



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105272256 A  
(43) 申请公布日 2016. 01. 27

(21) 申请号 201510633245. 2

(22) 申请日 2015. 09. 29

(71) 申请人 航天材料及工艺研究所  
地址 100076 北京市丰台区南大红门路 1 号  
申请人 中国运载火箭技术研究院

(72) 发明人 冯志海 余立琼 樊楨 宋永忠  
孔清

(74) 专利代理机构 中国航天科技专利中心  
11009  
代理人 范晓毅

(51) Int. Cl.  
C04B 35/524(2006. 01)  
C04B 38/08(2006. 01)

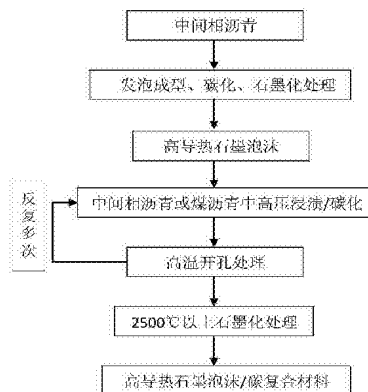
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

## (54) 发明名称

一种高导热石墨泡沫 / 碳复合材料及其制备方法

## (57) 摘要

本发明涉及一种高导热石墨泡沫 / 碳复合材料及其制备方法, 首先以中间相沥青为前驱体制备具有高导热率的石墨泡沫作为增强基; 然后以中间相沥青或煤沥青为基体碳前驱体, 通过中高压浸渍 / 碳化技术对石墨泡沫增强基进行致密化; 最后对获得的材料进行 2500℃ 以上的高温石墨化处理, 得到密度在 1. 3g/cm<sup>3</sup> 以上, 热导率大于 300W/m · K, 压缩强度可达到 9MPa 以上的高导热石墨泡沫 / 碳复合材料, 其热导率和压缩强度是石墨泡沫材料的 2 倍和 3 倍以上, 相比高导热碳 / 碳复合材料, 制备成本和周期也大大压缩。



1. 一种高导热石墨泡沫 / 碳复合材料的制备方法, 其特征在于: 包括如下具体步骤:

步骤(一)、以中间相沥青为前驱体制备高导热石墨泡沫作为增强基, 所述高导热石墨泡沫增强基的密度为  $0.5 \sim 0.9 \text{g/cm}^3$ , 热导率大于  $100 \text{W/m} \cdot \text{K}$ , 孔隙率在  $39 \sim 77\%$ , 开孔率大于  $85\%$ ;

步骤(二)、将步骤(一)制备的石墨泡沫增强基进行中间相沥青或煤沥青浸渍; 其中中间相沥青浸渍温度为  $280 \sim 370^\circ\text{C}$ , 浸渍压力为  $15 \sim 70 \text{MPa}$ , 保压时间为  $1 \sim 5 \text{h}$ ; 煤沥青浸渍温度为  $160 \sim 240^\circ\text{C}$ , 浸渍压力为  $15 \sim 70 \text{MPa}$ , 保压时间为  $1 \sim 5 \text{h}$ ;

步骤(三)、将步骤(二)浸渍中间相沥青或煤沥青后的石墨泡沫进行碳化处理;

步骤(四)、将步骤(三)碳化处理后得到的碳基复合材料放入高温炉中进行高温处理;

步骤(五)、判断高温处理后的复合材料密度是否超过设定阈值, 没有超过设定阈值则返回步骤(二), 增加中间相沥青或煤沥青浸渍时的浸渍压力; 复合材料密度超过设定阈值, 执行步骤(六);

步骤(六)、将碳基复合材料进行超高温石墨化处理, 制备得到高导热石墨泡沫 / 碳复合材料。

2. 根据权利要求1所述的一种高导热石墨泡沫 / 碳复合材料的制备方法, 其特征在于: 所述步骤(三)中碳化处理工艺曲线为: 室温  $\sim 350^\circ\text{C}$ , 升温速率为  $5 \sim 15^\circ\text{C}/\text{min}$ ;  $350 \sim 500^\circ\text{C}$ , 升温速率为  $1 \sim 5^\circ\text{C}/\text{min}$ ;  $500^\circ\text{C}$ , 保温  $1 \sim 10 \text{h}$ ;  $500 \sim 650^\circ\text{C}$ , 升温速率为  $1 \sim 5^\circ\text{C}/\text{min}$ ;  $650^\circ\text{C}$ , 保温  $1 \sim 10 \text{h}$ ;  $650 \sim 900^\circ\text{C}$ , 升温速率为  $3 \sim 5^\circ\text{C}/\text{min}$ ,  $900^\circ\text{C}$ , 保温  $1 \sim 5 \text{h}$ ; 自由降温。

3. 根据权利要求1所述的一种高导热石墨泡沫 / 碳复合材料的制备方法, 其特征在于: 所述步骤(四)中高温处理工艺曲线为: 室温  $\sim 900^\circ\text{C}$ , 升温速率为  $10 \sim 20^\circ\text{C}/\text{min}$ ;  $900 \sim 1200^\circ\text{C}$ , 升温速率为  $5 \sim 10^\circ\text{C}/\text{min}$ ;  $1200^\circ\text{C}$  保温  $1 \sim 5 \text{h}$ ;  $1200^\circ\text{C} \sim$  目标处理温度, 升温速率为  $3 \sim 5^\circ\text{C}/\text{min}$ ; 在目标处理温度下保温  $1 \sim 5 \text{h}$ ; 控制降温速率为  $5 \sim 15^\circ\text{C}/\text{min}$  直到温度降至  $900^\circ\text{C}$  以下;  $900^\circ\text{C}$  以下自由降温; 所述目标处理温度为  $1800^\circ\text{C} \sim 2500^\circ\text{C}$ 。

4. 根据权利要求1所述的一种高导热石墨泡沫 / 碳复合材料的制备方法, 其特征在于: 所述步骤(六)中超高温石墨化处理工艺曲线为: 以  $1 \sim 15^\circ\text{C}/\text{min}$  的速率升温至  $2500^\circ\text{C}$  以上并保温  $1 \sim 10 \text{h}$ , 自由降温。

5. 根据权利要求1所述的一种高导热石墨泡沫 / 碳复合材料的制备方法, 其特征在于: 设定阈值为  $1.3 \text{g/cm}^3$ 。

6. 根据权利要求1所述的一种高导热石墨泡沫 / 碳复合材料的制备方法, 其特征在于: 高导热石墨泡沫 / 碳复合材料的热导率大于  $300 \text{W/m} \cdot \text{K}$ 。

7. 根据权利要求1所述的一种高导热石墨泡沫 / 碳复合材料的制备方法, 其特征在于: 步骤(一)中以中间相沥青为前驱体制备高导热石墨泡沫作为增强基具体为: 采用软化点为  $220 \sim 300^\circ\text{C}$  的中间相沥青发泡成型, 经过碳化和石墨化处理制备高导热石墨泡沫作为增强基。

8. 根据权利要求1所述的一种高导热石墨泡沫 / 碳复合材料的制备方法, 其特征在于: 所述步骤(五)中复合材料密度没有超过设定阈值则返回步骤(二), 增加中间相沥青或煤沥青浸渍时的浸渍压力, 并调高高高温炉中进行高温处理的温度。

9. 一种高导热石墨泡沫 / 碳复合材料, 其特征在于: 以高导热石墨泡沫为增强基, 中间相沥青或煤沥青为基体碳前驱体, 通过 15-70MPa 浸渍、碳化、1800℃~ 2500℃ 高温热处理及超高温石墨化制备得到。

10. 根据权利要求 9 所述的一种高导热石墨泡沫 / 碳复合材料, 其特征在于: 采用权利要求 1 所述的高导热石墨泡沫 / 碳复合材料的制备方法制备获得。

## 一种高导热石墨泡沫 / 碳复合材料及其制备方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种高导热石墨泡沫 / 碳复合材料及其制备方法,属于高导热碳基复合材料制造技术领域。

### 背景技术

[0002] 随着科学技术的迅猛发展,热管理和热耗散成为许多领域发展的关键技术。各种空天飞行器(飞机、导弹、卫星及各类航天器)中都需要精确的电子设备控制系统,以实现自动化及对空天武器的精确控制和制导,这些电子设备需要在特定的温度条件下工作才能满足使用的要求。并且,随微电子技术和制导技术的发展,电子设备集成程度越来越高,能量密度越来越大,产生的热量越来越多,为确保设备稳定工作,需要应用高性能的高导热材料对其进行有效的热管理。空天飞行器的局部高温部件应用环境苛刻,温度高、热应力突出,需要轻质、耐高温的高导热材料发挥热疏导功能,从而简化防热设计,提升飞行器的可靠性。传统的金属(铝、铜)导热材料由于其本身密度较大、热膨胀系数较高、微量杂质导致热导率大幅下降等缺陷,很难满足发展需求。因此,对新型高导热材料的研发至关重要。

[0003] 高导热碳基复合材料具有低密度、高热导率、低热膨胀系数、一定的结构强度、耐高温、耐腐蚀等优异性能,使其成为目前最有应用前景的高导热候选材料,广泛应用于空天飞行器的热管理、热疏导、高能电子等领域,例如电子器件冷却系统、热交换系统、空间低温系统、热能储存系统等,实现相应热管理部件的小型化、装置轻量化、结构紧凑化和运行高效化。

[0004] 现有的高导热石墨泡沫材料,由于其石墨片层结构高度发展,以及其多孔的结构及高开孔率的特点决定了石墨泡沫的力学性能不高,同时其导热性能提高有限,难以满足更高能量密度的热管理器件的应用需求。高导热碳 / 碳复合材料作为新型的高导热碳基复合材料,具有耐高温高强度等特点,但是其增强基为高导热纤维编织预制体,高导热纤维原材料只能进口,且价格昂贵,加上织物编织费用高,周期长,很难批量应用,且随时面临关键原材料高导热纤维进口受限的问题。如何提供一种密度、热导率满足要求且适用于批量生产的复合材料,是本领域亟待解决的问题。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的在于克服现有技术的上述不足,提供一种高导热石墨泡沫 / 碳复合材料的制备方法,适用于批量材料,该材料的密度在  $1.3\text{g}/\text{cm}^3$  以上,热导率可达到  $300\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$  以上。

[0006] 本发明的上述目的主要是通过如下技术方案实现:

[0007] 一种高导热石墨泡沫 / 碳复合材料的制备方法,具体步骤如下:

[0008] 步骤(一)、以中间相沥青为前驱体制备高导热石墨泡沫作为增强基,所述高导热石墨泡沫增强基的密度为  $0.5\sim 0.9\text{g}/\text{cm}^3$ ,热导率大于  $100\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ ,孔隙率在  $39\sim 77\%$ ,开孔率大于  $85\%$ ;

[0009] 步骤(二)、将步骤(一)制备的石墨泡沫增强基进行中间相沥青或煤沥青浸渍;其中中间相沥青浸渍温度为 280-370℃,煤沥青浸渍温度为 160-240℃,浸渍压力为 15-70MPa,保压时间为 1-5h;

[0010] 步骤(三)、将步骤(二)浸渍中间相沥青或煤沥青后的石墨泡沫进行碳化处理;

[0011] 步骤(四)、将步骤(三)碳化处理后得到的碳基复合材料放入高温炉中进行高温处理;

[0012] 步骤(五)、判断复合材料密度是否超过设定阈值,没有超过设定阈值则返回步骤(二),增加中间相沥青或煤沥青浸渍时的浸渍压力;复合材料密度超过设定阈值,执行步骤(六);

[0013] 步骤(六)、将碳基复合材料进行超高温石墨化处理,制备得到高导热石墨泡沫/碳复合材料。

[0014] 上述高导热石墨泡沫/碳复合材料的制备方法中,步骤(三)中碳化处理工艺曲线为:室温~350℃,升温速率为 5~15℃/min;350~500℃,升温速率为 1~5℃/min;500℃,保温 1~10h;500~650℃,升温速率为 1~5℃/min;650℃,保温 1~10h;650~900℃,升温速率为 3~5℃/min,900℃,保温 1~5h;自由降温。

[0015] 上述高导热石墨泡沫/碳复合材料的制备方法中,步骤(四)中高温处理工艺曲线为:室温~900℃,升温速率为 10~20℃/min;900~1200℃,升温速率为 5~10℃/min;1200℃保温 1~5h;1200℃~目标处理温度,升温速率为 3~5℃/min;在目标处理温度下保温 1~5h;控制降温速率为 5~15℃/min 直到温度降至 900℃以下;900℃以下自由降温;所述目标处理温度为 1800℃~2500℃。

[0016] 上述高导热石墨泡沫/碳复合材料的制备方法中,步骤(六)中超高温石墨化处理工艺曲线为:以 1~15℃/min 的速率升温至 2500℃以上并保温 1~10h,自由降温。

[0017] 优选的,设定阈值为 1.3g/cm<sup>3</sup>。

[0018] 优选的,高导热石墨泡沫/碳复合材料的热导率大于 300W/m·K。

[0019] 优选的,步骤(一)中以中间相沥青为前驱体制备高导热石墨泡沫作为增强基具体为:采用软化点为 220-300℃的中间相沥青发泡成型,经过碳化和石墨化处理制备高导热石墨泡沫作为增强基。

[0020] 优选的,所述步骤(五)中复合材料密度没有超过设定阈值则返回步骤(二),增加中间相沥青或煤沥青浸渍时的浸渍压力,并调高高温炉中进行高温处理的温度。

[0021] 同时一种高导热石墨泡沫/碳复合材料,以高导热石墨泡沫为增强基,中间相沥青或煤沥青为基体碳前驱体,通过 15-70MPa 浸渍、碳化、1800℃~2500℃高温热处理及 2500℃以上超高温石墨化制备得到。

[0022] 优选的,采用所述的高导热石墨泡沫/碳复合材料的制备方法制备获得。

[0023] 本发明与现有技术相比具有如下有益效果:

[0024] (1) 本发明采用中间相沥青为前驱体,通过发泡成型-碳化-石墨化制备具有高导热率的石墨泡沫作为增强基;然后以中间相沥青或煤沥青为基体碳前驱体,通过中高压浸渍/碳化技术对石墨泡沫增强基进行致密化;最后对获得的材料进行 2500℃以上的高温石墨化处理,制备得到密度在 1.3g/cm<sup>3</sup>以上,热导率大于 300W/m·K,压缩强度可达到 9MPa 以上的高导热石墨泡沫/碳复合材料,其热导率和压缩强度是石墨泡沫材料的 2 倍和 3 倍

以上,相比高导热碳 / 碳复合材料,制备成本和周期也大大压缩,该工艺同时也可实现大尺寸高导热石墨泡沫 / 碳复合材料的制备。

[0025] (2) 本发明采用密度为  $0.5 \sim 0.9\text{g/cm}^3$ , 热导率大于  $100\text{W/m}\cdot\text{K}$ , 孔隙率在  $39 \sim 77\%$ , 开孔率大于  $85\%$  的高导热石墨泡沫作为增强基, 这个密度范围的石墨泡沫具有较好的力学性能, 保证了增强基能够在中高压条件下与基体碳复合且不易开裂, 增强基高的孔隙率和开孔率能够提升浸渍效率, 同时增强基具有高的热导率有助于最终的复合材料热导率的提升。

[0026] (3) 本发明采用中间相沥青为高导热前驱体, 其优异的取向性和易于石墨化的结构能够大幅提升最终复合材料的热导率; 采用煤沥青为基体碳前驱体, 在制备成本上要低于中间相沥青前驱体, 同时也能满足部分实际需求; 相对于树脂类前驱体, 采用中间相沥青或煤沥青为基体碳前驱体, 更易于制备高热导率的碳基复合材料。

[0027] (4) 本发明中采用了较慢的碳化升温速率和特定的高温开孔处理温度, 能够避免材料碳化和高温处理过程中部分轻组分释放导致的开裂问题, 同时释放应力; 采用超高石墨化温度和较慢的石墨化升温速率, 有助于石墨片层的取向有序化和石墨晶粒的长大, 提高了最终复合材料的热导率。

[0028] (5) 本发明可以依据不同的应用需求, 选择不同密度、孔隙结构和性能的石墨泡沫增强基材料, 调整基体碳前驱体种类和浸渍 / 碳化工工艺, 可以实现不同密度、导热性能和结构强度的高导热石墨泡沫 / 碳复合材料的制备。通过调整浸渍压力、高温处理温度、重复次数能够获得不同的密度的复合材料, 根据实际所需复合材料密度要求确定重复次数, 该方法灵活有效, 能够应用于不同环境需求的热管理、热疏导系统, 实用性较强。

[0029] (6) 本发明可应用于大尺寸高导热石墨泡沫 / 碳复合材料的制备, 与传统的热管理系统采用的金属材料相比, 具有质轻、高热导率、线膨胀系数低等特点, 可应用于空天飞行器、深空探测、卫星及高能激光武器等的热管理、热疏导系统, 推动更高能量密度电子器件的应用, 实现装备的轻量化和长时高效可靠运行。

[0030] (7) 本发明所制备的高导热石墨泡沫 / 碳复合材料由于其密度较低, 还可以作为增强基进一步与其他材料复合, 赋予其新的结构和功能, 拓展其应用领域。

## 附图说明

[0031] 图 1 为本发明高导热石墨泡沫 / 碳复合材料制备方法流程图。

## 具体实施方式

[0032] 下面结合附图和具体实施例对本发明作进一步详细的描述:

[0033] 本发明采用中间相沥青为前驱体, 通过发泡成型 - 碳化 - 石墨化制备具有高热导率的石墨泡沫作为增强基; 然后以中间相沥青或煤沥青为基体碳前驱体, 通过中高压浸渍 / 碳化技术对石墨泡沫增强基进行致密化; 最后对获得的材料进行  $2500^\circ\text{C}$  以上的高温石墨化处理, 制备得到密度在  $1.3\text{g/cm}^3$  以上, 热导率大于  $300\text{W/m}\cdot\text{K}$  的高导热石墨泡沫 / 碳复合材料。具体步骤如下:

[0034] 步骤 (一)、以中间相沥青为前驱体, 通过发泡成型 - 碳化 - 石墨化制备高导热石墨泡沫作为增强基, 其密度为  $0.5 \sim 0.9\text{g/cm}^3$ , 热导率大于  $100\text{W/m}\cdot\text{K}$ , 孔隙率在  $39 \sim 77\%$ ,

开孔率大于 85%。

[0035] 步骤(二)、将步骤(一)制备的石墨泡沫放入沥青浸渍罐中进行中间相沥青或煤沥青浸渍;其中中间相沥青浸渍温度为 280-370℃,煤沥青浸渍温度为 160-240℃,浸渍压力为 15-70MPa,保压时间为 1-5h。

[0036] 步骤(三)、将步骤(二)浸渍中间相沥青或煤沥青后的石墨泡沫放入碳化炉中进行碳化处理。

[0037] 碳化处理的工艺曲线为:室温~350℃,升温速率为 5~15℃/min;350~500℃,升温速率为 1~5℃/min;500℃,保温 1~10h;500~650℃,升温速率为 1~5℃/min;650℃,保温 1~10h;650~900℃,升温速率为 3~5℃/min,900℃,保温 1~5h;自由降温。

[0038] 步骤(四)、将步骤(三)碳化处理后得到的碳基复合材料放入高温炉中进行高温开孔处理;

[0039] 高温处理工艺曲线为:室温~900℃,升温速率为 10~20℃/min;900~1200℃,升温速率为 5~10℃/min;1200℃保温 1~5h;1200℃~目标处理温度,升温速率为 3~5℃/min;在目标处理温度下保温 1~5h;控制降温速率为 5~15℃/min 直到温度降至 900℃以下;900℃以下自由降温;所述目标处理温度为 1800℃~2500℃。

[0040] 步骤(五)、根据材料应用需求,重复步骤(二)~步骤(四),通过调节中间相沥青或煤沥青浸渍时的浸渍压力,可以获得不同密度的碳基复合材料。

[0041] 步骤(六)、将碳基复合材料进行 2500℃以上超高温石墨化处理,制备得到密度在 1.3g/cm<sup>3</sup>以上,热导率大于 300W/m·K 的高导热石墨泡沫/碳复合材料。

[0042] 超高温石墨化处理工艺曲线为:以 1~15℃/min 的速率升温至 2500℃以上并保温 1~10h,自由降温。

[0043] 实施例 1

[0044] (1)、采用软化点为 275℃的中间相沥青,在压力为 7.0MPa、温度为 330℃条件下发泡成型,通过 900℃碳化和 3000℃石墨化制备高导热石墨泡沫作为增强基,所制备石墨泡沫增强基密度为 0.60g/cm<sup>3</sup>,热导率为 138W/m·K,孔隙率为 73%,开孔率大于 90%。

[0045] (2)、将步骤(1)中制备的石墨泡沫增强基放入煤沥青浸渍罐中,石墨泡沫周围用煤沥青包埋,合盖升温至 200℃并抽真空至 -0.1MPa,保温保压 1h 后充压至 15MPa,保温保压 4 小时后自由降温。

[0046] (3)、将步骤(2)中浸渍煤沥青后的样品放入碳化炉中进行常压碳化,碳化工艺曲线为:室温~350℃,升温速率 10℃/min;350~500℃,升温速率 1℃/min;500℃,保温 3h;500~650℃,升温速率 1℃/min;650℃,保温 5h;650~900℃,升温速率 3℃/min,900℃,保温 3h;自由降温。

[0047] (4)、将步骤(3)中碳化后的样品放入高温炉中进行高温处理,高温处理工艺曲线为:室温~900℃,升温速率 10℃/min;900~1200℃,升温速率 5℃/min;1200℃保温 3h;1200℃~2000℃,升温速率 3℃/min;2000℃,保温 3h;控制降温速率 10℃/min 直到温度降至 900℃以下;900℃以下自由降温。

[0048] (5)、重复步骤(2)和步骤(3),浸渍压力达到 50MPa,保温保压 3h 后自由降温。

[0049] (6)、重复步骤(4),最高热处理温度调整为 2300℃,此时材料密度达到 1.38g/cm<sup>3</sup>。

[0050] (7)、将步骤(6)中材料放入超高温石墨化炉中进行超高温石墨化处理,以 $1\sim 5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速率升温至 $3000^{\circ}\text{C}$ 并保温 $10\text{h}$ ,随后自由降温,完成石墨化处理,即制备得到高导热石墨泡沫/碳复合材料。

[0051] 高导热石墨泡沫/碳复合材料最终密度为 $1.35\text{g}/\text{cm}^3$ ,热导率为 $304\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ ,压缩强度为 $9.0\text{MPa}$ 。

[0052] 实施例 2

[0053] (1)、采用软化点为 $275^{\circ}\text{C}$ 的中间相沥青,在压力为 $7.5\text{MPa}$ 、温度为 $330^{\circ}\text{C}$ 条件下发泡成型,通过 $900^{\circ}\text{C}$ 碳化和 $3000^{\circ}\text{C}$ 石墨化制备高导热石墨泡沫作为增强基,所制备石墨泡沫增强基密度为 $0.65\text{g}/\text{cm}^3$ ,热导率为 $152\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ ,孔隙率为 $71\%$ ,开孔率大于 $90\%$ 。

[0054] (2)、将步骤(1)中制备的石墨泡沫增强基放入中间相沥青浸渍罐中,石墨泡沫周围用中间相沥青包埋,合盖升温至 $330^{\circ}\text{C}$ 并抽真空至 $-0.1\text{MPa}$ ,保温保压 $1\text{h}$ 后充压至 $25\text{MPa}$ ,保温保压 $4$ 小时后自由降温。

[0055] (3)、将步骤(2)中浸渍中间相沥青后的样品放入碳化炉中进行常压碳化,碳化工工艺曲线为:室温 $\sim 350^{\circ}\text{C}$ ,升温速率 $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ;  $350\sim 500^{\circ}\text{C}$ ,升温速率 $3^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ;  $500^{\circ}\text{C}$ ,保温 $5\text{h}$ ;  $500\sim 650^{\circ}\text{C}$ ,升温速率 $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ;  $650^{\circ}\text{C}$ ,保温 $5\text{h}$ ;  $650\sim 900^{\circ}\text{C}$ ,升温速率 $3^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ,  $900^{\circ}\text{C}$ ,保温 $3\text{h}$ ;自由降温。

[0056] (4)、将步骤(3)中碳化后的试样放入高温炉中进行高温处理,高温处理工艺曲线为:室温 $\sim 900^{\circ}\text{C}$ ,升温速率 $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ;  $900\sim 1200^{\circ}\text{C}$ ,升温速率 $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ;  $1200^{\circ}\text{C}$ 保温 $2\text{h}$ ;  $1200^{\circ}\text{C}\sim 2300^{\circ}\text{C}$ ,升温速率 $3^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ;  $2300^{\circ}\text{C}$ ,保温 $4\text{h}$ ;控制降温速率 $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 直到温度降至 $900^{\circ}\text{C}$ 以下;  $900^{\circ}\text{C}$ 以下自由降温。

[0057] (5)、重复步骤(2)和步骤(3),浸渍压力达到 $50\text{MPa}$ ,保温保压 $3\text{h}$ 后自由降温。

[0058] (6)、重复步骤(4),最高热处理温度调整为 $2500^{\circ}\text{C}$ ,此时材料密度达到 $1.45\text{g}/\text{cm}^3$ 。

[0059] (7)、将材料放入超高温石墨化炉中进行超高温石墨化处理,以 $1\sim 5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速率升温至 $3000^{\circ}\text{C}$ 并保温 $10\text{h}$ ,随后自由降温,完成石墨化处理,即制得高导热石墨泡沫/碳复合材料。

[0060] 高导热石墨泡沫/碳复合材料最终密度为 $1.42\text{g}/\text{cm}^3$ ,热导率为 $351\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ ,压缩强度为 $9.5\text{MPa}$ 。

[0061] 以上所述,仅为本发明最佳的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内,可轻易想到的变化或替换,都应涵盖在本发明的保护范围之内。

[0062] 本发明说明书中未作详细描述的内容属于本领域专业技术人员的公知技术。



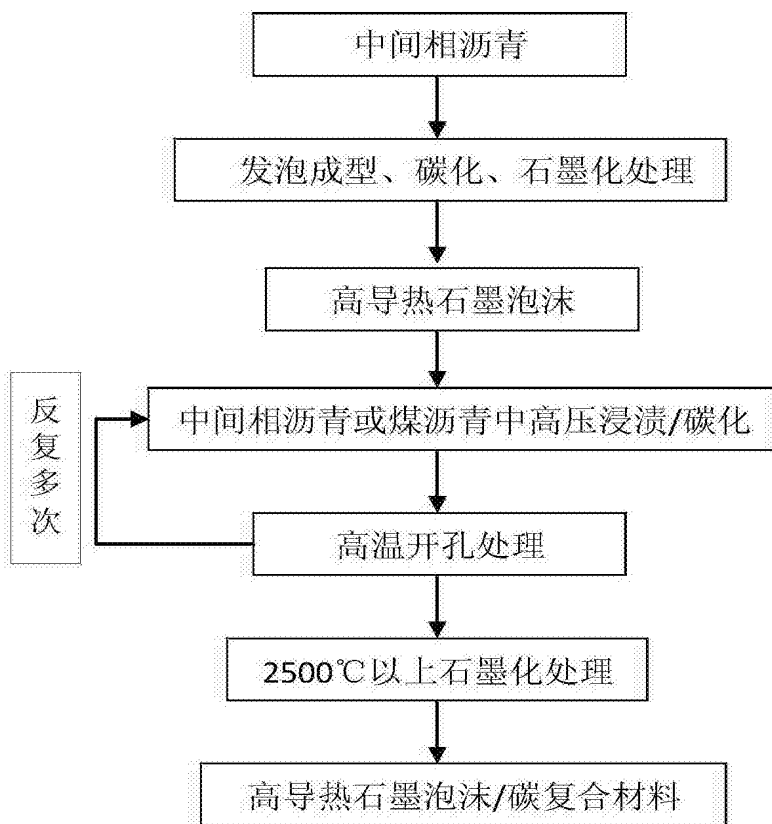


图 1