



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101907590 A

(43) 申请公布日 2010. 12. 08

(21) 申请号 201010229877. X

(22) 申请日 2010. 07. 13

(71) 申请人 北京航空航天大学

地址 100191 北京市海淀区学院路 37 号

(72) 发明人 侯卫国 张卫方 王宗仁 崔本仓

唐庆云 刘肖 丁美丽 王晓亮
姚婧

(74) 专利代理机构 北京永创新实专利事务所

111121

代理人 官汉增

(51) Int. Cl.

G01N 25/20 (2006. 01)

G01K 7/02 (2006. 01)

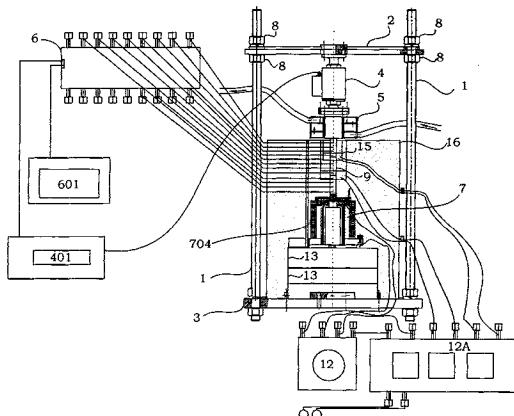
权利要求书 1 页 说明书 7 页 附图 5 页

(54) 发明名称

一种接触热阻测试设备

(57) 摘要

本发明公开了一种接触热阻测试设备，主要包括支架、顶板、底板、应力加载装置、数据采集系统和加热装置，底板和顶板之间由下至上依次设置加热装置、试样和应力加载装置；所述应力加载装置固定在顶板中心位置，调节顶板上四组螺母，应力加载装置的力传导杆与试样的顶端接触，为试样顶端加载应力；所述底板通过四组螺母调节水平角度和垂直高度，底板上设置加热装置，用于为试样加热。本发明提供的设备能够进行高温、高接触应力下的接触热阻测试试验，并且能够连续按要求改变热端温度 ($\leq 1000^{\circ}\text{C}$) 和调整加载应力 ($\leq 500\text{MPa}$)，能够对多通道的监测点温度同时进行检测和记录，并进行分析和统计，避免了循环记录各通道所带来的误差。



1. 接触热阻测试设备,其特征在于:主要包括支架、顶板、底板、应力加载装置、数据采集系统和加热装置,所述顶板和底板分别通过四组螺母水平固定在四根支架上,并且顶板位于底板的上方,底板和顶板之间由下至上依次设置加热装置、试样和应力加载装置;所述应力加载装置固定在顶板中心位置,调节顶板上四组螺母,应力加载装置的力传导杆与试样的顶端接触,为试样顶端加载应力;所述底板通过四组螺母调节水平角度和垂直高度,底板上设置加热装置,用于为试样加热。

2. 根据权利要求 1 所述的接触热阻测试设备,其特征在于:所述的试样的数量至少三个,竖直轴向排列,并且其中一个试样作为热流计试样,其余为待测接触热阻的材料试样;所述的热流计试样位于最顶端或者最底端。

3. 根据权利要求 2 所述的接触热阻测试设备,其特征在于:每个试样上热电偶探头之间的距离关系如下:相邻热电偶之间的轴向距离相等;每个试样的长度为 1,每个试样上从下端面到上端面依次布置 n 个热电偶,则热电偶之间的距离为 $1/n$,并且第一个热电偶距离下端面的距离等于第 n 个热电偶距离上端面的距离,均为 $1/2n$ 。

4. 根据权利要求 2 所述的接触热阻测试设备,其特征在于:所述的热流计选用已知热传导系数的材料铜,热流计试样与测试试样一样的尺寸,作为其中的一个热流计试样,测试时,布置在测试试样的最上端与应力加载装置的力传导杆接触,或者最下端与加热装置直接接触。

5. 根据权利要求 2 所述的接触热阻测试设备,其特征在于:所述应力加载装置上设置有压力传感器,压力传感器与数据采集系统的计算机连接。

6. 根据权利要求 2 所述的接触热阻测试设备,其特征在于:所述的顶板上设置减重孔。

7. 根据权利要求 1 所述的接触热阻测试设备,其特征在于:所述的底板上布置耐火砖,耐火砖上布置金属板,金属板中心有螺纹孔,所述螺纹孔用于固定加热装置。

8. 根据权利要求 1 或 7 所述的接触热阻测试设备,其特征在于:所述的耐火砖、金属板和加热块的重心与试样的中轴线、力传导杆的中轴线位于同一竖直线上。

9. 根据权利要求 1 所述的接触热阻测试设备,其特征在于:所述的应力加载装置是通过调节四个螺母推动顶板,使得顶板的高度下降,进而实现通过应力加载装置的力传导杆将压力施加给试样的顶端。

10. 根据权利要求 1 所述的接触热阻测试设备,其特征在于:所述的温度采集系统将所采集的温度数据分为两部分,一部分是测试点热电偶的所有温度数据,用于计算机绘制成温度变化曲线,检测试样加热温度的稳定变化,然后根据该采集的温度数据进行接触热阻的解算;另一部分是距离接触界面处最近的两个热电偶的温度数据,用于解算试样接触界面处的平均温度,控制对于试样接触界面处的温度补偿。

一种接触热阻测试设备

技术领域

[0001] 本发明属于测试技术领域，具体涉及一种接触热阻测试方法及设备，适用于在不同温度和加载应力范围内进行接触热阻的测试，尤其具备高温、高接触应力条件下的接触热阻测试条件。

背景技术

[0002] 当两个物体表面相互接触时，不论表面多么光滑，总存在微观的不完全接触点。物体的接触表面是由分散细小的接触点组成的，这些接触点之间被大的空隙隔离开，这些空隙中可能是真空，也可能充满导热介质。因此，在接触面处除了固有的热阻之外，还存在额外的传热阻力——接触热阻。接触热阻在很多工程应用中是一个重要的参数。现在接触热阻的研究主要集中在理论分析和计算方法的研究方面，即通过建立数学模型，运用计算机模拟的方式预测接触热阻，然后通过与文献中的试验数据进行比较，再判断模型的可靠性。目前的主要计算方法有：有限元法、蒙特卡罗随机点法、分子动力学法等。但这些方法参数较多、误差较大，在工程上并不实用。

发明内容

[0003] 本发明为了解决现有技术中单纯依托理论和模拟计算进行接触热阻测试存在的问题，提供一种接触热阻工程试验测试方法及其设备，所述的测试方法采用多根材料试样与一个热流计形成一个轴向热流通道，分别采集轴向热流传输方向多测试点温度，同时采用多层隔热材料和界面温度补偿技术降低热量横向散失现象对接触热阻测试的影响，根据采集的测试点温度实现接触热阻的测试。

[0004] 本发明提供的接触热阻测试设备主要包括支架、顶板、底板、应力加载装置、数据采集系统和加热装置，所述顶板和底板分别通过四组螺母水平固定在四根支架上，并且顶板位于底板的上方，底板和顶板之间由下至上依次设置加热装置、试样和应力加载装置；所述应力加载装置固定在顶板中心位置，调节顶板上四组螺母，应力加载装置的力传导杆与试样的顶端接触，为试样顶端加载应力；所述底板通过四组螺母调节水平角度和垂直高度，底板上设置加热装置，用于为试样加热。所述的试样的数量至少三个，竖直轴向排列，并且其中一个试样作为热流计试样，其余为待测接触热阻的材料试样；所述的热流计试样位于最顶端或者最底端。所述的温度采集系统将所采集的温度数据分为两部分，一部分是测试点热电偶的所有温度数据，用于计算机绘制成温度变化曲线，检测试样加热温度的稳定变化，然后根据该采集的温度数据进行接触热阻的解算；另一部分是距离接触界面处最近的两个热电偶的温度数据，用于解算试样接触界面处的平均温度，控制对于试样接触界面处的温度补偿。

[0005] 本发明的优点在于：

[0006] (1) 本发明采用的加热装置中的加热块为高温材料，应力加载装置可以提供500MPa的界面接触应力，因此本发明提供的设备能够进行高温、高接触应力下的接触热阻

测试试验，并且能够连续按要求改变热端温度（≤ 1000℃）和调整加载应力（≤ 500MPa）。
[0007] (2) 通过可控硅调压器控制加热丝的功率控制热端所需温度，通过多层隔热材料和界面温度补偿避免横向热流损失，并采用冷却装置使得测试试样的热端和冷却端形成极大温差，实现了热流轴向的一维传递。

[0008] (3) 本发明提供的设备能够对多通道的监测点温度同时进行检测和记录，并进行分析和统计，因而提高了工作效率，避免了循环记录各通道所带来的误差。

[0009] (4) 本发明提供的测试方法可以测试试样在热应力和压应力同时作用下的接触热阻，并且方法简单易于实现。

附图说明

[0010] 图 1 为本发明提供的接触热阻测试设备整体结构示意图；

[0011] 图 2 为本发明中试样上热电偶的布局图；

[0012] 图 2a 为本发明中稳定支撑架的结构示意图；

[0013] 图 3 为本发明中顶板减重结构示意图；

[0014] 图 4a 为本发明中冷却水箱的主视剖视图；

[0015] 图 4b 为本发明中冷却水箱的俯视图；

[0016] 图 5a 为本发明中加热装置结构示意图；

[0017] 图 5b 为本发明中加热装置的圆筒形加热筒结构示意图；

[0018] 图 5c 为本发明中加热块的结构示意图；

[0019] 图 6 为本发明中补偿加热装置的结构示意图；

[0020] 图 6a 为补偿加热装置中固定支架的仰视图；

[0021] 图 6b 为补偿加热装置中固定支架的主视图。

具体实施方式

[0022] 下面结合附图和实施例对本发明进行详细说明。

[0023] 本发明提供一种接触热阻测试方法，该测试方法利用热流在不同材料界面间传递的温度变化的特性来检测界面接触热阻，因而此种方法采用比较简单、可靠、测量精度较高、易于操作的测试设备就可以。但因测温元件与周围介质需要进行充分的热交换，需要一定的时间才能达到热平衡，所以达到稳态后的数据才是可信的。基于上述因素，本发明提供的接触热阻测试方法具体通过如下步骤实现：

[0024] 第一步，测试试样和设备的准备。

[0025] 加工至少三个试样，包括一个热流计试样和两个测试试样，将三个试样竖直同轴夹装在底端加热装置和顶端应力加载装置之间，所述的试样上设置有热电偶，热电偶与数据采集系统连接，用于测试和采集试样的轴向温度。

[0026] 第二步，对试样加热和加载压应力，采集试样测试点温度。

[0027] 通过加热装置对试样加热，并对试样施加压应力，3～4个小时后，待试样温度达到稳定后开始采集测试温度。所述的测试温度包括每个试样上 n 个测试点的测试点温度 $T_{i,i} = 1, \dots, n$, n 为试样上测试点数目。所述的测试点温度 T_i 通过在试样上均布的测试点热电偶进行采集，所述的测试点热电偶的探头均布置在试样的中轴线上，保证测温的准确性。

[0028] 例如试样上测试点之间的距离满足如下关系：试样长度为 l，相邻两个测试点之间的轴向距离相等，每个试样上从下端面到上端面之间设置 n 个测试点，测试点之间的距离为 l/n ，第一个测试点距离下端面的距离等于第 n 个测试点距离上端面的距离，并且两个距离之和等于相邻两个测试点之间的距离。测试试样竖直同轴，测试点从下到上均匀布置，顺序编号。

[0029] 热电偶连接数据采集系统，当数据采集系统上计算机显示试样上每个测试点的温度变化在 0.5 度以内时，即可认为轴向热流传输已达到稳态。

[0030] 第三步，相邻试样在接触界面处的平均温度。

[0031] 将试样上每一个测试点上的温度进行采集和存储，并通过计算机绘制测试点处的温度变化曲线。

[0032] 每两个相邻试样上，距离接触界面最近的两个测试点热电偶的温度为 T_n 和 T_{n+1} ，则下方试样的第 n 个测试点温度 T_n 和相邻的上方试样的第 1 个测试点温度 T_{n+1} 的平均值就是两试样接触界面处的平均温度，则接触界面处的平均温度 $\Delta T'$ 为：

$$[0033] \Delta T' = \frac{T_n + T_{n+1}}{2}.$$

[0034] 第四步，对试样接触界面进行温度补偿。

[0035] 将接触界面处的平均温度 $\Delta T'$ 作为相邻两试样之间的理论传导温度，对试样接触界面进行温度补偿，采用补偿加热装置保证试样的接触界面处保持理论传导温度 $\Delta T'$ 。

[0036] 第五步，通过外推温度梯度确定相邻试样接触界面处的温度降 ΔT ：

$$[0037] \Delta T = \left(T_n - \frac{(T_1 - T_n)}{(n-1) \cdot l/n} \times l/2n \right) - \left(T_{n+1} + \frac{(T_{n+1} - T_{2n})}{(n-1) \cdot l/n} \times l/2n \right)$$

$$[0038] = \left(T_n - \frac{2(T_1 - T_n)}{n-1} \right) - \left(T_{n+1} + \frac{2(T_{n+1} - T_{2n})}{n-1} \right)$$

[0039] 其中，l 为试样长度，n 为每个试样上测试点个数， T_1 、 T_n 、 T_{n+1} 、 T_{2n} 分别第一被测试样第 1 个、第 n 个测试点的温度、相邻的第二个被测试样第 $n+1$ 和第 $2n$ 个测试点的温度。

[0040] 第六步，根据所选热流计来确定试样的轴向热流。

[0041] 忽略试样的横向热流损失，以金属铜作为热流计，制备成与试样同样尺寸的热流计试样，则轴向热流为：

$$[0042] q = \lambda_T \frac{dt}{dx} = \lambda_T (T_1 - T_n)/m$$

[0043] 其中 λ_T 为铜的热导率； T_1 、 T_n 为热流计试样上第一个测试点与第 n 个测试点的温度；m 为热流计试样上第一个测试点与第 n 个测试点之间的距离。

[0044] 第七步，计算接触热导和接触热阻。

[0045] 根据第六步中的轴向热流，得到试验中的接触热导 h_c 如下：

$$[0046] h_c = \frac{q}{\Delta T} = \frac{\lambda_T (T_1 - T_n)/m}{\left(T_n - \frac{2(T_1 - T_n)}{n-1} \right) - \left(T_{n+1} + \frac{2(T_{n+1} - T_{2n})}{n-1} \right)}$$

[0047] 根据每两个试样接触界面处的温度降 ΔT 计算接触热阻 R_c 。

[0048] 所述的接触热阻 R_c 为：

$$[0049] R_c = \frac{1}{h_c} = \frac{\Delta T}{q}$$

[0050] 其中 q 为轴向热流。

[0051] 根据试验需要,可以调整加热温度或加载应力,重复第一步到第六步可以测试不同温度和应力条件下的接触热阻。

[0052] 本发明还提供一种接触热阻测试设备,如图 1 所示,所述的测试设备主要包括支架 1、顶板 2、底板 3、应力加载装置 4、数据采集系统 6 和加热装置 7,还包括一个冷却装置 5。所述顶板 2 和底板 3 分别通过四组螺母 8 水平固定在四根支架 1 上,并且顶板 2 位于底板 3 的上方。底板 3 和顶板 2 之间的空间由下至上依次设置加热装置 7、试样 9、冷却装置 5 和应力加载装置 4。所述应力加载装置 4 固定在顶板 2 中心位置,应力加载装置 4 的力传导杆穿过冷却装置 5 与试样 9 的顶端接触,用于为试样 9 顶端加载应力。所述底板 3 设置加热装置 7,用于为试样 9 加热。

[0053] 所述的试样 9 的数量至少三个,竖直轴向排列,并且其中一个试样 9 作为热流计试样,其余为待测接触热阻的材料试样。如图 2 所示,每个试样 9 的中轴线上布置 4 个测试点热电偶 10(如镍铬镍硅热电偶),测试点热电偶 10 作为温度传感器用于实时测量沿着试样 9 轴向上的温度分布,测试点热电偶 10 的探头设置在试样 9 的竖直中轴线上,测试点热电偶 10 的尾线连接数据采集系统 6,如图 1,数据采集系统 6 采集的温度数据通过计算机 601 进行存储并绘制温度变化曲线,显示给操作者,便于操作者监测和控制接触热阻测试过程。

[0054] 每个试样 9 上热电偶探头之间的距离关系如下:相邻热电偶之间的轴向距离相等;每个试样的长度为 1,每个试样上从下端面到上端面依次布置 n 个热电偶,则热电偶之间的距离为 $1/n$,并且第一个热电偶距离下端面的距离等于第 n 个热电偶距离上端面的距离,均为 $1/2n$ 。

[0055] 本发明中选用已知热传导系数的材料如铜作为热流计,来测试试样的轴向热流 q 。热流计做成与试样 9 一样的尺寸,作为其中的一个热流计试样,测试时,所述的热流计试样布置在测试试样的最顶端与应力加载装置 4 的力传导杆接触,或者最底端与加热装置 7 直接接触,保证待测接触热阻的合金材料试样之间接触形成接触界面 901,本发明提供的测试设备就是用于测试相接触的两试样之间的接触界面 901 处的接触热阻。

[0056] 所述的测试点热电偶 10 采用 K 型的镍铬镍硅热电偶,能够测 $0 \sim 1300^{\circ}\text{C}$ 的温度范围。本发明采用测试点热电偶 10 的探头排布方式如图 2 所示,探头设置在试样 9 的竖直中轴线上。试样长度为 60mm,每个试样 9 上测试点热电偶 10 的探头距离上下端面 7.5mm,相互之间间隔 15mm,一共布置四个热电偶。在试样 9 上布置测试点热电偶 10 的探头孔必须小心的加工,因为探头孔间距的微小的误差即可以带来温度梯度的较大的误差,进而得出接触热阻较大的不确定度。

[0057] 由于测试点热电偶 10 和热电偶探头孔的加工均存在公差,在试样受热载过程中,试样会受热膨胀,一些测试点热电偶 10 将有可能从试样孔中脱落。为了固定测试点热电偶 10,如图 2 所示,本发明中将所述的测试点热电偶 10 的尾线通过一个稳定支撑架 11,如图 2a 所示,所述的稳定支撑架 11 上设置尾线孔 11A,尾线孔 11A 的数量等于试样上测试点热电偶 10 的数量,每个测试点热电偶 10 的尾线都穿过尾线孔 11A 后与数据采集系统 6 连接,

并且尾线是通过螺钉锁紧的方式固定在稳定支撑架 11 上,防止测试点热电偶 10 从试样 9 上脱落。

[0058] 在所述应力加载装置 4 上连接有压力传感器 401,如图 1,压力传感器 401 与数据采集系统 6 中的计算机 601 连接,用于测量所加载压应力的大小,并将所测量的压力数据记录和显示在数据采集系统 6 的计算机 601 上。通过调节四个螺母 8 推动顶板 2,使得顶板 2 的高度可调,进而实现对应力加载装置 4 施加压力,应力加载装置 4 通过力传导杆将压力施加给试样 9 的顶端。由于所述力传导杆穿过冷却装置 5 的冷却水箱与试样接触。力传导杆给试样 9 传导施加压应力的同时,也将实现对试样 9 的顶端的冷却。

[0059] 所述的顶板 2 的结构如图 3 所示,顶板 2 采用厚钢板 + 加强筋的结构,并且顶板 2 采用了减重结构来精简设备,测试点热电偶以及补偿加热装置等部件也可以更容易插入并且安全使用。在增大了顶板 2 的面积的同时,在顶板 2 上设置减重孔 201 来实现减重,减轻了加载装置的重量的同时也使得操作更方便。

[0060] 所述的冷却装置 5 放置在试样 9 的顶端,如图 4a、4b 所示,所述的冷却装置 5 为一个冷却水箱结构,冷却水箱的中心设有中心通孔 501,中心通孔 501 的内径稍大于力传导杆的外径,所述的中心通孔 501 具有内螺纹,冷却水箱通过所述内螺纹连接固定在应力加载装置 4 的力传导杆上。冷却水箱内部的冷却水的温度可以直接传导给力传导杆,通过力传导杆的温度降低来冷却试样 9 的上方冷端。冷却水箱内部设置有冷却通道 502,冷却通道 502 为螺旋形围绕中心通孔 501。冷却水从冷却水箱底部的冷却水入水口 503 进入冷却通道 502,并从冷却水箱顶部的冷却水出水口 504 流出,如此循环,冷却水以一定的流速通过冷却水箱内部的冷却通道 502,为力传导杆提供较低的恒定的温度,可以降低力传导杆的温度,进而冷却试样 9 的上方冷端。一般循环冷却水的温度维持在 20℃~25℃即可。该种方式使得循环冷却水与试样冷端的接触面积最大,最大限度地提高了冷却效率。冷却水箱内部有上、中、下三层冷却通道 502,并在层与层之间设置两个开口对角分布的隔板 505,用以保证循环冷却水从底部流向顶部。循环冷却水将从下而上,防止了滞留。

[0061] 试验中采用此种冷却方式发现,加热装置以最大的功率加热 (220V/1500W) 达到所需要的热端温度后,通过可控硅调压器 12 调低电压在 90V~120V 之间,约 2~3 个小时后,试样上的轴向热流达到了准稳态。

[0062] 所述的加热装置 7,如图 5a 所示,主要包括加热块 701,加热块 701 可以直接连接可控硅调压器 12,可控硅调压器 12 连接温控仪,为试样加热;也可以通过加热块 701 外圈的陶瓷 (SiC) 加热筒 702 或一侧开口的圆筒形加热器 705 连接可控硅调压器 12,可控硅调压器 12 连接温控仪,为试样加热。当选用陶瓷加热筒 702 时,陶瓷加热筒 702 外周缠绕有加热丝 703,加热丝 703 连接可控硅调压器 12,可控硅调压器 12 连接温控仪 12A,用于为加热丝 703 提供电源功率可控制的加热温度,为试样 9 加载温度。加热丝 703 的热量通过陶瓷加热筒 702 传递给加热块 701,为试样 9 提供热源。陶瓷加热筒 702 的内径稍大于加热块 701 的外径,保证陶瓷加热筒 702 的热量能够全部传递给加热块 701。

[0063] 所述的一侧开口的圆筒形加热器 705 是如图 5b 所示的结构,即采用一侧开口的圆筒形加热器 705 为加热块 701 加热。所述圆筒形加热器 705 内径与加热块 701 外径紧密接触,进而可以增大加热效率,缩短加热时间。设计成一侧开口的结构,更加有利于圆筒形加热器 705 内壁与加热块 701 之间的紧密接触。所述圆筒形加热器 705 内壁上布置加热丝

703, 加热丝 703 的两端连接到可控硅调压器 12, 可控硅调压器 12 连接温控仪 12A。

[0064] 所述的加热块 701 结构如图 5c 所示, 加热块 701 为圆柱体结构, 圆柱体的上端面上设置有一个圆柱形凹槽 701A, 凹槽 701A 直径稍大于试样 9 直径, 凹槽 701A 四周设置螺栓孔 701D, 在将试样 9 底端安装到凹槽 701A 内之后, 用螺栓穿过螺栓孔 701D 将试样 9 底端顶紧, 防止试样 9 底端相对于凹槽 701A 的移动, 同时可以将加热块 701 的热量传递给试样 9, 一般螺栓孔 701D 设置四个。加热块 701 的底部有一个螺纹柱 701B, 该螺纹柱 701B 与耐火砖 13 上布置的金属板 14 之间螺纹连接, 如图 5a, 连接金属板 14 使得加热块 701 的重心下降, 稳固的位于耐火砖 13 的上表面。所述耐火砖 13 置于底板 3 上。所述的耐火砖 13 和金属板 14 都是起到固定加热块 701 的作用, 同时耐火砖 13 也起到隔热和调整加热块 701 的位置平衡的作用。

[0065] 在加热块 701 上凹槽 701A 的底部位置设置一个温度传感器 701C, 温度传感器 701C 通过圆筒形加热器 705 的开口部位或者通过陶瓷套筒 702 连接到温控仪 12A, 温度传感器 701C 将所测温度数据反馈到温控仪 12A 上, 温控仪 12A 通过可控硅调压器 12 控制圆筒形加热器 705 上加热的通断, 保证加热块 701 顶部位置始终保持恒定的温度将热量传递给测试试样 9。

[0066] 所述的四根支架 1 均具有外螺纹结构, 八组螺母 8 可以单独调节。调节顶板 2 上固定的四组螺母 8 可以保证应力加载装置 4 提供竖直向下的力; 调节底板 3 的四组螺母 8, 可以保证耐火砖 13 上的加热块 701 的轴线与地面垂直。

[0067] 通常选取的加热丝 703 为铁铬铝加热丝, 如 0Cr21Al16Nb。选取加热块 701 采用耐高温合金, 如 1Cr18Ni9Ti (600°C), 或者选取 K417 合金钢 (耐高温 1000°C 以上)。可以提供的最大功率为 1500W。在所述陶瓷加热筒 702 的外侧还可以设置保温层 704 (避免加热丝与隔热材料直接接触发生反应), 如图 1 所示, 用于防止加热丝 703 和加热块 701 的热量散失。

[0068] 在所述试样 9 的外周设置隔热层 16, 隔热层 16 由保温棉和珍珠岩组成, 如图 1, 隔热层 16 设置在试样 9 和加热装置 7 的外周, 用于防止试样表面热量横向散失, 尽量保证试样 9 上的温度热量沿着试样 9 轴向上升, 避免界面处热流的横向流失。

[0069] 在接触热阻测试过程中, 由于试样温度从下向上传递, 在径向同一平面内存在着不同的温度, 横向上的热流损失不可避免。根据传热的动力原理, 两个平面的温差越大, 则传热的动力就越大, 当热流沿轴向方向最大化, 达到热流一维传输的准稳态, 此时才可以进行接触热阻的测试。为了尽量的减少横向热流损失, 使得热流沿轴向传输, 本发明还设置了补偿加热装置 15。所述的补偿加热装置 15 包括两个热电偶 15A 和两个环形加热器 15B, 如图 6 所示, 所述的环形加热器 15B 位于接触界面的径向平面内, 分别距离接触界面 50mm 和 60mm 的位置, 环形加热器 15B 上分别固定设置一个热电偶 15A, 热电偶 15A 与温控仪 12A 相连, 将环形加热器 15B 的温度反馈给温控仪 12A, 通过温控仪 12A 使试样接触界面的温度与环形加热器 15B 的温度一致, 两材料接触界面横向等温, 避免了热量的横向散失。试验过程中通过对相邻两个试样上最接近的两个测试点热电偶 10 所测温度作差并求平均, 得到接触界面处的理论传导温度 $\Delta T'$, 根据该理论传导温度 $\Delta T'$, 调节温控仪 12A 的温度控制点, 将环形加热器 15B 加热温度控制在所述的理论传导温度范围内, 使得热流在试样接触界面处的轴向传输最大化, 避免横向热流散失。

[0070] 所述环形加热器 15B 通过固定支架 15C 固定在顶板 2 上,所述固定支架 15C 为倒“L”型,顶端设置两个螺纹孔 150,如图 6a 所示,螺钉穿过所述螺纹孔 150 将固定支架 15C 固定在顶板 2 上;底端附近设置有槽形孔 151,如图 6b 所示,环形加热器 15B 上有两个圆孔,用螺栓穿过所述圆孔将环形加热器 15B 固定在槽形孔 151 上,加工成槽形孔的目的是为了方便调节环形加热器 15B 在轴向上的位置,进而使得环形加热器 15B 的高度可调节。

[0071] 本发明中的数据采集系统 6 将所采集的温度数据分为两部分,一部分是测试点热电偶 10 的所有温度数据,用于计算机绘制成温度变化曲线,检测试样加热温度的稳定变化,然后根据该采集的温度数据进行接触热阻的解算;另一部分是距离接触界面处最近的两个热电偶的温度数据,用于解算试样接触界面处的平均温度,以便于控制对于试样接触界面处的温度补偿。

[0072] 本发明中的温控仪 12A 可以实现多路加热的单独控制和数据显示,本发明中选取的温控仪 12A 型号为 XMZJ16-38K XLDS。

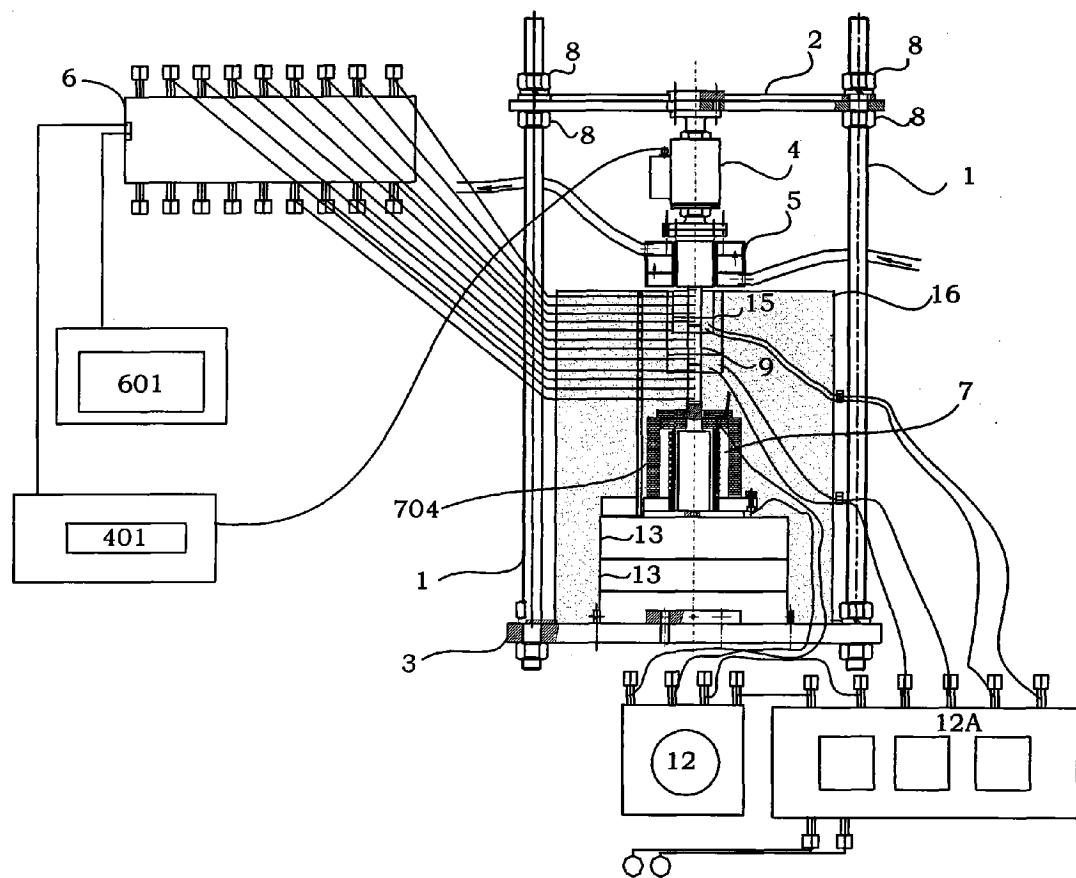


图 1

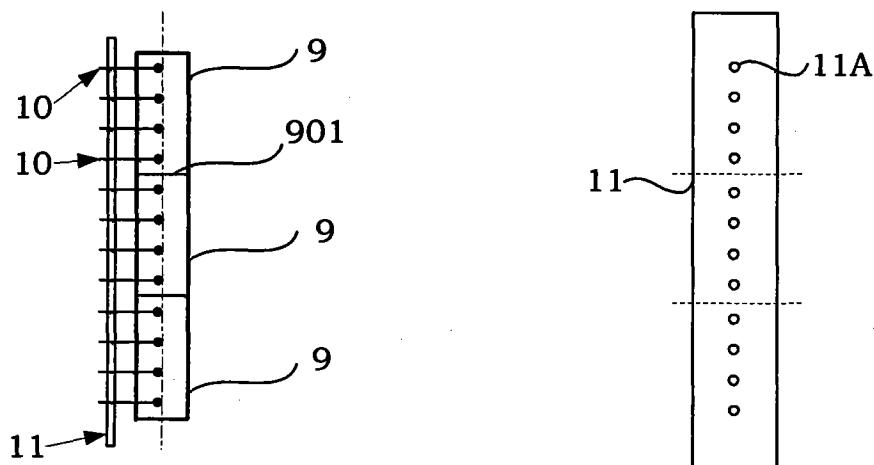


图 2

图 2a

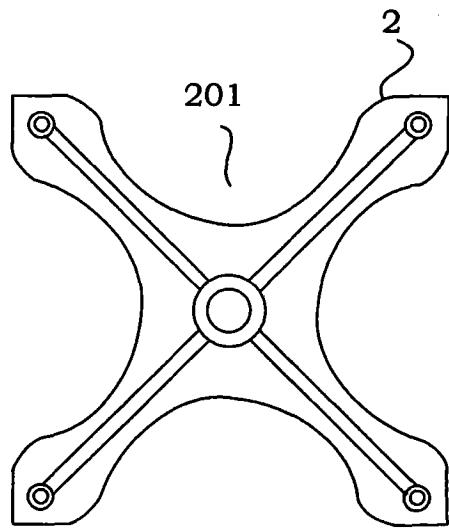


图 3

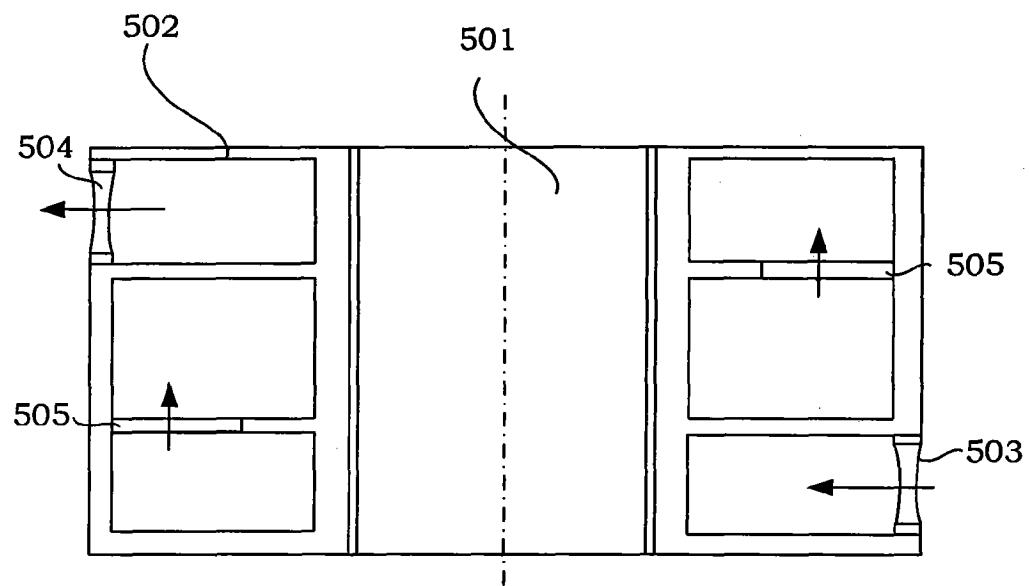


图 4a

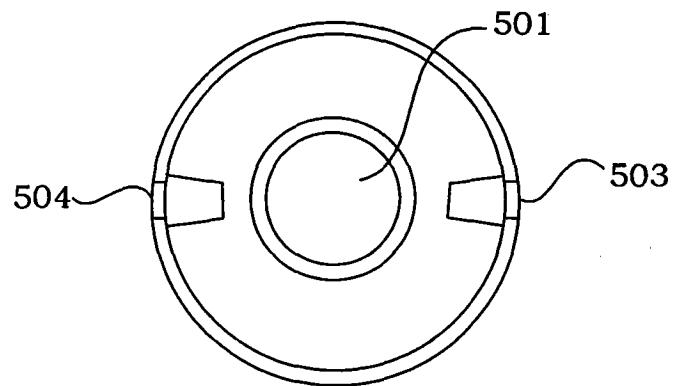


图 4b

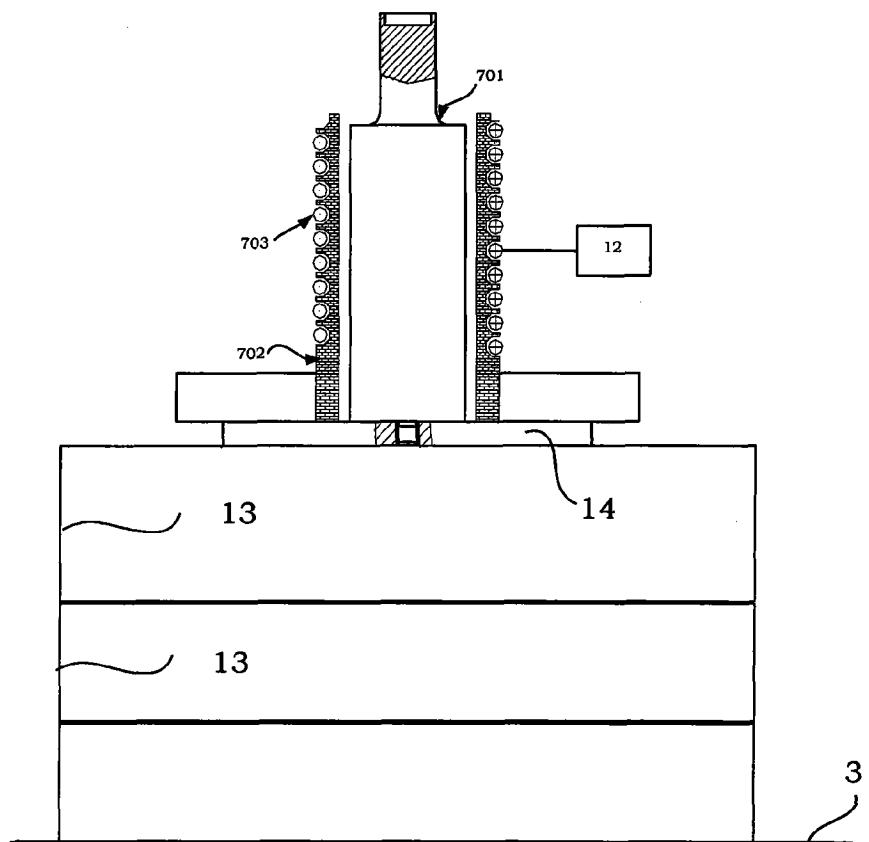


图 5a

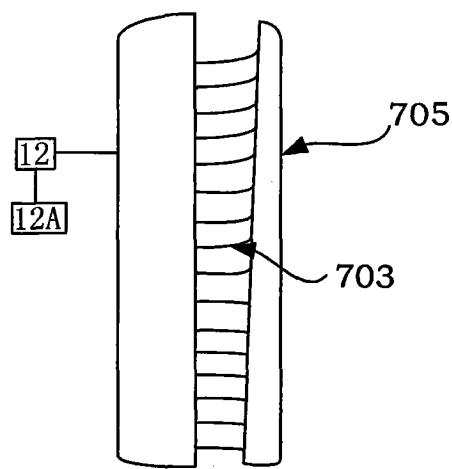


图 5b

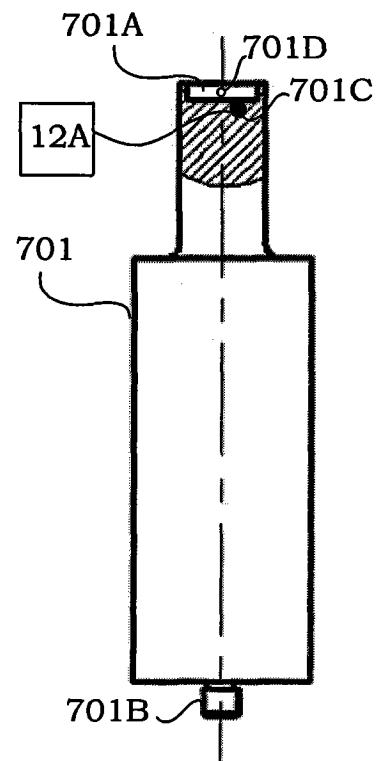


图 5c

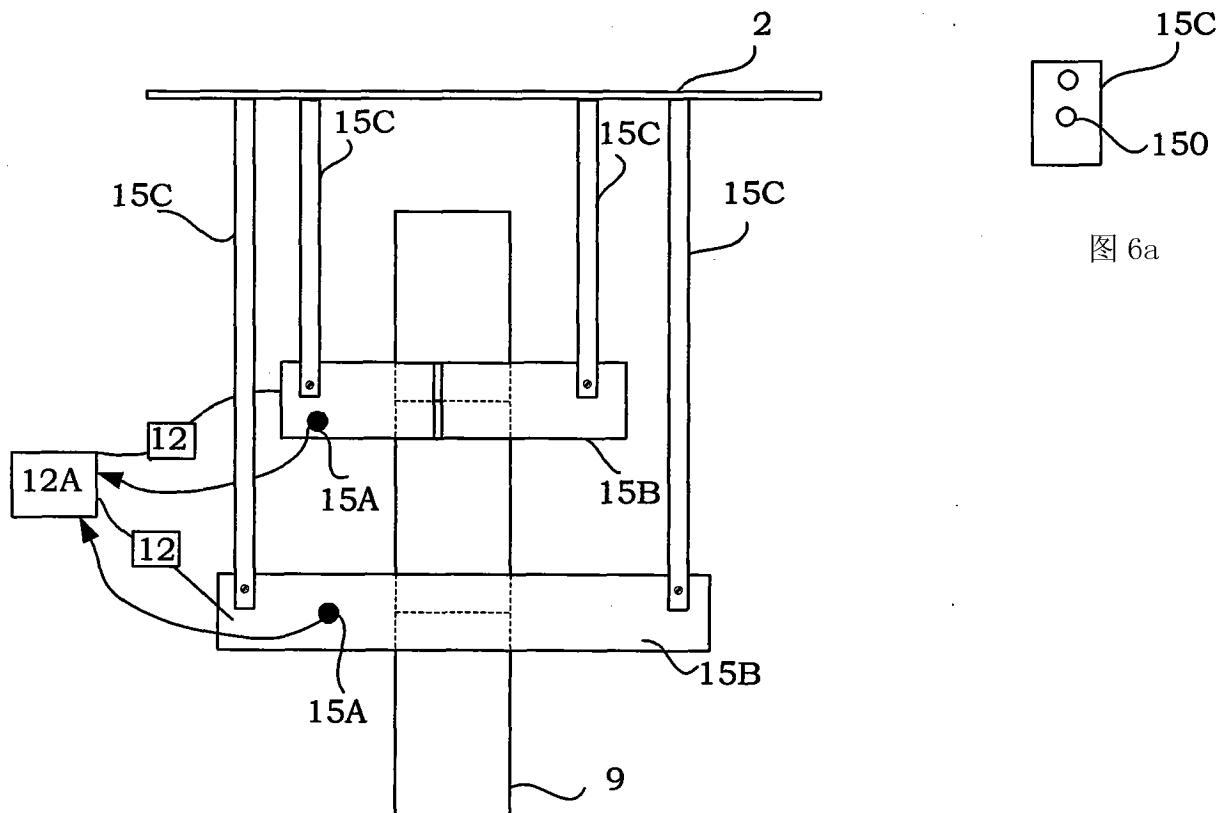


图 6

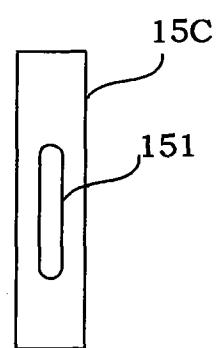


图 6b