



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 119463563 B

(45) 授权公告日 2025. 04. 29

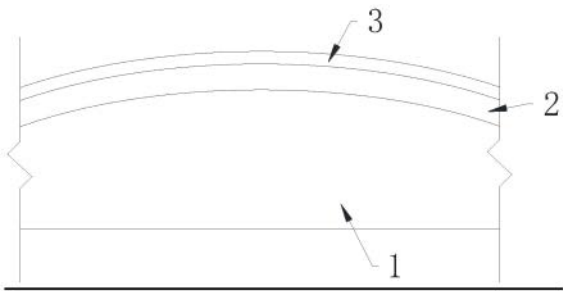
(21) 申请号 202510038559.1
(22) 申请日 2025.01.10
(65) 同一申请的已公布的文献号
 申请公布号 CN 119463563 A
(43) 申请公布日 2025.02.18
(73) 专利权人 安徽壹石通材料科技股份有限公司
 地址 233400 安徽省蚌埠市怀远县经济开发区金河路10号
(72) 发明人 汪强 胡金刚 蒋学鑫
(74) 专利代理机构 合肥中博知信知识产权代理有限公司 34142
 专利代理师 管秋香
(51) Int. Cl.
 C09D 5/18 (2006.01)

C09D 183/04 (2006.01)
C09D 163/00 (2006.01)
C09D 7/61 (2018.01)
H01M 50/229 (2021.01)
H01M 50/249 (2021.01)
H01M 50/204 (2021.01)
H01M 50/24 (2021.01)
(56) 对比文件
 CN 119220174 A, 2024.12.31
 审查员 鲁慧

权利要求书1页 说明书8页 附图4页

(54) 发明名称
 一种梯度陶瓷化膨胀型防火涂料及其制备方法与应用
(57) 摘要

本发明公开了一种梯度陶瓷化膨胀型防火涂料及其制备方法与应用,涉及防火涂料技术领域,所述梯度陶瓷化膨胀型防火涂料包括成膜物质、阻燃剂10~50%、陶瓷化粉体20~50%、增强纤维0~10%、助剂0~10%;所述陶瓷化粉体由至少三种不同熔融温度的玻璃粉组成,其中,第一玻璃粉、第二玻璃粉和第三玻璃粉的重量比为(1~6):(1~6):(1~6),以便涂层在火灾中可形成梯度陶瓷化的膨胀层。与现有技术相比,本发明的陶瓷化膨胀层在高温下不发生熔滴、破损等现象,可以为金属基材提供长时间稳定可靠的热防护。



1. 一种梯度陶瓷化膨胀型防火涂料,其特征在于,所述梯度陶瓷化膨胀型防火涂料包括以下重量百分比的组分:

成膜物质	20~50%
阻燃剂	10~50%
陶瓷化粉体	20~50%
增强纤维	0~10%
助剂	0~10%;

所述陶瓷化粉体包含第一玻璃粉、第二玻璃粉和第三玻璃粉;

所述第一玻璃粉的初始熔点为400~600℃;

所述第二玻璃粉的初始熔点为601~900℃;

所述第三玻璃粉的初始熔点为901~1100℃;

所述梯度陶瓷化膨胀型防火涂料中第一玻璃粉、第二玻璃粉和第三玻璃粉的总重量百分比为15~45%;

所述成膜物质为环氧有机硅树脂和选自环氧树脂、丙烯酸树脂、酚醛树脂、聚氨酯树脂、聚酯树脂、醇酸树脂、聚苯乙烯树脂中的至少一种的混合物;

所述成膜物质中环氧有机硅树脂的重量百分比不低于10%,以成膜物质的总重量计;

所述阻燃剂为聚磷酸铵、三聚氰胺和选自氢氧化铝、氢氧化镁、季戊四醇、双季戊四醇中的至少一种的混合物;

所述梯度陶瓷化膨胀型防火涂料包含10~20%聚磷酸铵和5~10%三聚氰胺,以梯度陶瓷化膨胀型防火涂料的总重量计;

所述陶瓷化粉体还包含碳化硅、磷酸铝、碳酸钙、硼酸锌中的至少一种。

2. 根据权利要求1所述的梯度陶瓷化膨胀型防火涂料,其特征在于:所述第一玻璃粉、第二玻璃粉和第三玻璃粉的重量比为(1~6) : (1~6) : (1~6)。

3. 根据权利要求2所述的梯度陶瓷化膨胀型防火涂料,其特征在于:所述第一玻璃粉、第二玻璃粉和第三玻璃粉的重量比为(1~3) : (1~3) : (1~3)。

4. 根据权利要求1所述的梯度陶瓷化膨胀型防火涂料,其特征在于:所述增强纤维选自碳化硅纤维、氧化铝纤维、玻璃纤维、氧化硅纤维、碳纤维中的至少一种;

所述增强纤维的直径为2~10 μ m,长度为0.05~3mm。

5. 根据权利要求1所述的梯度陶瓷化膨胀型防火涂料,其特征在于:所述助剂选自流变剂、分散剂、增稠剂、防沉降剂、流平剂、消泡剂、防流挂剂中的至少一种。

6. 权利要求1~5任意一项所述的梯度陶瓷化膨胀型防火涂料在动力电池包中的应用。

一种梯度陶瓷化膨胀型防火涂料及其制备方法与应用

技术领域

[0001] 本发明涉及防火涂料技术领域,具体涉及一种梯度陶瓷化膨胀型防火涂料及其制备方法与应用。

背景技术

[0002] 自1991年索尼公司推出全球首款商业化锂离子电池后,锂离子电池以其高能量密度、无记忆效应和高循环寿命等特点而受到各国电池研发人员的重视。经过30多年的发展,锂离子电池已经成为动力电池领域的主力电池。然而,锂离子电池在使用过程中由于受到碰撞、挤压、冲击等外部作用而引发热失重,进而导致电池包自燃起火甚至发生爆炸。

[0003] 目前动力电池包的被动防火主要有阻燃泡棉、气凝胶、陶瓷化硅橡胶和防火涂料等方式,其中防火涂料因其低成本、便捷的施工方式等优点而被广泛关注。

[0004] CN114015261A公开了一种无机耐水零VOC陶瓷化膨胀防火涂料及其制备方法与应用,但其填料以金属氧化物为主,其击穿电压及体积电阻率均较低,用于电池包防火可能会引起短路而导致电池损坏。

[0005] CN107033734 A公开了一种可陶瓷化环氧树脂防火涂料,但其陶瓷化条件是在马弗炉中高温烧结,明火烧蚀实验时使用为700-1000℃的低温低冲击力的酒精喷灯进行试验,无法适应实际的电池包火灾,并且无法实现快速陶瓷化。

[0006] 因此,开发一种可以在明火烧蚀时快速膨胀且发生陶瓷化反应的防火涂料具有实际意义。

发明内容

[0007] 为了解决现有技术存在的防火涂料的膨胀层力学性能差,在高冲击火灾中易发生破损,导致电池组整体安全性变差的问题,本发明将提供一种梯度陶瓷化膨胀型防火涂料及其制备方法。

[0008] 本发明所要解决的技术问题采用以下的技术方案来实现:

[0009] 本发明的第一个目的是提供一种梯度陶瓷化膨胀型防火涂料,包括以下重量百分比的组分:

[0010] 成膜物质 20~50%

[0011] 阻燃剂 10~50%

[0012] 陶瓷化粉体 20~50%

[0013] 增强纤维 0~10%

[0014] 助剂 0~10%;

[0015] 所述陶瓷化粉体包含第一玻璃粉、第二玻璃粉和第三玻璃粉;

[0016] 所述第一玻璃粉的初始熔点为400~600℃;

[0017] 所述第二玻璃粉的初始熔点为601~900℃;

[0018] 所述第三玻璃粉的初始熔点为901~1100℃。

[0019] 本发明的第二个目的是提供所述梯度陶瓷化膨胀型防火涂料在动力电池包中的应用。

[0020] 本发明的有益效果是：

[0021] 1、本发明采用了成膜物质、阻燃剂和多熔融温度陶瓷化粉体的复合体系，涂层在受热时会发生膨胀，随着高温的持续，膨胀层自外向内会发生梯度陶瓷化，逐步形成“陶瓷层-硬碳层-碳化层”的梯度结构，表面坚硬的陶瓷层可以抵抗高冲击力火焰的烧蚀而保持膨胀层完整，内部多孔结构可以有效阻隔热量的传递，为金属基材提供长时间稳定的防火保护。

[0022] 2、本发明采用了多熔融温度的陶瓷化粉体，同时添加硼酸锌、碳化硅纤维等作为陶瓷化促进剂，使得涂层具有低温快速成瓷的性能；涂层在明火烧蚀时发生梯度熔融-结晶反应，膨胀层会自外向内发生梯度陶瓷化反应，克服了现有陶瓷化涂料常出现的熔滴、脱离基材等缺陷。

附图说明

[0023] 图1为本发明的梯度陶瓷化膨胀型防火涂料受热后的结构示意图；

[0024] 其中，1-陶瓷层；2-硬碳层；3-碳化层；

[0025] 图2为实施例1得到的涂层烧蚀30min后膨胀层截面图；

[0026] 图3为对比例1得到的涂层烧蚀30min后膨胀层状态；

[0027] 图4为对比例6得到的涂层烧蚀30min后膨胀层状态；

[0028] 图5为实施例1得到的涂层烧蚀30min过程中基材背温曲线图；

[0029] 图6为实施例1得到的涂层烧蚀30min后膨胀层强度测试图；

[0030] 图7为实施例16得到的涂层烧蚀30min后膨胀层强度测试图。

具体实施方式

[0031] 为了使本发明实现的技术手段、创作特征、达成目的与功效易于明白了解，下面结合具体实施例和图示，进一步阐述本发明。

[0032] 本发明提供了一种梯度陶瓷化膨胀型防火涂料，包括以下重量百分比的组分：

[0033] 成膜物质 20~50%

[0034] 阻燃剂 10~50%

[0035] 陶瓷化粉体 20~50%

[0036] 增强纤维 0~10%

[0037] 助剂 0~10%；

[0038] 所述陶瓷化粉体包含第一玻璃粉、第二玻璃粉和第三玻璃粉；

[0039] 所述第一玻璃粉的初始熔点为400~600℃；

[0040] 所述第二玻璃粉的初始熔点为601~900℃；

[0041] 所述第三玻璃粉的初始熔点为901~1100℃。

[0042] 本发明中，所述第一玻璃粉、第二玻璃粉和第三玻璃粉的重量比为(1~6):(1~6):(1~6)。优选条件下，所述第一玻璃粉、第二玻璃粉和第三玻璃粉的重量比为(1~3):(1~3):(1~3)。

[0043] 优选条件下,所述梯度陶瓷化膨胀型防火涂料中第一玻璃粉、第二玻璃粉和第三玻璃粉的总重量百分比为15~45%。

[0044] 本发明中,所述成膜物质包括但不限于环氧树脂、丙烯酸树脂、环氧有机硅树脂、酚醛树脂、聚氨酯树脂、聚酯树脂、醇酸树脂、聚苯乙烯树脂中的至少一种。当成膜树脂为环氧树脂时,所述成膜物质还包括固化剂。

[0045] 优选条件下,所述成膜物质中环氧有机硅树脂的重量百分比不低于10%,以成膜物质的总重量计;进一步优选地,所述成膜物质中环氧有机硅树脂的重量百分比为10~70%,更优选为30~50%。

[0046] 本发明中,所述阻燃剂包括但不限于聚磷酸铵、三聚氰胺、氢氧化铝、氢氧化镁、季戊四醇、双季戊四醇中的至少一种。

[0047] 优选条件下,所述梯度陶瓷化膨胀型防火涂料中包含10~20%聚磷酸铵和5~10%三聚氰胺,以梯度陶瓷化膨胀型防火涂料的总重量计。

[0048] 优选条件下,所述陶瓷化粉体还包含碳化硅、磷酸铝、碳酸钙、钛白粉、硼酸锌中的至少一种。

[0049] 本发明中,所述增强纤维可以为本领域技术人员熟知的增强纤维,包括但不限于碳化硅纤维、氧化铝纤维、玻璃纤维、氧化硅纤维、碳纤维中的至少一种。

[0050] 优选条件下,所述增强纤维的直径为2~10 μm ,长度为0.05~3mm。

[0051] 本发明中,所述助剂可以为本领域技术人员熟知的助剂,包括但不限于流变剂、分散剂、增稠剂、防沉降剂、流平剂、消泡剂、防流挂剂中的至少一种。

[0052] 本发明中,所述梯度陶瓷化膨胀型防火涂料的制备方法可以为本领域技术人员熟知的涂料制备方法。示例性地,所述梯度陶瓷化膨胀型防火涂料的制备方法包括以下步骤:

[0053] (1) 按配比将阻燃剂和陶瓷化粉体混合均匀,得到粉体混合物;

[0054] (2) 按配比将成膜物质和助剂充分混合,再加入上述粉体混合物,混合均匀,得到浆料;

[0055] (3) 按配比向浆料中加入增强纤维,混合均匀,得到梯度陶瓷化膨胀型防火涂料。

[0056] 在本发明的一些优选的实施方式中,本发明中还分别对阻燃剂和陶瓷化粉体分别过筛,过筛能够去除粉体原料中可能存在的极少部分粒径较大的物质,使得涂料体系更均匀。

[0057] 本发明还提供了所述梯度陶瓷化膨胀型防火涂料在动力电池包中的应用。具体地,将所述梯度陶瓷化膨胀型防火涂料与固化剂混合均匀后涂覆在金属基材表面,固化,得到梯度陶瓷化膨胀型防火涂层。

[0058] 以下将通过具体实施例对本发明进行详细描述。

[0059] 本发明中防火涂料的阻燃隔热性能的测试方法为:将防火涂料与固化剂混合均匀后喷涂在Q235钢板表面,喷涂厚度为500 μm ,常温固化48h,然后使用火焰垂直烧蚀由涂层覆盖的Q235钢板,并测量钢板背离火焰一面的温度,烧蚀火焰温度为1200 $^{\circ}\text{C}$,烧蚀时间为30min。

[0060] 介电强度通过标准IEC60243测试得到;体积电阻率通过标准IEC60093测试得到。

[0061] 以下实施例中的各原料均可市购获得。

[0062] 环氧树脂购于亨斯迈,型号为GT-7072;

- [0063] 聚醚胺固化剂购于亨斯迈,型号为D2000;
- [0064] 环氧有机硅树脂购于扬州市立达树脂有限公司,型号为LD-3196;
- [0065] 聚磷酸铵购于镇江星星阻燃剂有限公司,型号为APP-0M;
- [0066] 三聚氰胺购于江苏欧贸化工有限公司,型号为OM-032;
- [0067] 氢氧化铝来源于安徽壹石通材料科技股份有限公司,型号为ATH-0010;
- [0068] 低熔点玻璃粉购于广东启辰新材料科技有限公司,初始熔点为450℃的低熔点玻璃粉D245(以下简称玻璃粉A),初始熔点为750℃的低熔点玻璃粉D275(以下简称玻璃粉B),初始熔点为950℃的低熔点玻璃粉D295(以下简称玻璃粉C),初始熔点为600℃的低熔点玻璃粉D260(以下简称玻璃粉D);
- [0069] 硼酸锌来源于安徽壹石通材料科技股份有限公司,型号为ZB03-500;
- [0070] 玻璃纤维购于东莞市荣钛化工有限公司,型号为EMG-400;
- [0071] 气相二氧化硅购于赢创工业,型号为R972;
- [0072] 磷酸酯来源于安徽壹石通材料科技股份有限公司,型号为FPE4H。
- [0073] 实施例1
- [0074] 本实施例制备梯度陶瓷化膨胀型防火涂料的原料组成与配比如表1所示。
- [0075] 表1

[0076]

	原料名称	重量百分比 (%)
成膜物质	环氧树脂GT-7072	15
	环氧有机硅树脂LD-3196	20
	聚醚胺固化剂D2000	5
阻燃剂	聚磷酸铵APP-0M	15
	三聚氰胺OM-032	5
	氢氧化铝ATH-0010	7
陶瓷化粉体	玻璃粉A	5
	玻璃粉B	10
	玻璃粉C	5
	硼酸锌ZB03-500	5
增强纤维	玻璃纤维EMG-400	5
增稠剂	气相二氧化硅R972	2
分散剂	磷酸酯FPE4H	1

[0077] 按照表1的原料组成与配比进行陶瓷化膨胀型防火涂料的制备,包括以下步骤:

[0078] (1) 将阻燃剂和陶瓷化粉体充分均匀,过筛,得到粉体混合物;

[0079] (2) 将成膜物质和助剂充分混合,再加入上述粉体混合物,混合均匀,得到浆料;

[0080] (3) 向浆料中加入增强纤维,混合均匀,得到梯度陶瓷化膨胀型防火涂料。

[0081] 对实施例1得到的梯度陶瓷化膨胀型防火涂料进行阻燃隔热性能测试,在烧蚀过程中涂层无破损,且烧蚀30min后膨胀层高度为10.6mm,膨胀倍数达到21.2倍,其背面温度最终稳定在260℃左右。

[0082] 图1为本发明的梯度陶瓷化膨胀型防火涂料受热后的结构示意图,图2为实施例1得到的涂层烧蚀30min后膨胀层截面图。从图1和图2可以看出,膨胀层内部具有致密多孔结构,自外向内具有明显的梯度结构,即依次包括:外层为白色片状的陶瓷层1、中间层为致密的硬碳层2和内层为疏松多孔的碳化层3。

[0083] 图5为实施例1得到的涂层烧蚀30min过程中基材背温曲线图。从图5可以看出,涂覆该涂层的基材在1200℃明火烧蚀时,在前10min内,基材背温快速升高至230℃;在第10~20min内,基材背温缓慢升至260℃;在第20~30min内,基材背温则稳定在260℃,这表明实施例1所制涂层具有优异的热防护效果。

[0084] 图6为实施例1得到的涂层烧蚀30min后膨胀层强度测试图。从图6可以看出,在膨胀层正上方放置4块500g砝码,总重达到2kg,膨胀层表面无明显塌陷,这表明实施例1烧蚀后的膨胀层可以支撑至少2kg的重物而不破损。

[0085] 本发明中实施例1的介电强度和体积电阻率测试过,介电强度>13kV/mm,体积电阻率> $1.4 \times 10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$,因此,本发明所制备涂层的绝缘性满足电池用防火涂料要求。

[0086] 实施例2~7和对比例1~2

[0087] 按照实施例1的方法,不同的是:保持玻璃粉A、玻璃粉B、玻璃粉C的重量比不变(1:2:1),调整三种玻璃粉的总用量,具体如表2所示。

[0088] 表2

	玻璃粉总用量 (%)	烧蚀30min后膨胀层高度 (mm)	膨胀倍数	背温 (℃)
实施例1	20	10.6	21.2	260
实施例2	15	12.8	25.6	270
实施例3	25	9.5	19.0	265
[0089] 实施例4	30	8.3	16.6	275
实施例5	35	8.0	16.0	280
实施例6	40	7.8	15.6	290
实施例7	45	6.9	13.8	295
对比例1	10	16.9	33.8	330
对比例2	50	4.1	8.2	340

[0090] 从表2可以看出:

[0091] 当玻璃粉总用量为20%时,各组分配比最协调,既保证了足够的烧蚀后膨胀倍数,

又可以形成足够坚硬的梯度陶瓷结构,所以基材背温最低,仅为260℃。

[0092] 当玻璃粉总用量增加时,涂层中成膜物质和阻燃剂的含量均会相对降低,使得涂层在烧蚀30min后膨胀层高度及膨胀倍数均会降低,进而导致基材背温的升高。尤其是玻璃粉总用量达到50%时,其膨胀倍数仅为8.2倍,无法提供有效的隔热,基材背温高达340℃。

[0093] 当玻璃粉总用量减少时,涂层中陶瓷化粉体含量相对下降,无法在持续烧蚀中形成坚硬致密的梯度陶瓷化膨胀层,虽然其膨胀高度及膨胀厚度有所增加,但是致密程度下降,导致其隔热效果变差。尤其是玻璃粉总用量仅为10%时,其疏松的膨胀层高度达到16.9mm,膨胀倍数为33.8倍,但隔热效果较差,基材背温高达330℃。

[0094] 图3为对比例1得到的涂层烧蚀30min后的膨胀层状态。从图3可以看出,膨胀层被火焰直烧处出现明显破损,破损处周围具有陶瓷化结构,这表明对比例1制备的涂层在烧蚀过程中虽然也可发生膨胀及陶瓷化反应,但其陶瓷化强度低,易破损,无法有效起到防火隔热的作用。

[0095] 实施例8~13和对比例3~8

[0096] 按照实施例1的方法,不同的是:保持三种玻璃粉的总用量不变(20%),调整玻璃粉A、玻璃粉B、玻璃粉C的用量比,具体如表3所示。

[0097] 表3

	玻璃粉A 用量 (%)	玻璃粉B 用量 (%)	玻璃粉C 用量 (%)	烧蚀30min后膨 胀层是否有破损	膨胀倍数	背温 (℃)
实施例1	5	10	5	否	21.2	260
实施例8	5	5	10	否	19.6	265
实施例9	10	5	5	否	25.5	260
实施例10	6.7	6.7	6.6	否	23.3	270
实施例11	2.5	2.5	15	否	15.8	280
[0098] 实施例12	15	2.5	2.5	否	28.9	270
实施例13	2.5	15	2.5	否	20.6	265
对比例3	20	0	0	是	32.5	330
对比例4	0	20	0	是	18.9	320
对比例5	0	0	20	是	15.2	350
对比例6	10	10	0	否	29.6	310
对比例7	10	0	10	否	25.4	320
对比例8	0	10	10	否	16.9	330

[0099] 从表3可以看出:

[0100] 如对比例3~5,当低熔点玻璃粉的添加种类仅为1种时,烧蚀30min后的膨胀层陶瓷化强度低,在烧蚀过程中会发生破损;如对比例6~8所示,当低熔点玻璃粉的添加种类为2种时,烧蚀后的膨胀层会保持完整,不发生破损,但是其基材背温却会达到300℃以上,热防护性能较差;当低熔点玻璃粉的添加种类为3种时,烧蚀后的膨胀层完整且坚硬,基材背温均

在300℃以下,热防护性能优异。

[0101] 图4为对比例6得到的涂层烧蚀30min后的膨胀层状态。从图4可以看出,当涂料体系中仅含有一种玻璃粉时,膨胀层被火焰直烧处出现较多类球状的陶瓷结构,这是由于涂层在火烧过程中,火焰直烧处出现熔滴,随着烧蚀试验结束,熔滴冷却形成陶瓷球。这表明对比例6制备的涂层在烧蚀过程中虽然也可发生膨胀及陶瓷化反应,但其陶瓷化过程中有熔滴的产生,还会导致涂层的隔热效果下降。

[0102] 实施例14

[0103] 按照实施例1的方法,不同的是:玻璃粉由重量比为1 : 1 : 2 : 1的玻璃粉A、玻璃粉D、玻璃粉B和玻璃粉C组成。

[0104] 本实施例制备得到的涂层在烧蚀过程中无破损,且30min烧蚀后膨胀层高度为14.8mm,膨胀倍数达到29.6倍,其背面温度最终稳定在260℃左右。

[0105] 通过对比实施例1和实施例14可以看出,当陶瓷化粉体中含有4种不同熔点的玻璃粉时,其阻燃隔热效果与3种不同熔点玻璃粉时相近。

[0106] 实施例15~18

[0107] 按照实施例1的方法,不同的是:调整成膜物质中环氧有机硅树脂的含量,具体如表4所示。表4中,环氧树脂体系是由环氧树脂和聚醚胺固化剂组成;烧蚀30min后膨胀层强度是通过在膨胀层上放置砝码直至膨胀层发生破损,并记录砝码重量进行表征。

[0108] 表4

[0109]		环氧树脂体系 用量 (%)	环氧有机硅树脂 用量 (%)	膨胀倍数	烧蚀30min后膨 胀层强度 (kg)	背温 (℃)
	实施例1	50	50	21.2	2	260
	实施例15	30	70	13.5	6	360
	实施例16	70	30	26.9	1	290
	实施例17	90	10	27.5	0.2	310
	实施例18	95	5	30.3	0.1	330

[0110] 从表4可以看出:

[0111] 实施例1和实施例15~18为采用不同环氧有机硅树脂含量制备的防火涂料,当环氧有机硅树脂用量占成膜物质的50%时,各组分配比最协调,既保证了足够的烧蚀后膨胀倍数,又可以形成足够坚硬的梯度陶瓷结构,所以基材背温最低,仅为260℃。

[0112] 当环氧有机硅树脂用量增加时,具有成碳能力的环氧树脂含量则相对降低,虽然膨胀层陶瓷化强度变高,但是涂层在烧蚀30min后膨胀倍数会大幅降低,进而导致基材背温的急剧升高,降低了涂层对基材的热防护能力。

[0113] 当环氧有机硅树脂用量减少时,成膜物质中具有促进陶瓷化的物质含量相对下降,无法在持续烧蚀中形成坚硬致密的梯度陶瓷化膨胀层,虽然其膨胀倍数有所增加,但其致密程度下降,且膨胀层的强度也有下降,导致其对基材的热防护性能变差。

[0114] 图7为实施例16得到的涂层烧蚀30min后膨胀层强度测试图。从图7可以看出,在膨胀层正上方放置2块500g砝码,总重达到1kg,膨胀层表面发生小面积塌陷,这表明实施例16

烧蚀后的膨胀层可以支撑约1kg的重物。

[0115] 以上显示和描述了本发明的基本原理和主要特征和本发明的优点。本行业的技术人员应该了解,本发明不受上述实施例的限制,上述实施例和说明书中描述的只是说明本发明的原理,在不脱离本发明精神和范围的前提下,本发明还会有各种变化和改进,这些变化和改进都落入要求保护的本发明范围内。本发明要求保护范围由所附的权利要求书及其等效物界定。

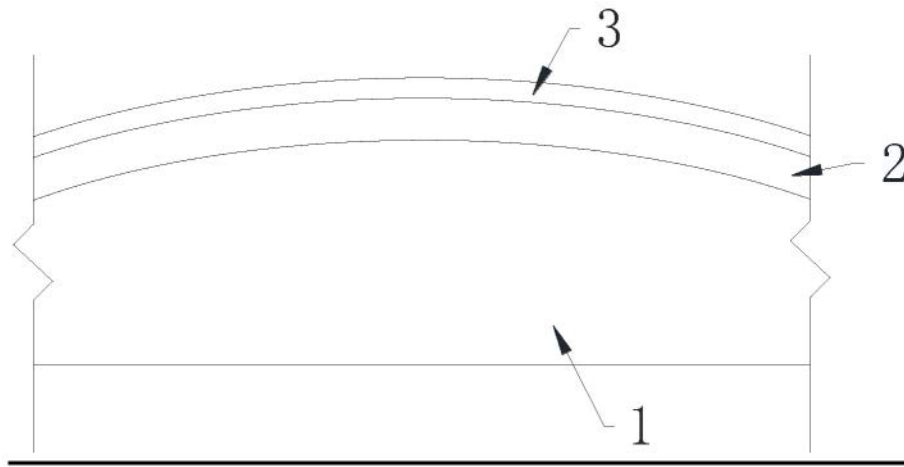


图1

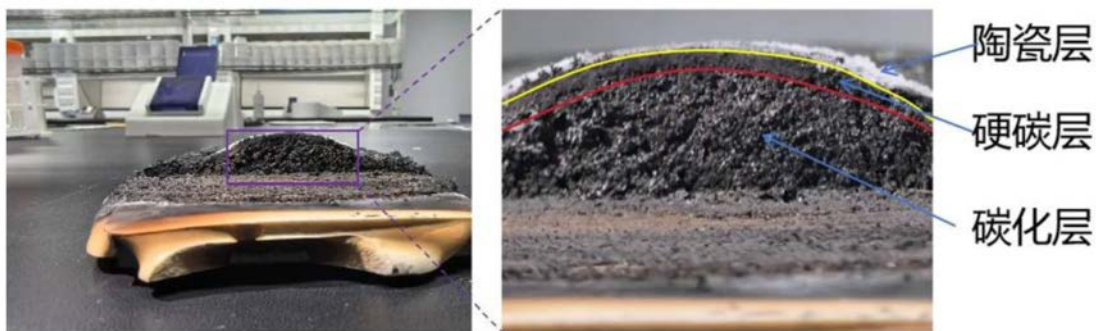


图2

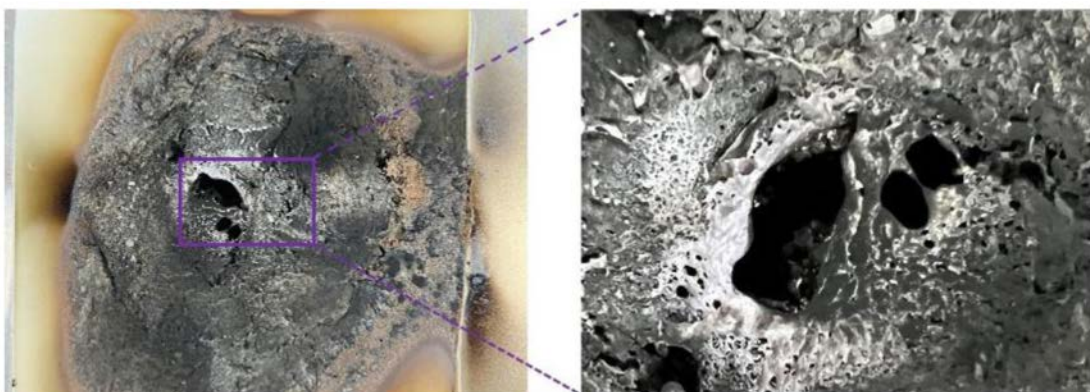


图3

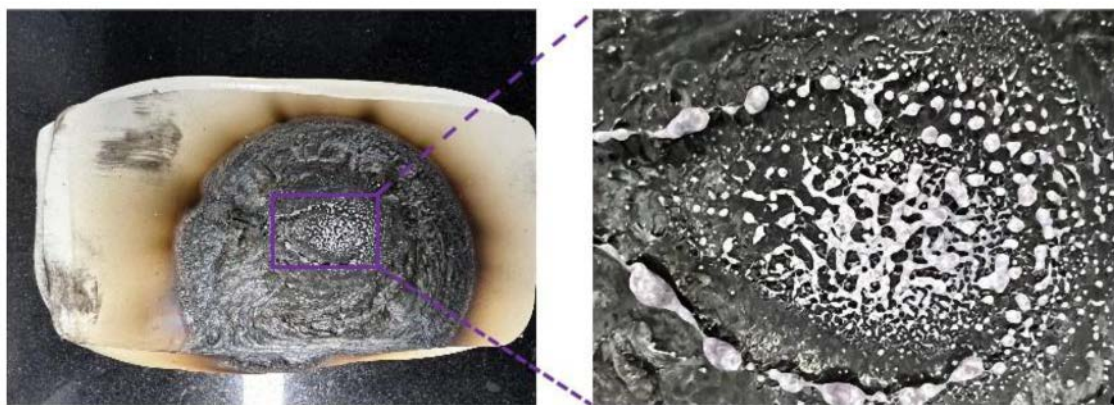


图4

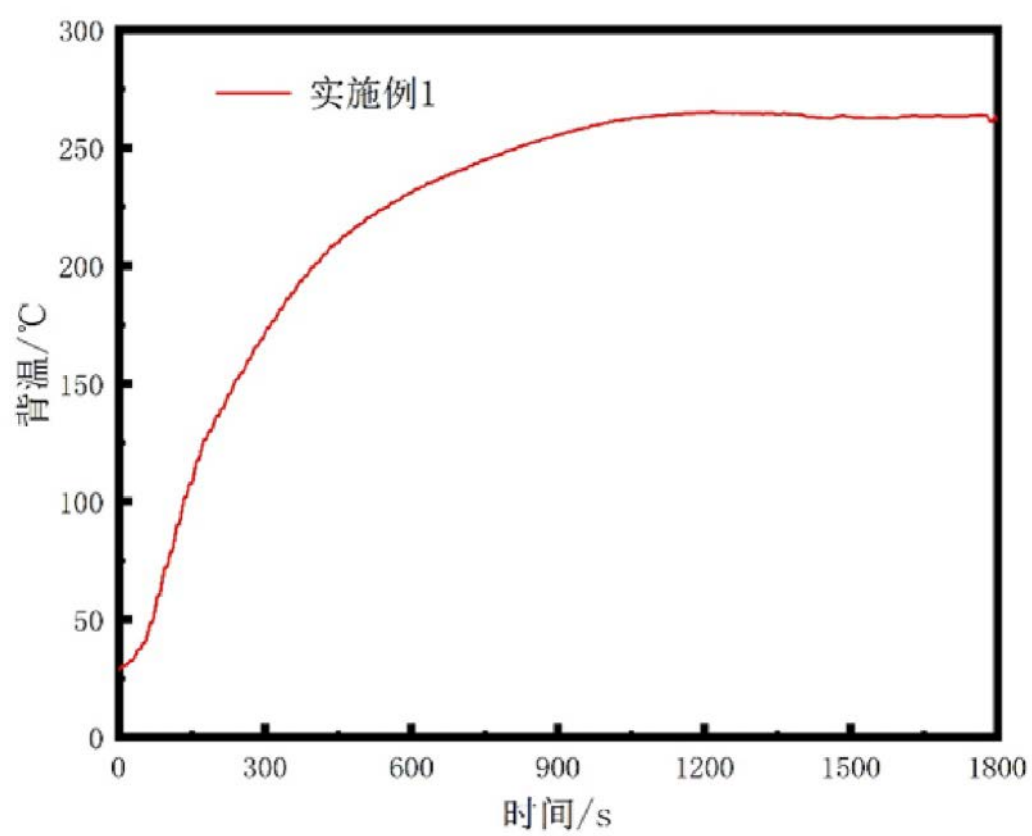


图5



图6



图7