



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115926463 A

(43) 申请公布日 2023.04.07

(21) 申请号 202211420816.0

(22) 申请日 2022.11.11

(71) 申请人 中国科学院力学研究所

地址 100190 北京市海淀区北四环西路15号

(72) 发明人 袁武 杨佩新 宋宏伟

(74) 专利代理机构 北京和信华成知识产权代理  
事务所(普通合伙) 11390

专利代理师 胡剑辉

(51) Int. Cl.

C08L 83/04 (2006.01)

C08K 7/14 (2006.01)

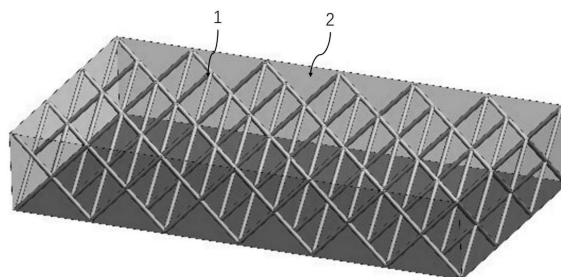
权利要求书1页 说明书4页 附图5页

(54) 发明名称

一种点阵增强的热防护结构

(57) 摘要

本发明公开了一种点阵增强的热防护结构,包括增强部和填充部,增强部由纤维遵循点阵结构连接形成,填充部由烧蚀材料填充所述增强部的孔隙后固化形成。由于纤维材料的密度和导热系数均小于烧蚀材料,从而降低了热防护结构的重量及其背表面的温度;同时,在增强部的约束下,结构荷载主要由增强部承担,从而提高热防护结构的承载效率与缓冲吸能特性;并且,点阵结构的纤维材料承受剪切荷载时不仅与烧蚀材料一起发挥作用,点阵结构与烧蚀材料之间的界面剪切也保护点阵结构与烧蚀材料不发生脱粘,从而提高热防护结构的抗剪切性能。



1. 一种点阵增强的热防护结构,其特征在于,包括:  
增强部(1),由纤维遵循点阵结构连接形成;  
填充部(2),由烧蚀材料填充所述增强部(1)的孔隙后固化形成。
2. 根据权利要求1所述的一种点阵增强的热防护结构,其特征在于,  
所述点阵结构包括若干邻接的立方八面体。
3. 根据权利要求1或2所述的一种点阵增强的热防护结构,其特征在于,  
所述增强部(1)包括若干杆件(11),所述杆件(11)具有长度和2个端部;  
多个所述杆件(11)的端部连接于一个节点(12),并且在空间上呈周期性规则排列。
4. 根据权利要求1所述的一种点阵增强的热防护结构,其特征在于,  
所述纤维是陶瓷纤维、碳纤维和玻璃纤维中的任一种。
5. 根据权利要求1或4所述的一种点阵增强的热防护结构,其特征在于,  
所述烧蚀材料是硅橡胶、有机硅树脂和酚醛树脂中的任一种。
6. 根据权利要求5所述的一种点阵增强的热防护结构,其特征在于,  
所述烧蚀材料中添加有短切石英纤维、短切碳纤维、酚醛空心微球、玻璃空心微球和辐射剂中的任一种或者多种的组合。

## 一种点阵增强的热防护结构

### 技术领域

[0001] 本发明涉及新型耐火材料领域,具体涉及一种点阵增强的热防护结构。

### 背景技术

[0002] 本发明所公开的主题涉及到的热防护结构的相关技术公开于:热防护用轻质烧蚀材料现状与发展·哈尔滨理工大学学报。

[0003] 目前普遍采用的轻质烧蚀材料,密度大都在 $0.2\sim 0.9\text{g}/\text{cm}^3$ 范围之内。在高熔点陶瓷纤维、碳纤维的长纤维毡、细针穿刺或短切纤维网络骨架等纤维化基体内部分浸渍多孔有机硅树脂或酚醛树脂,这种方法构成的复合材料称为纤维化基体浸渍轻质烧蚀材料;在玻璃纤维/酚醛、高硅氧/酚醛或碳/酚醛蜂窝内填充硅橡胶、有机硅树脂或酚醛树脂构成的复合材料以及在填充相内添加短切石英纤维或短切碳纤维、酚醛空心微球、玻璃空心微球和辐射剂等多种功能填料,称为蜂窝增强轻质烧蚀材料。

[0004] 返回舱的隔热大底在再入时会面临严峻的烧蚀问题、高超声速气流剪切引起的剥蚀破坏等威胁,从而对隔热大底的多功能一体化、轻量化和可靠性提出了要求。

[0005] 现有的隔热大底结构往往采用蜂窝增强烧蚀材料的结构形式,容易发生气动剥蚀的行为,并且制备过程比较复杂对烧蚀材料的要求较高。

### 发明内容

[0006] 本发明的目的在于提供一种点阵增强的热防护结构,以解决现有的轻质烧蚀材料被高超声速气流剪切时容易发生气动剥蚀行为的技术问题。

[0007] 为解决上述技术问题,本发明具体提供下述技术方案:

[0008] 一种点阵增强的热防护结构,包括:增强部,由纤维遵循点阵结构连接形成;填充部,由烧蚀材料填充所述增强部的孔隙后固化形成。

[0009] 进一步地,所述点阵结构包括若干邻接的立方八面体。

[0010] 进一步地,所述增强部包括若干杆件,所述杆件具有长度和2个端部,多个所述杆件的端部连接于一个节点,并且在空间上呈周期性规则排列。

[0011] 进一步地,所述纤维是陶瓷纤维、碳纤维和玻璃纤维中的任一种。

[0012] 进一步地,所述烧蚀材料是硅橡胶、有机硅树脂和酚醛树脂中的任一种。

[0013] 进一步地,所述烧蚀材料中添加有短切石英纤维、短切碳纤维、酚醛空心微球、玻璃空心微球和辐射剂中的任一种或者多种的组合。

[0014] 本申请与现有技术相比较具有如下有益效果:

[0015] 提供一种点阵增强的热防护结构,通过将烧蚀材料填充至由纤维材料遵循点阵结构连接形成的增强部后固化形成;由于纤维材料的密度和导热系数均小于烧蚀材料,从而降低了热防护结构的重量及其背表面的温度;同时,在增强部的约束下,结构荷载主要由增强部承担,从而提高热防护结构的承载效率与缓冲吸能特性;并且,点阵结构的纤维材料承受剪切荷载时不仅与烧蚀材料一起发挥作用,点阵结构与烧蚀材料之间的界面剪切也保护

点阵结构与烧蚀材料不发生脱粘,从而提高热防护结构的抗剪切性能。

### 附图说明

[0016] 为了更清楚地说明本发明的实施方式或现有技术中的技术方案,下面将对实施方式或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍。显而易见地,下面描述中的附图仅仅是示例性的,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据提供的附图引伸获得其它的实施附图。

[0017] 图1为本发明实施例的立体透视图,图中填料为透明状态;

[0018] 图2为本发明实施例的内部结构图;

[0019] 图3为本发明实施例的多孔基体的结构示意图;

[0020] 图4为本发明实施例的相同弯曲荷载下点阵增强烧蚀材料和等厚度的烧蚀材料变形对比的统计图;

[0021] 图5为本发明实施例的相同压缩荷载下点阵增强烧蚀材料和等厚度的烧蚀材料变形与吸能特性的统计图;

[0022] 图6为本发明实施例的相同热流密度下点阵增强烧蚀材料和等厚度的烧蚀材料背表面温度场变化的统计图;

[0023] 图7为本发明实施例的相同剪切荷载下点阵增强烧蚀材料和烧蚀材料的抗剪强度变化的统计图;

[0024] 图中的标号分别表示如下:

[0025] 1-增强部;11-杆件;12-结点;

[0026] 2-填充部。

### 具体实施方式

[0027] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0028] 如图1-3所示,提供点阵增强的热防护结构的实施例,以解决上述技术问题。

[0029] 其主要结构包括增强部1和填充部2,增强部1由纤维遵循点阵结构连接形成,填充部2由烧蚀材料填充所述增强部1的孔隙后固化形成。

[0030] 点阵结构的增强部1具有重量轻、高孔隙率、高比刚度和高比强度的优点,利用增强部1替代填充部2的一部分能够降低填充部2的重量,同时提升填充部2的抗剥蚀性能。

[0031] 根据不同的服役环境,还可以对增强部1的空间点阵结构进行设计,利用不同的空间点阵结构组合形式,以获得适用于不同环境的热防护结构。

[0032] 热防护结构的生产方法是:

[0033] 通过增材打印形成增强部1,或者,通过在2个板上钻成排的孔,将纤维穿过孔后缝合形成增强部1,通过增加2个板之间的距离可以张紧和拉直纤维。

[0034] 根据热防护结构的形状设计模具,将增强部1放置到模具中,然后将烧蚀材料灌注到模具内部,烧蚀材料填充模具和增强部1内部的孔隙后固化形成填充部2。

- [0035] 进一步地：
- [0036] 所述点阵结构包括若干邻接的立方八面体。
- [0037] 进一步地：
- [0038] 所述增强部1包括若干杆件11,所述杆件11具有长度和2个端部,多个所述杆件11的端部连接于一个节点12,并且在空间上呈周期性规则排列。
- [0039] 杆件11和节点12均在空间上呈周期性规则排列,若干杆件11彼此连接成一体件,从而形成了增强部1,杆件11之间的间隙就是增强部1的孔隙。
- [0040] 可选的：
- [0041] 杆件11构成若干邻接的立方八面体。
- [0042] 可选的：
- [0043] 所述纤维是陶瓷纤维、碳纤维和玻璃纤维中的任一种。
- [0044] 本实施例中,增强部1的材料是高硅氧玻璃纤维。
- [0045] 将遵循点阵结构的高硅氧玻璃纤维作为增强部1,其孔隙率高,易于填充烧蚀材料,并且能够提高烧蚀材料的抗剥蚀性能,提高烧蚀材料的抗弯、抗压缩等承载性能,提高烧蚀材料的吸能特性,还能降低烧蚀材料背表面温度。
- [0046] 可选的：
- [0047] 所述烧蚀材料是硅橡胶、有机硅树脂和酚醛树脂中的任一种。
- [0048] 进一步地：
- [0049] 所述烧蚀材料中添加有短切石英纤维、短切碳纤维、酚醛空心微球、玻璃空心微球和辐射剂中的任一种或者多种的组合。
- [0050] 本实施例中,烧蚀材料是碳纤维增强型苯基硅橡胶。
- [0051] 进一步地：
- [0052] 如图4-7所示,本实施例中将点阵增强的热防护结构与等厚度的烧蚀材料进行对比,以得出点阵增强的烧蚀材料复合体优于烧蚀材料的结论。
- [0053] 其中：
- [0054] 图4和图5给出了在相同弯曲荷载和压缩荷载条件下点阵增强烧蚀材料和等厚度的烧蚀材料的变形情况的对比。
- [0055] 可以看出,点阵增强烧蚀材料复合体的承载能力是远大于只有烧蚀材料的结构的。
- [0056] 随着加载时间的增大,只有烧蚀材料的结构的变形越来越大,点阵增强烧蚀材料复合结构的变形幅度远小于只有烧蚀材料的结构。
- [0057] 这是因为点阵结构的骨架支撑作用。
- [0058] 在点阵夹芯的约束下,结构荷载主要由点阵结构承担。
- [0059] 此时点阵增强烧蚀材料复合体的质量略低于只有烧蚀材料的结构的质量。
- [0060] 这是因为玻璃纤维的材料密度要小于硅橡胶基烧蚀材料的密度,随着点阵结构相对密度的增大,点阵增强烧蚀材料复合体承载能力增强,但是质量将进一步下降。
- [0061] 因此,将玻璃纤维点阵作为烧蚀材料的增强结构,可以降低结构质量,并且显著提高结构承载效率与缓冲吸能特性。
- [0062] 图6给出了在相同热流密度条件下点阵增强烧蚀材料和等厚度的烧蚀材料的背表

面温度场的变化情况。

[0063] 可以看出,点阵增强烧蚀材料复合体的隔热能力是优于只有烧蚀材料的结构的隔热能力。

[0064] 随着加载时间的增大,只有烧蚀材料的结构和点阵增强烧蚀材料复合体的背表面温度越来越高,但是点阵增强烧蚀材料复合体的升温幅度是小于只有烧蚀材料的结构。

[0065] 这是因为玻璃纤维点阵结构的隔热作用。

[0066] 因为高硅氧玻璃纤维的导热系数是低于硅橡胶基烧蚀材料的导热系数,在玻璃纤维点阵夹芯的作用下,结构不会出现热短路效应,并且背表面的温度降低。

[0067] 可以看出,在相同的热流密度条件下,玻璃纤维点阵增强烧蚀材料复合体的烧蚀隔热能力是优于只有烧蚀材料的结构。

[0068] 图7给出了相同剪切荷载下点阵增强烧蚀材料和烧蚀材料的抗剪强度的变化情况。

[0069] 可以看出,点阵增强烧蚀材料复合体的抗剪切能力是优于只有烧蚀材料的结构的抗剪切能力。

[0070] 具体计算过程如下:烧蚀材料在剪切荷载在的承载能力为,点阵增强烧蚀材料复合体的剪切强度为。

[0071] 复合体的剪切强度由三部分组成:烧蚀材料的剪切强度、点阵的剪切强度和点阵和烧蚀材料之间相互作用引起的剪切强度。

[0072] 那么点阵增强烧蚀材料复合体的剪切强度可以表示为:

$$[0073] \quad \tau_c = \tau_{am} + \tau_l + \tau_i \quad (1)$$

[0074] 点阵和烧蚀材料之间的相互作用主要是点阵和烧蚀材料之间的界面结合强度引起的。

[0075] 那么根据复合材料界面失效原理,点阵和烧蚀材料之间相互作用引起的剪切强度可以表示为:

$$[0076] \quad \tau_i = \frac{\tau \pi r}{2l_0 (\cos 2\omega + 1)} \quad (2)$$

[0077] 由公式(1)和公式(2)给出在相同剪切荷载条件下只有烧蚀材料和点阵增强烧蚀材料复合体的承载能力的变化情况,随着点阵结构相对密度的增大,复合体与只有烧蚀材料结构的抗剪强度之比越来越大。

[0078] 这是因为点阵作为烧蚀材料的增强体,在结构承受剪切荷载时不仅与烧蚀材料一起发挥作用,并且点阵与烧蚀材料之间的界面剪切也保护点阵与烧蚀材料不发生脱粘。

[0079] 以上实施例仅为本发明的示例性实施例,不用于限制本发明,本发明的保护范围由权利要求书限定。本领域技术人员可以在本发明的实质和保护范围内,对本发明做出各种修改或等同替换,这种修改或等同替换也应视为本发明实施例的落在本发明的保护范围内。

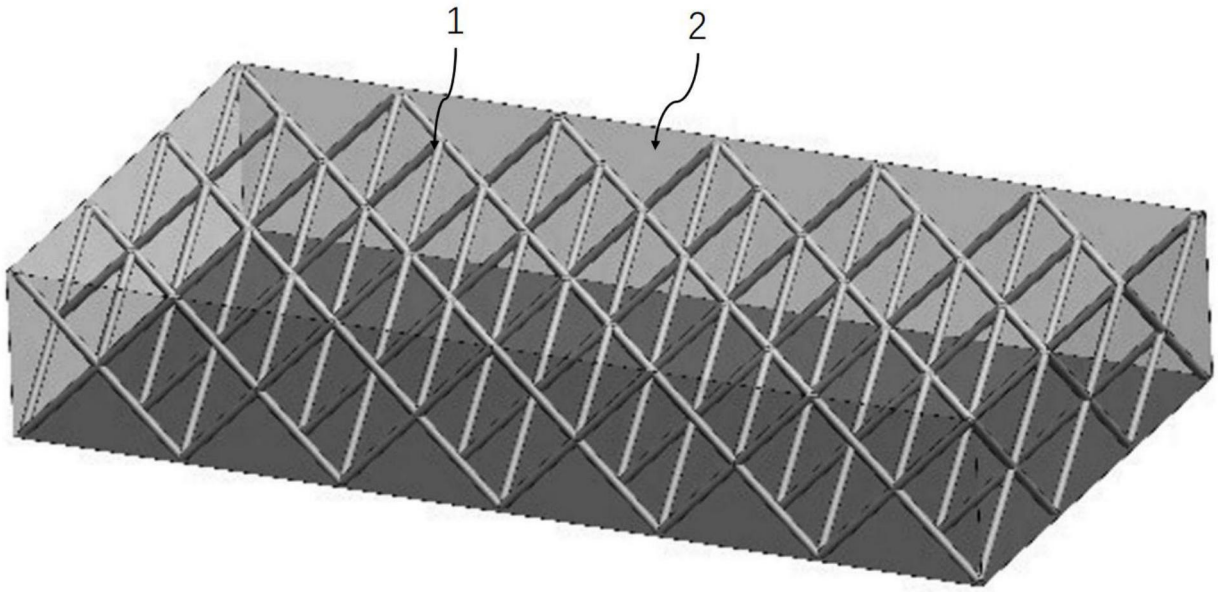


图1

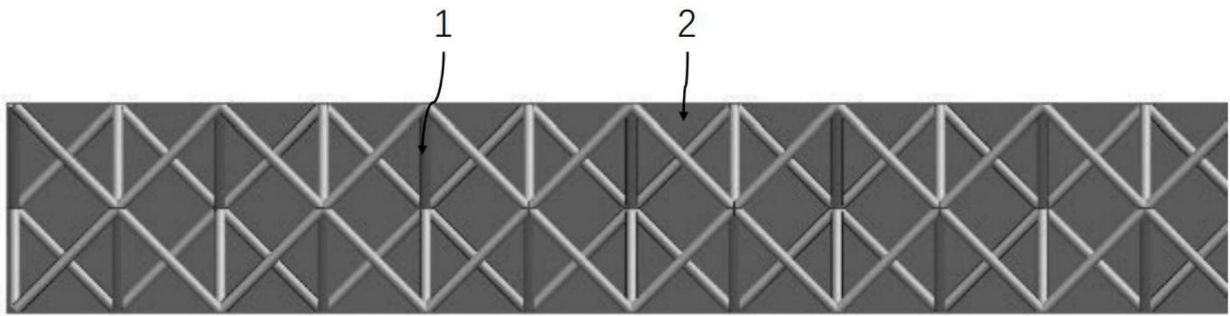


图2

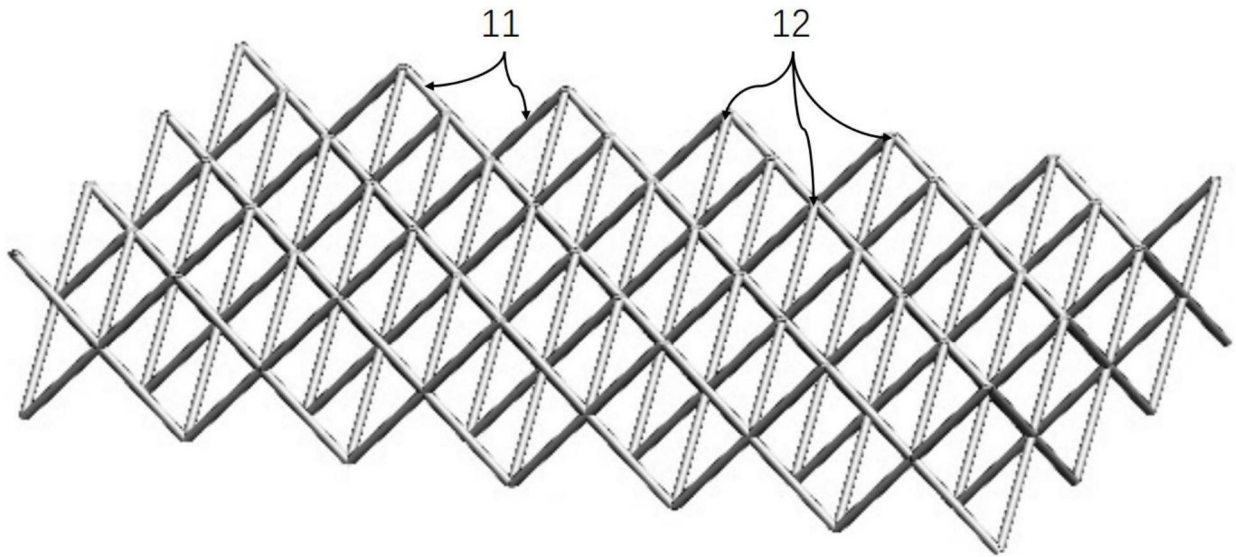


图3

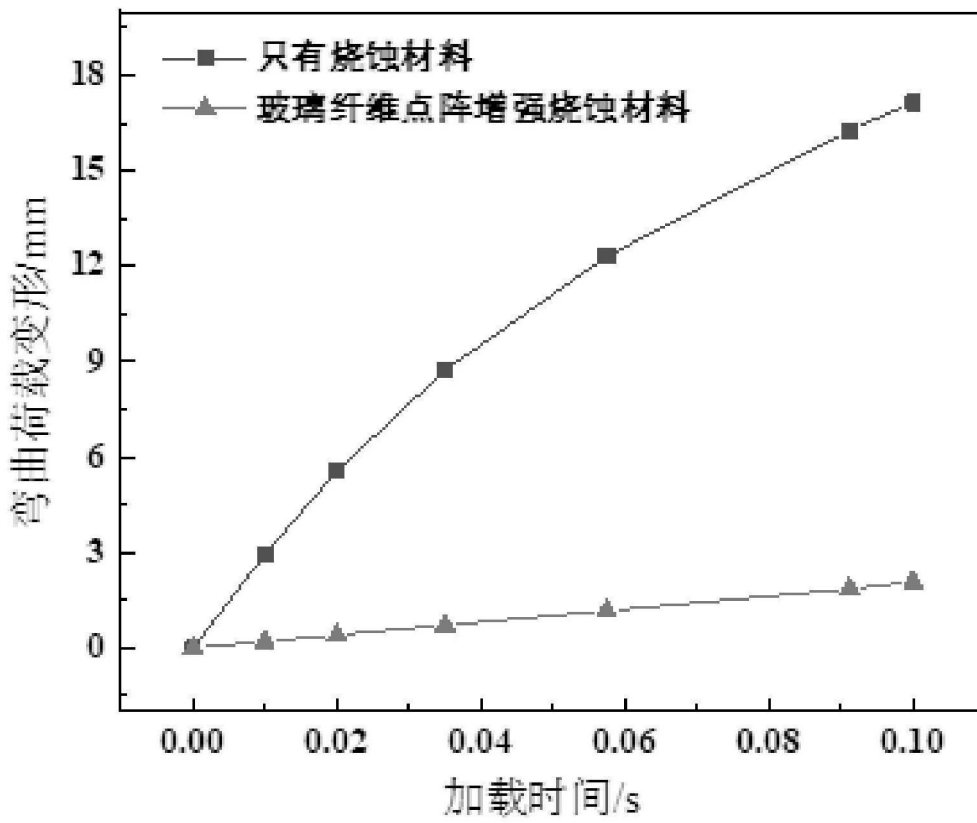


图4



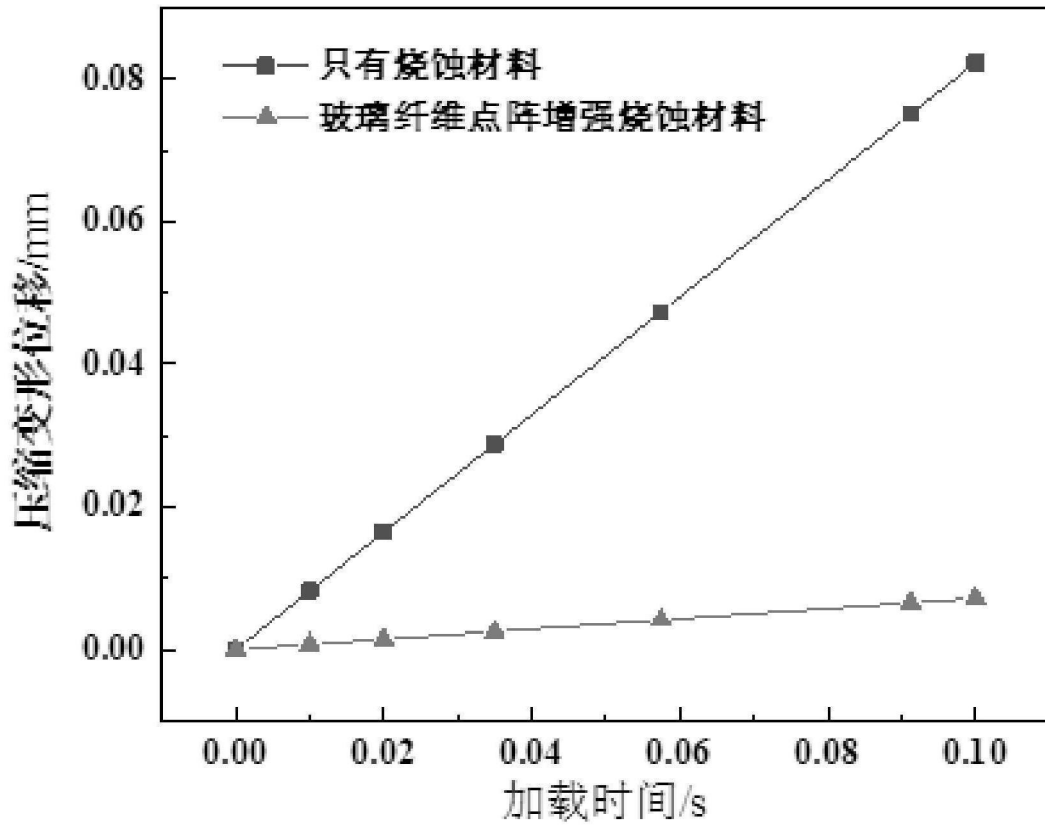


图5

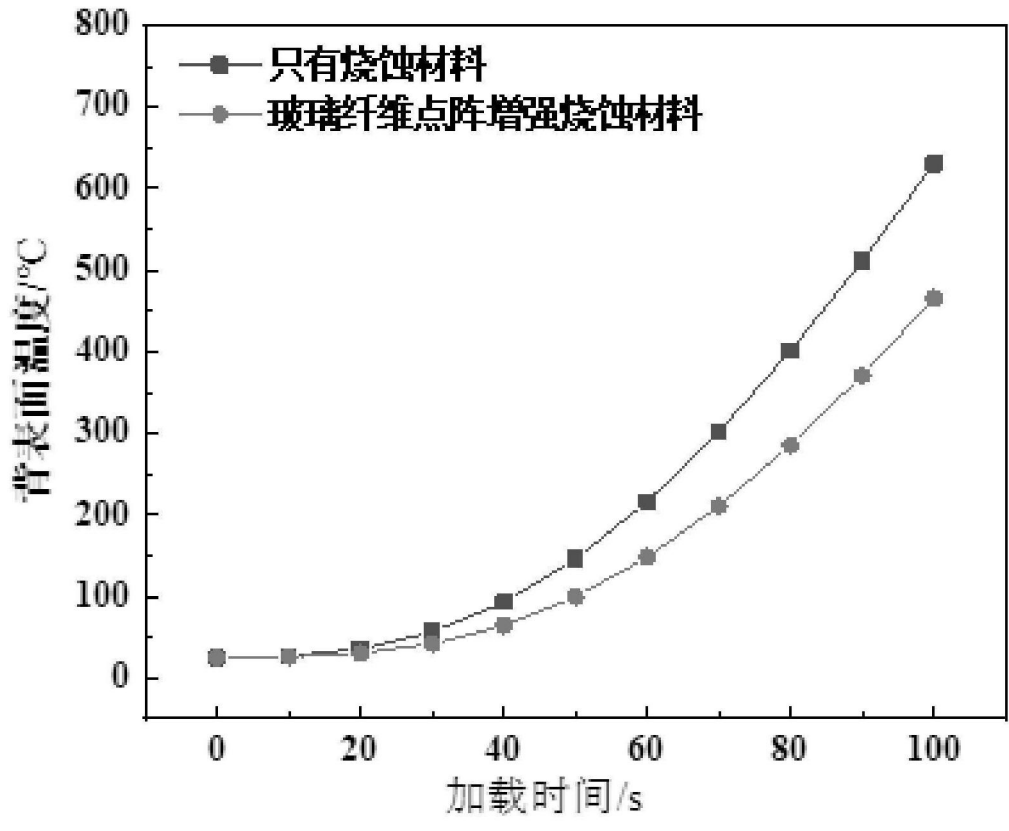


图6

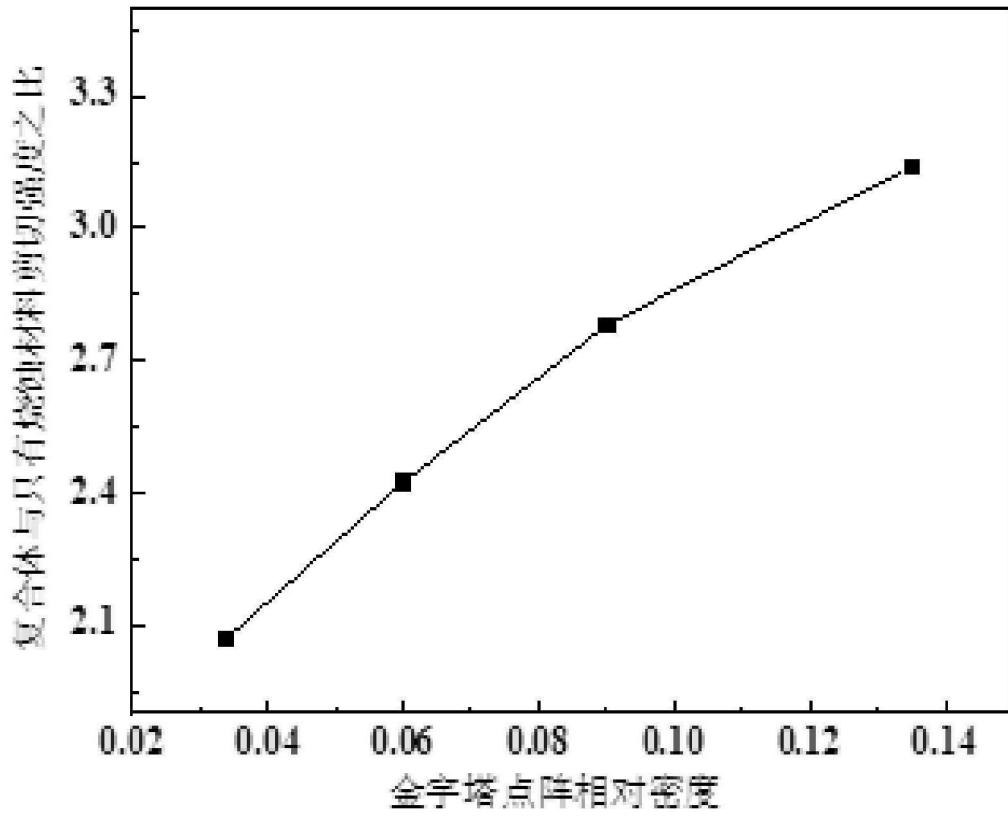


图7