

形状记忆合金相变温度测量中的 TEC帕尔贴热电装置解决方案

TEC Peltier Thermoelectric Device Solution In Phase Transition Temperature Measurement of Shape Memory Alloy

摘要：形状记忆合金（SMA）是一种先进的金属材料，其物理和机械性能本质上依赖于温度。为了快速和低成本的实现SMA相变温度和热滞后性能的测试表征，基于更灵敏的电阻温度依赖关系，本文提出了采用帕尔贴TEC加热制冷装置结合四电极电阻测量的解决方案。与传统的DSC法相变温度测试相比，这种帕尔贴形式的电阻温度法具有更高的灵敏度和快速变温速度，且被测样品装配简单，更适合MEMS的热表征，并且比DSC更具有成本优势。

1. 背景

形状记忆合金（Shape Memory Alloys: SMA）是一种先进的金属材料，其物理和机械性能本质上依赖于温度。这种温度依赖性使得SMA作为致动器和/或传感器在工程应用中有着巨大潜力，因此需要研究作为温度函数的SMA行为，这对于开发基于SMA的热机械致动器至关重要。

由于SMA中的相变是热触发，其行为与温度密切相关，任何的温度变化都会伴随着热性能和机械性能的显著变化，因此可以应用不同的技术来确定SMA中的相变温度。典型的相变温度测量使用的热分析技术主要包括差示扫描量热分析法（DSC）、差热分析法（DTA）和动态力学分析法（DMA），这些技术都有相应的商业化设备。然而，这些设备高昂的采购、安装和维护成本使得预算有限的机构无法实施。此外，这些设备需要使用消耗品，如载气（DSC）和冷却液（DMA中的液氮）。在SMA应用（如微致动器）的开发中，购买和专门使用这种商业设备来确定材料的相变温度可能会很昂贵，更不用说设备的使用率并不高。

针对上述情况，特别是根据客户的要求，希望在尽可能短的测试时间内和尽可能低的成本下，从定性和定量的角度寻找非商业的替代测试方法和测试仪器以获得合适的物理信息来确定形状记忆合金致动器的相变温度，为此本文提出了相应的解决方案。

2. 解决方案

对于形状记忆合金这类合金材料，其电阻值与温度有强烈的依赖性，大量研究表明通过测量电阻对温度的这种依赖性在一些影响晶格组织的结晶现象时往往会更加敏感，也就是说通过测量温度变化过程中的电阻变化来确定SMA相变温度，往往会比单纯测量温度和热流形式的DSC更加的灵敏。为此，本解决方案的核心是给SMA样品加载温度，并同时测量SMA样品电阻随温度的变化，由此来形状记忆合金的相变温度和热滞后。

另外，形状记忆合金的相变温度普遍不高，一般都在-50~150℃温度范围内。为了在此温度范围内实现样品的温度变化，加热装置需具备以下几方面的功能：

- (1) 温度控制要具有很高的控制精度和速度，加热温度能很快的传递给被测样品，并同时能使被测样品具有很好的温度均匀性。
- (2) 温度变化要具备可控速率的线性升温 and 降温能力。
- (3) 加热装置简单，并便于安装被测样品和便于测量样品的电阻值。

为满足上述加热装置的要求，本文提出的解决方案采用了TEC帕尔帖热电技术，即采用帕尔贴贴片对被测样品提供-50~150℃的温度变化，由此组成的测量装置结构如图1所示。

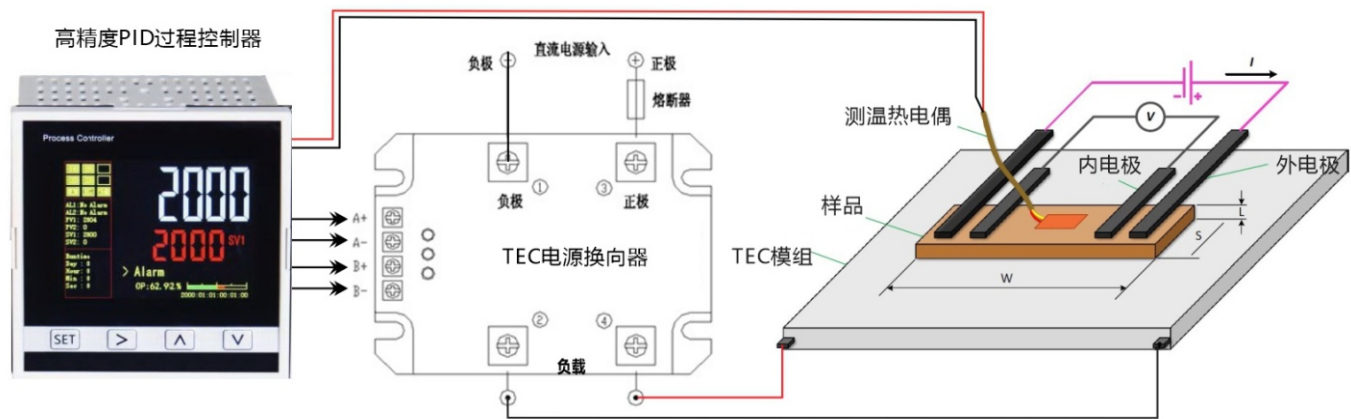


图1 形状记忆合金相变温度测量装置结构示意图

如图1所示，TEC模組的温度控制采用了一套TEC温度控制装置，包括TEC电源换向器和高精度PID可编程控制器，由此可实现TEC模組表面温度按照设定的程序曲线进行快速升温 and 降温。TEC模組的底面安装有散热器，图1中并未标出，为了提高散热效率一般采用循环水冷却散热器。

为了测量SMA的相变温度和考核其稳定性，需要使用相同的加热和冷却速度来进行热循环测试，这就需要TEC模組的温度控制具有较高的精度和重复性。为此，本解决方案采用了高精度PID可编程控制，完全可以满足SMA相变温度测试的需要。

如图1所示，被测SMA样品放置在TEC模組的表面，为减小接触热阻和保证温度均匀性，样品与TEC之间涂覆有相应的热界面材料。样品表面的温度由焊接在其上的热电偶进行测量，此热电偶作为控温热电偶，也可以同时再焊一根热电偶作为测温热电偶使用。SMA样品电阻测量采用了四电极法，即在样品上焊接四根铜电极分别作为内电极和外电极，四根电极连接到微欧计进行电阻测量，由此可以通过采集测温热电偶的温度数据和微欧计的电阻数据得到SMA样品的电阻温度变化曲线，并最终得到SMA样品的相变温度和热滞后性能。

3. 总结

本解决方案适用于形状记忆合金的电阻-温度特性曲线，并由此得到相应的相变温度和热滞后性能，帕尔贴模块能够在-50℃和150℃之间进行热循环，温度控制系统能够提供良好的冷却/加热响应。同时，本解决方案还具有以下特点：

- (1) 与相变温度的DSC表征相比，带有帕尔贴模块的电阻温度测量装置表现出更良好的性能，电阻对相变的响应更敏感和快速。

(2) 帕尔贴模块具有更快和更准确的变温速度，这能够在使用不同的材料活化速率（加热/冷却速率）时对SMA的基本行为进行研究，这与典型的其他热分析技术相比，在具有同样的准确性和可靠性的同时，更能提供所需要的加热/冷却速度。

(3) 采用帕尔贴模块形式的相变温度测量，其简单的结构可允许在有或没有机械应力的情况下表征铸态和纹理形状记忆合金，这在SMA微机电系统（MEMS）的热表征中有着重要作用。

(4) 珀耳帖表征设备比典型的热技术成本低得多，而且这种TEC帕尔贴加热制冷方式还可用于形状记忆合金其他物理量的测量，如比热容、热导率和热膨胀系数测量。