



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111272574 A

(43)申请公布日 2020.06.12

(21)申请号 202010092612.3

(22)申请日 2020.02.14

(71)申请人 北京科技大学

地址 100083 北京市海淀区学院路30号

(72)发明人 侯新梅 王恩会 郭春雨 刘云松

张海军 徐林超 杨涛 陈俊红

杨志斌

(74)专利代理机构 北京中强智尚知识产权代理

有限公司 11448

代理人 黄耀威

(51)Int.Cl.

G01N 3/18(2006.01)

G01N 3/02(2006.01)

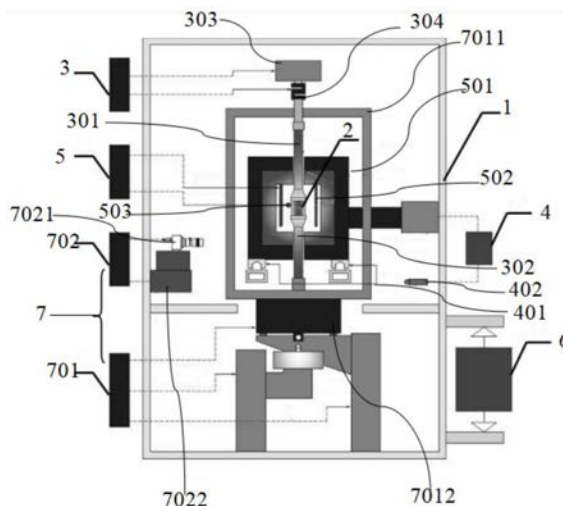
权利要求书2页 说明书7页 附图2页

(54)发明名称

一种原位测试耐火材料在应力作用下反应行为的装置及方法

(57)摘要

本发明公开了一种原位测试耐火材料在应力作用下反应行为的装置及方法,其中,装置包括:应力加载系统,用于夹持试样,并在测试所述试样的反应行为时对所述试样提供压应力加载;风冷热震系统,用于在测试所述试样的反应行为时对所述试样提供热应力;加热系统,用于在测试所述试样的反应行为时对所述试样进行加热;气氛控制系统,用于在测试所述试样的反应行为时为所述试样提供真空或不同气氛的测试环境;检测系统,用于对所述试样的反应行为进行实时原位检测。本发明能够实现对试样在反应过程中的温度场、气氛场和应力场的协同调控,进而在更加贴近实际服役环境的条件下对耐火材料的高温反应行为进行原位测试。



1. 一种原位测试耐火材料在应力作用下反应行为的装置,其特征在于,包括:
  - 应力加载系统,用于夹持试样,并在测试所述试样的反应行为时对所述试样提供压应力加载;
  - 风冷热震系统,用于在测试所述试样的反应行为时对所述试样提供热应力;
  - 加热系统,用于在测试所述试样的反应行为时对所述试样进行加热;
  - 气氛控制系统,用于在测试所述试样的反应行为时为所述试样提供真空或不同气氛的测试环境;
  - 检测系统,用于对所述试样的反应行为进行实时原位检测。
2. 根据权利要求1所述的一种原位测试耐火材料在应力作用下反应行为的装置,其特征在于,所述加热系统包括:
  - 炉体,用于放置所述试样;
  - 加热机构,包括设在所述炉体内的加热体和温度检测机构,所述加热体用于对所述试样进行加热,所述温度检测机构用于对所述炉体的温度进行测定。
3. 根据权利要求2所述的一种原位测试耐火材料在应力作用下反应行为的装置,其特征在于,所述气氛控制系统包括:
  - 真空泵组,用于对所述炉体进行抽真空处理;
  - 真空压力传感器,与所述真空泵组连接,用于显示所述真空泵组的真空数值;
  - 气氛置换装置,与所述炉体连接,用于向所述炉体内通入不同的气体,进而为所述试样提供不同气氛的测试环境。
4. 根据权利要求2所述的一种原位测试耐火材料在应力作用下反应行为的装置,其特征在于,所述风冷热震系统包括:
  - 移动轨道,与所述炉体连接,所述移动轨道用于移动所述炉体,使所述试样远离所述炉体内腔;
  - 吹风装置,包括吹风喷嘴、以及控制所述吹风喷嘴移动的移动机构,所述吹风喷嘴用于向远离所述炉体内腔的所述试样吹风进行急冷处理。
5. 根据权利要求1所述的一种原位测试耐火材料在应力作用下反应行为的装置,其特征在于,所述应力加载系统包括:
  - 加持机构,包括第一压棒和第二压棒,所述加持机构用于将所述试样夹持在所述第一压棒和第二压棒之间;
  - 加荷机构,与所述第一压棒或第二压棒连接,用于调整所述第一压棒和第二压棒对所述试样的压应力加载;
  - 压力传感器,与所述加荷机构连接,用于显示所述加荷机构对所述试样加载的压力的数值。
6. 根据权利要求5所述的一种原位测试耐火材料在应力作用下反应行为的装置,其特征在于,所述检测系统包括:
  - 质量称量单元,用于在测试所述试样的反应行为时对所述试样的质量进行实时原位监测;所述质量称量单元包括称量框架和称量装置,称量装置位于所述称量框架的底部,其中,所述称量框架用于承载所述试样、所述第一压棒和第二压棒;
  - 图像采集单元,用于在测试所述试样的反应行为时对所述试样的显微形貌进行实时原

位记录;所述图像采集单元包括用于观察所述试样形貌变化的CCD摄像机、以及用于移动所述CCD摄像机位置的三维平移台。

7.一种原位测试耐火材料在应力作用下反应行为的方法,其特征在于,包括:

通过加热系统对试样进行加热至预设温度,并对所述试样的温度进行实时监测;

通过应力加载系统向处于变温过程的所述试样加载预设压应力;

通过气氛控制系统为处于变温过程的所述试样提供预设气氛的测试环境;

通过检测系统对在温度场、气氛场和压应力场协同作用下的处于变温状态的所述试样的反应行为进行实时原位检测。

8.一种原位测试耐火材料在应力作用下反应行为的方法,其特征在于,包括:

通过加热系统将处于惰性气体保护下的试样加热至预设温度,并对所述试样的温度进行实时监测;

通过应力加载系统向处于预设温度下的所述试样加载预设压应力;

通过气氛控制系统为处于预设温度下的所述试样提供预设的气氛测试环境;

通过风冷热震系统对处于预设温度下的所述试样进行急冷处理,进而使所述试样加载预设热应力,其中,所述风冷热震系统对所述试样的冷却速率为 $50\sim 1000^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ;

通过检测系统对在温度场、气氛场和压应力场协同作用下的处于预设温度和急冷处理过程中的所述试样的反应行为进行实时原位检测。

9.根据权利要求7或8所述的一种原位测试耐火材料在应力作用下反应行为的方法,其特征在于,所述加热系统对所述试样的加热升温速率为 $1\sim 15^{\circ}\text{C}$ ,预设温度为 $200\sim 1600^{\circ}\text{C}$ 。

10.根据权利要求7或8所述的一种原位测试耐火材料在应力作用下反应行为的方法,其特征在于,所述应力加载系统向所述试样加载的预设压应力为 $0\sim 50\text{MPa}$ 。

## 一种原位测试耐火材料在应力作用下反应行为的装置及方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于无机非金属材料性能研究技术领域,特别涉及一种原位测试耐火材料在应力作用下反应行为的装置及方法。

### 背景技术

[0002] 耐火材料被广泛应用于钢铁、有色金属、玻璃、水泥、陶瓷、石化、电力及军工等国民经济的各个领域,是保证上述产业生产运行和技术发展不可或缺的基本材料,并且也在高温工业生产发展中起着不可替代的重要作用。然而,在实际应用中,耐火材料经常承受频繁的温度急变、不同反应介质的冲刷和挤压,因而不可避免受到热应力、压应力以及热-压耦合复杂应力的作用,进而引起材料显微结构变化,产生微裂纹和孔洞,甚至开裂、剥落,由此导致材料失效往往会成为工业事故的重大隐患。因此,研究耐火材料在应力荷载条件下的高温反应行为和机制是指导此类材料广泛、安全应用的重要基础。

[0003] 为了准确获取耐火材料在复杂应力作用下的高温界面反应行为,往往需要在试样反应过程中对温度场、气氛场和应力场进行协同调控,以达到使材料服役环境与现实更加贴近以及更能反映材料失效本质的目的。而现有测试装置多数未考虑应力对耐火材料的影响,而少有的测试装置在考虑影响时又无法兼顾对反应过程试样质量和显微结构演变的在线获取,因此,无法精准表征耐火材料在高温应力场下的损毁行为和机理。

### 发明内容

[0004] 针对以上现有技术存在的不足之处,本发明提供了一种原位测试耐火材料在应力作用下反应行为的装置及方法,以实现试样反应过程温度场、气氛场和应力场的协同调控,进而使耐火材料在更加贴近实际服役环境的条件下进行高温反应行为进行原位测试。

[0005] 本发明一方面提供了一种原位测试耐火材料在应力作用下反应行为的装置,包括:

[0006] 应力加载系统,用于夹持试样,并在测试所述试样的反应行为时对所述试样提供压应力加载;

[0007] 风冷热震系统,用于在测试所述试样的反应行为时对所述试样提供热应力;

[0008] 加热系统,用于在测试所述试样的反应行为时对所述试样进行加热;

[0009] 气氛控制系统,用于在测试所述试样的反应行为时为所述试样提供真空或不同气氛的测试环境;

[0010] 检测系统,用于对所述试样的反应行为进行实时原位检测。

[0011] 进一步的,所述加热系统包括:

[0012] 炉体,用于放置所述试样;

[0013] 加热机构,包括设在所述炉体内的加热体和温度检测机构,所述加热体用于对所述试样进行加热,所述温度检测机构用于对所述炉体的温度进行测定。

[0014] 进一步的,所述气氛控制系统包括:

- [0015] 真空泵组,用于对所述炉体进行抽真空处理;
- [0016] 真空压力传感器,与所述真空泵组连接,用于显示所述真空泵组的真空数值;
- [0017] 气氛置换装置,与所述炉体连接,用于向所述炉体内通入不同的气体,进而为所述试样提供不同气氛的测试环境。
- [0018] 进一步的,所述风冷热震系统包括:
- [0019] 移动轨道,与所述炉体连接,所述移动轨道用于移动所述炉体,使所述试样远离所述炉体内腔;
- [0020] 吹风装置,包括吹风喷嘴、以及控制所述吹风喷嘴移动的移动机构,所述吹风喷嘴用于向远离所述炉体内腔的所述试样吹风进行急冷处理。
- [0021] 进一步的,所述应力加载系统包括:
- [0022] 加持机构,包括第一压棒和第二压棒,所述加持机构用于将所述试样夹持在所述第一压棒和第二压棒之间;
- [0023] 加荷机构,与所述第一压棒或第二压棒连接,用于调整所述第一压棒和第二压棒对所述试样的压应力加载;
- [0024] 压力传感器,与所述加荷机构连接,用于显示所述加荷机构对所述试样加载的压力的数值。
- [0025] 进一步的,所述检测系统包括:
- [0026] 质量称量单元,用于在测试所述试样的反应行为时对所述试样的质量进行实时原位监测;所述质量称量单元包括称量框架和称量装置,称量装置位于所述称量框架的底部,其中,所述称量框架用于承载所述试样、所述第一压棒和第二压棒;
- [0027] 图像采集单元,用于在测试所述试样的反应行为时对所述试样的显微形貌进行实时原位记录;所述图像采集单元包括用于观察所述试样形貌变化的CCD摄像机、用于移动所述CCD摄像机位置的三维平移台。
- [0028] 本发明另一方面提供了一种原位测试耐火材料在应力作用下反应行为的方法,包括:
- [0029] 通过加热系统对试样进行加热至预设温度,并对所述试样的温度进行实时监测;
- [0030] 通过应力加载系统向处于变温过程的所述试样加载预设压应力;
- [0031] 通过气氛控制系统为处于变温过程的所述试样提供预设气氛的测试环境;
- [0032] 通过检测系统对在温度场、气氛场和压应力场协同作用下的处于变温状态的所述试样的反应行为进行实时原位检测。
- [0033] 本发明又一方面提供了一种原位测试耐火材料在应力作用下反应行为的方法,包括:
- [0034] 通过加热系统将处于惰性气体保护下的试样加热至预设温度,并对所述试样的温度进行实时监测;
- [0035] 通过应力加载系统向处于预设温度下的所述试样加载预设压应力;
- [0036] 通过气氛控制系统为处于预设温度下的所述试样提供预设的气氛测试环境;
- [0037] 通过风冷热震系统对处于预设温度下的所述试样进行急冷处理,进而使所述试样加载预设热应力,其中,所述风冷热震系统对所述试样的冷却速率为50~1000℃/min;
- [0038] 通过检测系统对在温度场、气氛场和压应力场协同作用下的处于预设温度和急冷

处理过程中的所述试样的反应行为进行实时原位检测。

[0039] 进一步的,所述加热系统对所述试样的加热升温速率为1~15℃,预设温度为200~1600℃。

[0040] 进一步的,所述应力加载系统向所述试样加载的预设压应力为0~50MPa。

[0041] 本发明提供了一种原位测试耐火材料在应力作用下反应行为的装置及方法,通过在测试所述试样的反应行为时,对试样提供温度场和气氛场的同时,还对试样提供压应力加载和热应力加载,以实现所述试样在反应过程中的温度场、气氛场和应力场的协同调控,进而在更加贴近实际服役环境的条件下对耐火材料的高温反应行为进行原位测试。

[0042] 本发明的其它特征和优点将在随后的说明书中阐述,并且,部分地从说明书中变得显而易见,或者通过实施本发明而了解。本发明的目的和其他优点可通过在所写的说明书、权利要求书、以及附图中所特别指出的结构来实现和获得。

[0043] 下面通过附图和实施例,对本发明的技术方案做进一步的详细描述。

### 附图说明

[0044] 图1为本发明示例性实施例提供的一种原位测试耐火材料在应力作用下反应行为的装置的结构示意图;

[0045] 图2为本发明示例性实施例1提供的一种原位测试耐火材料在应力作用下反应行为的方法流程示意图;

[0046] 图3为本发明示例性实施例2提供的一种原位测试耐火材料在应力作用下反应行为的方法流程示意图。

[0047] 图中:

[0048] 1-密封腔体;

[0049] 2-试样;

[0050] 3-应力加载系统,301-第一压棒,302-第二压棒,303-加荷机构,304-压力传感器;

[0051] 4-风冷热震系统,401-移动轨道,402-吹风喷嘴;

[0052] 5-加热系统,501-炉体,502-加热体,503-热电偶;

[0053] 6-气氛控制系统;

[0054] 7-检测系统,701-质量称量单元,702-图像采集单元,7011-称量框架,7012-称量装置,7021-CCD摄像机,7022-三维平移台。

### 具体实施方式

[0055] 下面结合附图,对本发明的具体实施方式进行详细描述,但应当理解本发明的保护范围并不受具体实施方式的限制。

[0056] 除非另有其它明确表示,否则在整个说明书和权利要求书中,术语“包括”或其变换如“包含”或“包括有”等等将被理解为包括所陈述的元件或组成部分,而并未排除其它元件或其它组成部分。

[0057] 实施例1

[0058] 参见图1,一种原位测试耐火材料在应力作用下反应行为的装置,包括设在密封腔体1内的应力加载系统3、风冷热震系统4和加热系统5,以及与密封腔体1连接的气氛控制系

统6和检测系统7,应力加载系统3用于夹持试样2,并在测试试样2的反应行为时对试样2提供压应力加载;风冷热震系统4用于在测试试样2的反应行为时对试样2提供热应力;加热系统5围绕在试样2周围,用于在测试试样2的反应行为时对试样2进行加热;气氛控制系统6用于在测试试样2的反应行为时为试样2提供真空或不同气氛的测试环境;检测系统7用于对试样2的反应行为进行实时原位检测。

[0059] 其中,密封腔体1用于将试样2与密封腔体1外的环境隔绝。

[0060] 作为一优选实施方式,加热系统5包括炉体501和加热机构,炉体501设在密封腔体1内,用于放置试样2;加热机构包括设在炉体501内的加热体502和温度检测机构,加热体502分布设在试样2的周围,加热体502用于对试样2进行加热,温度检测机构用于对炉体501的温度进行测定。在本实施方式中,温度检测机构优选为热电偶503,加热机构对试样2的加热速率为 $1\sim 15^{\circ}\text{C}$ ,对试样2的加热范围为 $200\sim 1600^{\circ}\text{C}$ ;进一步的,加热体502通过配电装置进行供电。

[0061] 作为一优选实施方式,气氛控制系统6包括真空泵组、真空压力传感器和气氛置换装置,真空泵组与密封腔体1连接,真空泵组通过对密封腔体1进行抽真空处理,进而实现对炉体501进行抽真空处理;真空压力传感器与真空泵组连接,用于显示真空泵组的真空数值,以便控制真空泵组对密封腔体1的真空度控制;气氛置换装置与炉体501连接,用于向炉体501内通入不同的气体,进而为试样2提供不同气氛的测试环境。在本实施方式中,气氛置换装置能够向炉体501内通氧气、空气、氩气和水蒸汽等气体,以实现为试样2提供不同气氛;作为优选的,真空压力传感器还与用于防止漏气的安全阀门连接,以保证真空泵组的运行安全,更进一步的,气氛置换装置可满足炉体501极限真空度为 $1\times 10^{-2}\text{Pa}$ ,满足炉体501内空气、氧气、氩气的分压为 $0\sim 1\text{atm}$ ,满足水蒸汽和载气耦合气氛中水蒸汽的分压为 $0.1\sim 0.8\text{atm}$ ,载气的分压为 $0.2\sim 0.9\text{atm}$ 。

[0062] 作为一优选实施方式,风冷热震系统4包括移动轨道401和吹风装置,移动轨道401与炉体501的底部连接,移动轨道401用于移动炉体501,使试样2远离炉体501内腔;吹风装置包括吹风喷嘴402、以及控制吹风喷嘴402在密封腔体1内移动的移动机构,吹风喷嘴402用于向远离炉体501内腔的试样2吹风进行急冷处理。在本实施方式中,风冷热震系统4能够使试样2冷却速率为 $50\sim 1000^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。

[0063] 作为一优选实施方式,应力加载系统3包括加持机构、加荷机构303和压力传感器304,加持机构包括第一压棒301和第二压棒302,加持机构用于将试样2夹持在第一压棒301和第二压棒302之间;加荷机构303与第一压棒301或第二压棒302连接,用于调整第一压棒301和第二压棒302对试样2的压应力加载;压力传感器304与加荷机构303连接,用于显示加荷机构303对试样2加载的压力的数值。在本实施方式中,第一压棒301和第二压棒302竖直的设在密封腔体1内,将试样2放置在第一压棒301和第二压棒302之间,加荷机构303控制第一压棒301在竖直方向移动,以实现为试样2的压应力加载的调整。作为优选的,加荷机构303包括丝杠和伺服电机,丝杠与第一压棒连接,通过控制伺服电机丝杠在竖直方向的长度,进而控制第一压棒301在竖直方向移动,以实现为试样2的压应力加载的调整。其中,应力加载系统对试样2的压应力调整范围为 $0\sim 50\text{MPa}$ 。

[0064] 进一步的,检测系统7包括质量称量单元701和图像采集单元702,质量称量单元701用于在测试试样的反应行为时对试样2的质量进行实时原位监测;质量称量单元701包

括称量框架7011和称量装置7012,称量装置7012位于称量框架7011的底部,其中,称量框架7011用于承载试样2、第一压棒301和第二压棒302,其中质量称量单元701能够对质量在10~2000g的试样2进行连续测量,其分辨为0.01g;图像采集单元702用于在测试试样2的反应行为时对试样2的显微形貌进行实时原位记录;图像采集单元502包括用于观察试样2形貌变化的CCD摄像机7021、用于移动CCD摄像机7021位置的三维平移台7022,图像采集单元702能够对测试试样2表面形貌放大倍率为1~40倍,三维平移台7022能够将CCD摄像机7021的镜头移向试样2的位置,进而实现对试样2的显微形貌进行原位记录。在本实施方式中,称量装置7012包括位于称量框架7011下方的称量天平、与称量天平连接用于对称量天平进行校准的校验装置、以及与称量天平连接用于将称量天平终止测量的脱开装置。更进一步的,图像采集单元702还包括与CCD摄像机7021的镜头连接用于过滤炉体701内高温射线干扰的红外滤波器、透镜组和特定光发生器。

[0065] 参见图2,本实施例还提供了一种原位测试耐火材料在应力作用下反应行为的方法,包括:

[0066] S100a、通过加热系统对试样进行加热至预设温度,并对试样的温度进行实时监测。

[0067] 具体为,将试样固定在第一压棒和第二压棒之间,通过加热系统上的加热体对试样进行加热,并由热电偶实时测量试样在加热炉内的温度。

[0068] S200a、通过应力加载系统向处于变温过程的试样加载预设压应力。

[0069] 具体为,通过加荷机构控制第一压棒在竖直方向移动,以实现对其压应力的调整。

[0070] 进一步的,通过控制伺服电机丝杠在竖直方向的长度,进而控制第一压棒在竖直方向移动,以实现对其压应力的调整。

[0071] S300a、通过气氛控制系统为处于变温过程的试样提供预设气氛的测试环境。

[0072] 具体为,通过气氛控制系统向炉体内通入氧气气氛、或水蒸汽气氛、或氧气和水蒸汽中耦合气氛至预设气氛分压,以实现为试样提供预设气氛的测试环境。

[0073] 其中,气氛控制系统可满足炉体极限真空度为 $1 \times 10^{-2}$ Pa,满足炉体内空气、氧气、氩气的分压为0~1atm;气氛控制系统还能够满足水蒸汽和载气耦合气氛中水蒸汽的分压为0.1~0.8atm,载气的分压为0.2~0.9atm。

[0074] S400a、通过检测系统对在温度场、气氛场和压应力场协同作用下的处于变温状态的试样的反应行为进行实时原位检测。

[0075] 具体为,通过控制检测系统上的图像采集单元对变温过程试样显微形貌变化进行原位观察,通过检测系统上的质量测量单元对变温过程试样的质量变化进行连续原位记录。

[0076] 其中,质量称量单元可满足对质量在10~2000g的连续测量,分辨为0.01g。图像采集单元可满足对测试试样表面形貌放大倍率为1~40倍。

[0077] 作为一优选实施方式,加热系统对试样的加热升温速率为 $1 \sim 15^{\circ}\text{C}$ ,预设温度为 $200 \sim 1600^{\circ}\text{C}$ 。

[0078] 作为一优选实施方式,应力加载系统向试样加载的预设压应力为 $0 \sim 50\text{MPa}$ 。

[0079] 本实施例基于加热系统、应力加载系统、气氛控制系统和风冷热震系统,通过控制



设定不同的温度场、气氛场和应力场,可实现对处于变温过程中的耐火材料试样反应过程中的温度场、气氛场和应力场进行协同调控,并通过质量测量单元和图像采集单元可在更加贴近实际服役环境的条件中对耐火材料的高温反应行为进行原位在线测试。

[0080] 实施例2

[0081] 参见图3,本实施例提供了一种原位测试耐火材料在应力作用下反应行为的方法,包括:

[0082] S100b、通过加热系统将处于惰性气体保护下的试样加热至预设温度,并对试样的温度进行实时监测。

[0083] 具体为,将试样固定在第一压棒和第二压棒之间,通过控制气氛控制系统向炉体内通入氩气对试样进行氩气气氛保护后,控制加热系统对加热炉升温到预设温度。

[0084] S200b、通过应力加载系统向处于预设温度下的所述试样加载预设压应力。

[0085] 具体为,通过加荷机构控制第一压棒在竖直方向移动,以实现对其压应力的调整。

[0086] 进一步的,通过控制伺服电机丝杠在竖直方向的长度,进而控制第一压棒在竖直方向移动,以实现对其压应力的调整。

[0087] S300b、通过气氛控制系统为处于预设温度下的试样提供预设的气氛测试环境。

[0088] 具体为,通过气氛控制系统向炉体内通入氧气气氛、或水蒸汽气氛、或氧气和水蒸汽中耦合气氛至预设气氛分压,以实现为试样提供预设气氛的测试环境。

[0089] 其中,气氛控制系统可满足炉体极限真空度为 $1 \times 10^{-2}$ Pa,满足炉体内空气、氧气、氩气的分压为0~1atm;气氛控制系统还能够满足水蒸汽和载气耦合气氛中水蒸汽的分压为0.1~0.8atm,载气的分压为0.2~0.9atm。

[0090] S400b、通过风冷热震系统对处于预设温度下的试样进行急冷处理,进而使试样加载预设热应力,其中,风冷热震系统对试样的冷却速率为50~1000℃/min。

[0091] 具体为,通过移动轨道移动炉体,使试样远离炉体内腔,待试样远离炉体后,通过移动机构控制吹风喷嘴在密封腔体内移动,使吹风喷嘴向试样吹风进行急冷处理。

[0092] S500b、通过检测系统对在温度场、气氛场和压应力场协同作用下的处于预设温度和急冷处理过程中的试样的反应行为进行实时原位检测。

[0093] 具体为,通过控制检测系统上的图像采集单元对变温过程试样显微形貌变化进行原位观察,通过检测系统上的质量测量单元对变温过程试样的质量变化进行连续原位记录。

[0094] 其中,质量称量单元可满足对质量在10~2000g的连续测量,分辨为0.01g。图像采集单元可满足对测试试样表面形貌放大倍率为1~40倍。

[0095] 作为一优选实施方式,加热系统对试样的加热升温速率为1~15℃,预设温度为200~1600℃。

[0096] 作为一优选实施方式,应力加载系统向试样加载的预设压应力为0~50MPa。

[0097] 本实施例基于加热系统、应力加载系统、气氛控制系统和风冷热震系统,通过控制设定不同的温度场、气氛场和应力场,可实现对处于预设温度和急冷处理过程中的耐火材料试样反应过程中的温度场、气氛场和应力场进行协同调控,并通过质量测量单元和图像采集单元可在更加贴近实际服役环境的条件中对耐火材料的高温反应行为进行原位在线

测试。

[0098] 最后所应说明的是,以上具体实施方式仅用以说明本发明的技术方案而非限制,尽管参照实例对本发明进行了详细说明,本领域的普通技术人员应当理解,可以对本发明的技术方案进行修改或者等同替换,而不脱离本发明技术方案的精神和范围,其均应涵盖在本发明的权利要求范围当中。

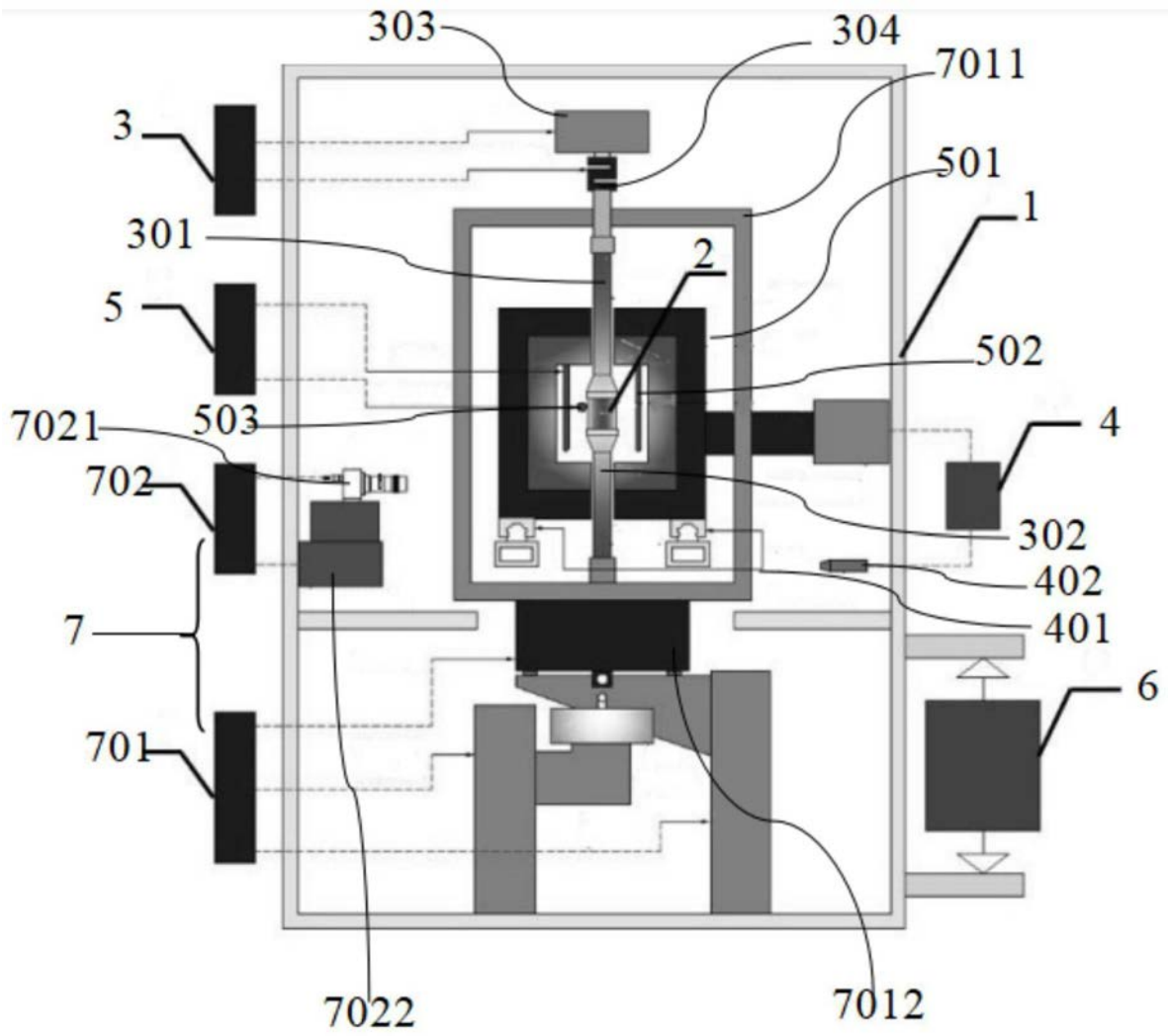


图1

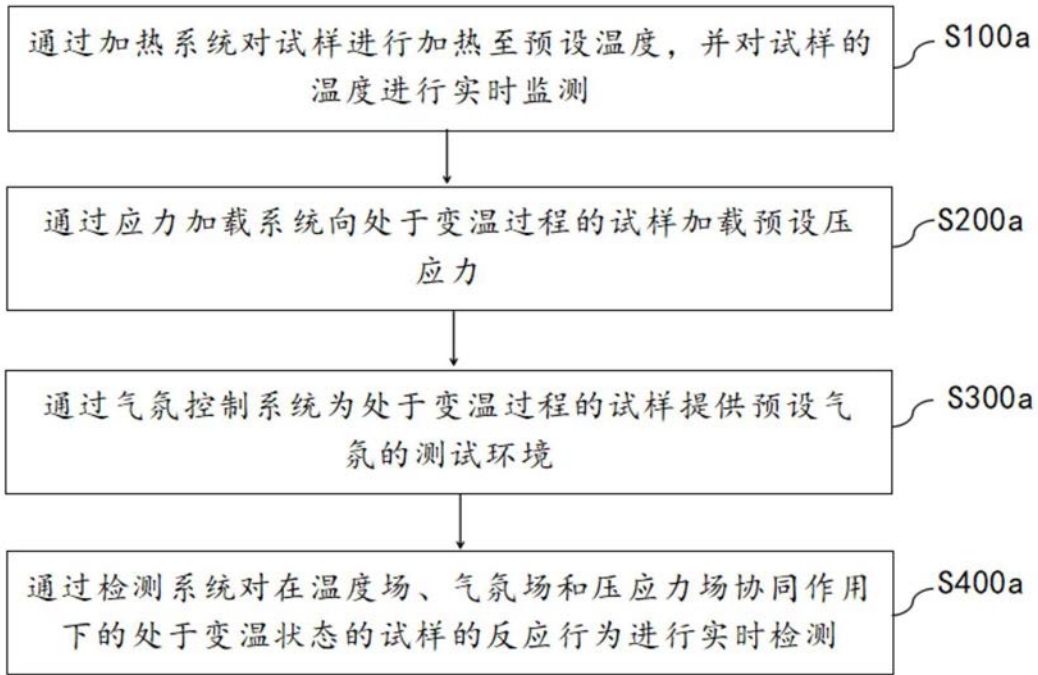


图2

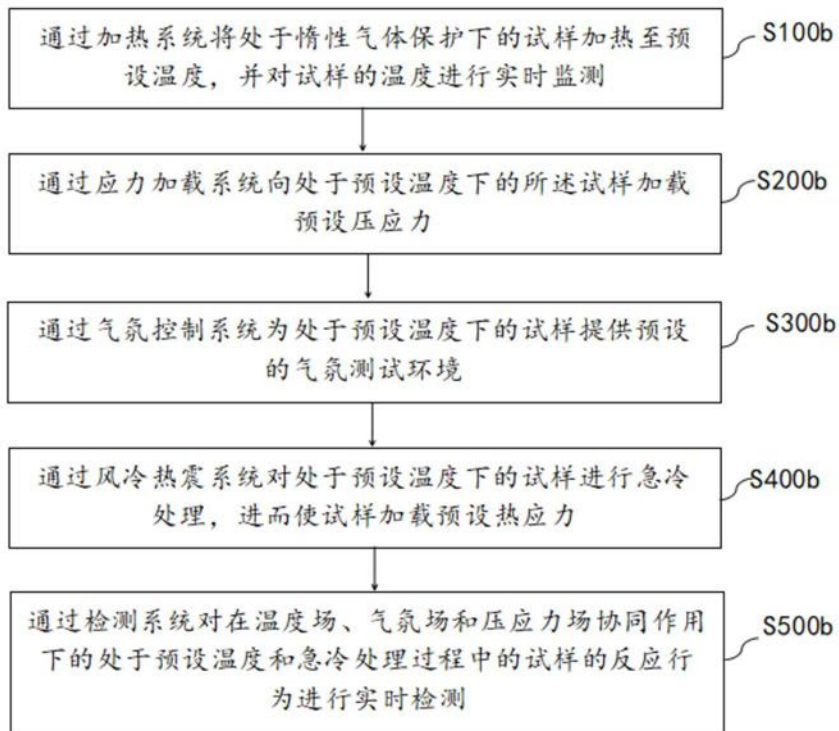


图3