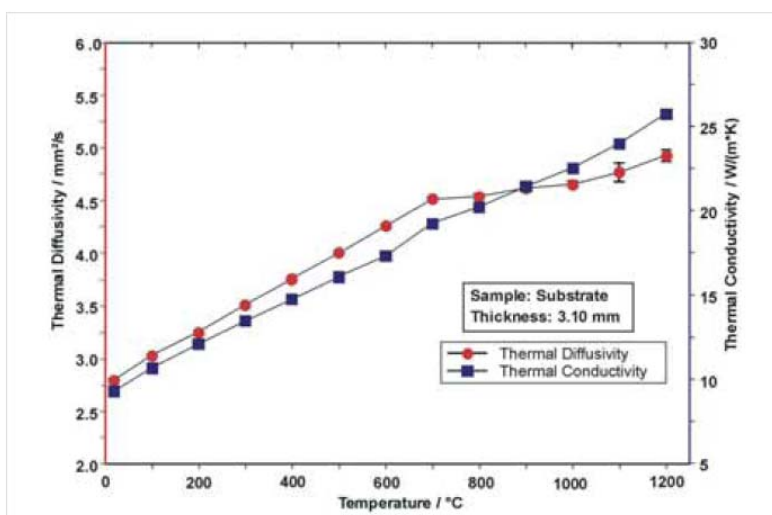


图5. 镍基高温合金的热扩散系数和导热系数测试结果

试验结果表明随着温度的升高，镍基高温合金的热扩散系数和导热系数均呈上升趋势。700℃以后，热扩散系数的上升

趋势有所变化，这是因为此时合金发生了相变。然而在同样的温度范围内，由于合金的比热也发生了显著的升高（图中没有显示），所以导热系数的变化依然呈线性变化趋势。

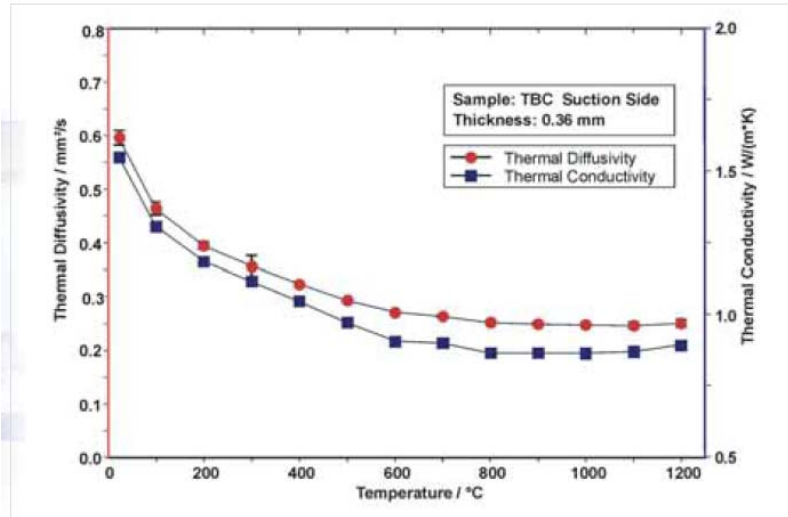


图6. 掺杂氧化钇的氧化锆热障涂层热扩散系数和导热系数

图6是掺杂氧化钇的氧化锆热障涂层室温~1200℃的热扩散系数和导热系数数据。对于这种将热障涂层以等离子形式喷射到合金基底的样品，实验采用二层模式进行测试。该样品取材于燃气轮机涡轮刀片的吸力面，在测试前样品已经在燃气轮机上使用了20,000小时了。实验表明，室温的热扩散系数和导热系数是典型的多孔氧化锆陶瓷的相应数据（孔隙率大概12%）。而且，热扩散系数和导热系数随着温度的升高出现下降趋势，这是陶瓷材料典型的热物性变化行为。