



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102336038 B

(45) 授权公告日 2013. 11. 06

(21) 申请号 201010236195. 1

(22) 申请日 2010. 07. 26

(73) 专利权人 核工业西南物理研究院
地址 610041 四川省成都市二环路南三段三
号

(72) 发明人 罗天勇

(74) 专利代理机构 核工业专利中心 11007
代理人 高尚梅

(51) Int. Cl.

B32B 15/01 (2006. 01)

B32B 1/08 (2006. 01)

C22C 27/02 (2006. 01)

C22C 38/26 (2006. 01)

B22F 9/10 (2006. 01)

B22F 3/115 (2006. 01)

B22F 5/12 (2006. 01)

(56) 对比文件

US 2008/0112837 A1, 2008. 05. 15,

US 7520942 B2, 2009. 04. 21,

审查员 孙淑美

权利要求书1页 说明书3页

(54) 发明名称

一种复合结构材料及采用该材料制备管道部
件的工艺

(57) 摘要

本发明属于复合材料领域,具体涉及一种复
合结构材料及采用该材料制备管道部件的工
艺。其特点在于:复合结构材料选用双层结构,一层
结构采用钒合金材料,一层结构采用低活性马氏
体钢材料。实际应用中,与液态碱金属接触的一
侧采用钒合金,与环境气体或其他冷却剂接触的一
侧采用低活性马氏体钢,本发明的复合结构材料
能充分利用钒合金和低活性马氏体钢两种材料在
钠冷快堆和聚变堆液态金属应用中各自的优点,
能够有效解决抗中子辐照和耐液态金属腐蚀的问
题。本发明的制备工艺可以显著提高材料利用率,
减少加工周期。

1. 一种复合结构材料,其特征在于:它包括双层结构,其中一层结构采用钒合金材料,一层结构采用低活性马氏体钢材料;所述的钒合金由 V、Cr、Ti 三种元素组成,各元素成分质量百分比为:V 在 85—92%之间, Cr 在 3.5—5.5%之间, Ti 在 3.5—10.5%之间;所述的低活性马氏体钢由 Fe、Cr、V、Mn、W 和 Ta 元素组成,各元素成分质量百分比为:Fe 在 86—89%之间, Cr 在 7.5—9.5%之间, V 在 0.1—0.3%之间, W 在 1.0—2.0%之间, Mn 在 0.1—0.6%之间, Ta 在 0.01—0.3%之间,且各元素质量百分比之和为 100%。

2. 按照权利要求 1 所述的一种复合结构材料,其特征在于:钒合金各元素成分质量百分比为:V 占 92%, Cr 占 4%, Ti 占 4%;低活性马氏体钢各元素成分质量百分比为:Fe 占 89%, Cr 占 8.5%, V 占 0.25%, W 占 1.5%, Mn 占 0.5%, Ta 在 0.25%。

3. 一种采用权利要求 1 所述的复合结构材料制备管道部件的工艺,其特征在于:包括以下步骤:

第一步,制备粒径范围为 50—200 微米的钒合金球形粉末;

第二步,制备粒径范围为 50—200 微米的低活性马氏体钢粉末;

第三步,采用激光立体成形技术制备钒合金与低活性马氏体钢双层复合结构的管道部件,具体过程如下:

(1) 设计管道部件的三维模型;

(2) 将模型按一定的厚度切片分层,将管道部件的三维信息转换为二维轮廓信息;

(3) 采用激光熔覆的方法,将制备好的钒合金球形粉末和低活性马氏体钢粉末材料按照二维轮廓信息逐层堆积,形成三维实体管道部件。

4. 按照权利要求 3 所述的一种采用复合结构材料制备管道部件的工艺,其特征在于:所述的第一步中,制备粒径范围为 50—200 微米的钒合金球形粉末,采用以下步骤实现:

(1) 制备钒合金电极棒:将钒枝与钛金属粉、铬金属按比例混合,进行真空除杂,进行压棒、电子轰击形成钒合金电极棒;

(2) 采用等离子辅助旋转电极法制备钒合金球形粉末:将钒合金棒材作为旋转电极,一端连接高速电机,一端受等离子弧加热而形成液体,利用电极高速旋转产生的离心力将钒合金液滴甩出,形成钒合金球形粉。

5. 按照权利要求 3 所述的一种采用复合结构材料制备管道部件的工艺,其特征在于:所述的第二步中,制备粒径范围为 50—200 微米的低活性马氏体钢粉末,采用以下步骤实现:

(1) 制备低活性马氏体钢棒材:将活性杂质元素含量低的高纯原料采用真空感应熔炼工艺得到铸锭,采用熔炼工艺对铸锭进行二次重熔,锻造形成低活性马氏体钢棒材;

(2) 采用等离子辅助旋转电极法制备马氏体钢粉末:将低活性马氏体钢棒材作为旋转电极,一端连接高速电机,一端受等离子弧加热而形成液体,利用电极高速旋转产生的离心力将液滴甩出,在惰性气氛保护下冷却形成球形度高的低活性马氏体钢球形粉。

一种复合结构材料及采用该材料制备管道部件的工艺

技术领域

[0001] 本发明涉及一种复合材料及基于复合材料制备管道的工艺,具体涉及一种适用于钠冷快堆和聚变液态金属包层的复合结构材料及采用该材料制备管道部件的工艺。

背景技术

[0002] 根据我国核能发展战略,快堆和聚变堆将成为我国今后核能系统技术发展的方向。其中钠冷快堆是多种快堆概念中的首选概念,但其结构材料的选择必须考虑与液态金属钠的相容性。而目前中国的聚变堆设计中拟采用氦冷固态氚增殖包层或双功能液态金属包层来实现氚自持,在聚变液态金属包层中,液态金属锂或锂铅合金将同时作为氚增殖剂和冷却剂,其结构材料的选择也同样要考虑与液态金属的相容性。另外,钠冷快堆和聚变堆的中子辐照损伤都很严重,商用快堆在 100 个 dpa (材料辐照损伤单位,每个原子平均离位次数)左右,商用聚变堆达到 200 个 dpa,因此,抗中子辐照和耐液态金属腐蚀是钠冷快堆与聚变堆液态包层共同要面临的结构材料问题。

[0003] 经过多年实验研究,钒合金与低活性铁素体 / 马氏体钢都具有良好的抗强中子辐照特性,特别是钒合金,钒合金可以抗 200 个 dpa 的中子辐照,而且与液态碱金属(锂、钠、钾)具有良好的相容性,并且它的中子吸收截面积小,工作窗口上限温度高,从理论上钒合金是快堆与聚变堆液态金属包层非常理想的结构材料。但钒合金的应用面临很严重的工程问题,那就是它对氧过于敏感,比如在聚变液态双冷包层中,即便采用高纯氦气做冷却剂,氦气里的氧含量也必须控制在 ppb (十亿分之一)级,否则高纯氦气中的氧将会不断腐蚀钒合金,影响反应堆安全,无法满足商用反应堆长期运行的需要。

[0004] 而低活性铁素体 / 马氏体钢对氧就不敏感,在高温高压环境下与氦气和水都具有良好的相容性,但与液态碱金属的相容性则很差,而且液态金属对低活性铁素体 / 马氏体钢的腐蚀会随着液态金属的流速增加而显著加深,而液态金属的冷却剂效用又取决于流速本身,这就对低活性马氏体钢在钠冷快堆和聚变堆液态金属包层中的应用形成了限制。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种适用于钠冷快堆和聚变液态金属包层的复合结构材料,以及采用该材料制备管道部件的工艺。

[0006] 实现本发明目的的技术方案:一种复合结构材料,包括双层结构,其中一层结构采用钒合金材料,一层结构采用低活性马氏体钢材料;所述的钒合金由 V、Cr、Ti 三种元素组成,各元素成分质量百分比为:V 在 85 — 92%之间, Cr 在 3.5 — 5.5%之间, Ti 在 3.5 — 10.5%之间;所述的低活性马氏体钢由 Fe、Cr、V、Mn、W 和 Ta 元素组成,各元素成分质量百分比为:Fe 在 86 — 89%, Cr 在 7.5 — 9.5%, V 在 0.1 — 0.3%, W 在 1.0 — 2.0%, Mn 在 0.1 — 0.6%, Ta 在 0.01 — 0.3%,且各元素质量百分比之和为 100%。

[0007] 如上所述的一种复合结构材料,钒合金各元素成分质量百分比为:V 占 92%, Cr 占 4%, Ti 占 4%;低活性马氏体钢各元素成分质量百分比为:Fe 占 89%, Cr 占 8.5%, V 占

0.25%，W 占 1.5%，Mn 占 0.5%，Ta 在 0.25%。

[0008] 一种采用复合结构材料制备管道部件的工艺，包括以下步骤：

[0009] 第一步，制备粒径范围为 50 — 200 微米的钒合金球形粉末；

[0010] 第二步，制备粒径范围为 50 — 200 微米的低活性马氏体钢粉末；

[0011] 第三步，采用激光立体成形技术制备钒合金与低活性马氏体钢双层复合结构的管道部件，具体过程如下：

[0012] (1) 设计管道部件的三维模型；

[0013] (2) 将模型按一定的厚度切片分层，将管道部件的三维信息转换为二维轮廓信息；

[0014] (3) 采用激光熔覆的方法，将制备好的钒合金球形粉末和低活性马氏体钢粉末材料按照二维轮廓信息逐层堆积，形成三维实体管道部件。

[0015] 如上所述的一种采用复合结构材料制备管道部件的工艺，其特征在于：所述的第一步中，制备粒径范围为 50 — 200 微米的钒合金球形粉末，采用以下步骤实现：

[0016] (1) 制备钒合金电极棒：将钒枝与钛金属粉、铬金属按比例混合，进行真空除杂，进行压棒、电子轰击形成钒合金电极棒；

[0017] (2) 采用等离子辅助旋转电极法制备钒合金球形粉末：将钒合金棒材作为旋转电极，一端连接高速电机，一端受等离子弧加热而形成液体，利用电极高速旋转产生的离心力将钒合金液滴甩出，形成钒合金球形粉。

[0018] 如上所述的一种采用复合结构材料制备管道部件的工艺，其特征在于：所述的第二步中，制备粒径范围为 50 — 200 微米的低活性马氏体钢粉末，采用以下步骤实现：

[0019] (1) 制备低活性马氏体钢棒材：将活性杂质元素含量低的高纯原料采用真空感应熔炼工艺得到铸锭，采用熔炼工艺对铸锭进行二次重熔，锻造形成低活性马氏体钢棒材；

[0020] (2) 采用等离子辅助旋转电极法制备马氏体钢粉末：将低活性马氏体钢棒材作为旋转电极，一端连接高速电机，一端受等离子弧加热而形成液体，利用电极高速旋转产生的离心力将液滴甩出，在惰性气氛保护下冷却形成球形度高的低活性马氏体钢球形粉。

[0021] 本发明的效果在于：复合结构材料选用双层结构，一层结构采用钒合金材料，一层结构采用低活性马氏体钢材料。实际应用中，与液态碱金属接触的一侧采用钒合金，与环境气体或其他冷却剂（氦气和水）接触的一侧采用低活性马氏体钢，本发明的复合结构材料能充分利用钒合金和低活性马氏体钢两种材料在钠冷快堆和聚变堆液态金属应用中各自的优点，能够有效解决抗中子辐照和耐液态金属腐蚀的问题。

[0022] 采用本发明的制备工艺的优点是可以显著提高材料利用率，减少加工周期，复合材料部件成形不需制造模件，对复合材料成形零件的加工没有尺寸限制，高能激光产生的快速熔化和凝固过程使复合材料本身具有致密均匀细小的组织，从而具有优异的力学性能，强度和塑性可以同时达到锻件的水平，整个加工过程在惰性气氛保护下进行，可以有效地防止钒合金在一般热加工过程中的氧化问题，复合材料双层结构的厚度可以根据设计需要任意搭配，钒合金层与低活性马氏体钢层由于逐层生长而成结合紧密。

具体实施方式

[0023] 下面实施例对本发明作进一步描述。

[0024] 一种复合结构材料,包括双层结构,其中一层结构采用钒合金材料,一层结构采用低活性马氏体钢材料。钒合金由 V、Cr、Ti 三种元素组成,各元素成分质量百分比为:V 占 92%,Cr 占 4%,Ti 占 4%。低活性马氏体钢由 Fe、Cr、V、Mn、W 和 Ta 元素组成,各元素成分质量百分比为:Fe 占 89%,Cr 占 8.5%,V 占 0.25%,W 占 1.5%,Mn 占 0.5%,Ta 在 0.25%。

[0025] 一种钒合金与低活性马氏体钢双层复合结构无缝管,其管内径 80mm,管外径 120mm,管长 150mm,其中管道内侧为钒合金,管道外侧为低活性马氏体钢,钒合金层厚度 10mm,低活性马氏体钢厚度 10mm。制备上述钒合金与低活性马氏体钢双层复合结构无缝管的工艺包括以下步骤:

[0026] (1) 制备的钒合金球形粉末:将钒枝与钛金属粉、铬金属按比例混合采用电子束熔炼电极重熔成直径 60mm 长 400mm 的棒材,采用等离子旋转电极设备,利用旋转电极工艺制备钒合金球形粉。球形粉指标为粒径在 100—200 微米之间,球形度达到 99% 以上,钒合金球形粉中 Cr 的含量在 $4 \pm 0.05\%$ 之间,Ti 的含量在 $4 \pm 0.05\%$ 之间,在钒合金粉中氧含量控制在 500ppm 以下;

[0027] (2) 制备低活性马氏体钢粉末:采用真空感应熔炼浇注并锻成直径 60mm 长 400mm 的低活性马氏体棒材,采用等离子旋转电极设备,利用旋转电极工艺制成低活性马氏体球形粉;球形粉指标为粒径在 100—200 微米之间,球形度达到 99% 以上,低活性马氏体钢球形粉中 Cr 的含量为 $8.5 \pm 0.3\%$,W 的含量为 $1.5 \pm 0.1\%$,V 的含量为 0.25% 之间,Mn 的含量为 $0.5 \pm 0.2\%$,Ta 的含量为 $0.25 \pm 0.02\%$;

[0028] (3) 采用激光立体成形技术制备钒合金与低活性马氏体钢双层复合结构无缝管。首先在计算机中生成具有双层复合结构的管件的三维 CAD 模型,然后将该管件模型沿管轴方向进行切片分为 75 层(2mm 一层),随后在计算机的控制下,采用激光立体成形设备,用激光熔覆的方法将制备好的钒合金球形粉末和低活性马氏体钢粉末材料逐层堆积,在每层堆积过程中先堆积内侧的钒合金,后堆积外侧的低活性马氏体钢,最终形成钒合金与低活性马氏体钢双层复合结构无缝管件。整个堆积过程在高纯氦气保护下进行,保护气氛中氧含量控制在 10ppm 以下。

[0029] 采用上述工艺制备的钒合金与低活性马氏体钢双层复合结构无缝管,可以应用于聚变液态金属双冷包层的锂铅液态金属流道,解决结构材料与液态金属和氦气中的氧杂质同时兼容的问题,具有抗中子辐照损伤、耐蚀性强、辐照活性低、热导率高、热膨胀系数差小的优点。

[0030] 显然,本领域的技术人员可以对本发明进行各种改动和变型而不脱离本发明的精神和范围。倘若这些修改和变型属于本发明权利要求及其等同技术的范围之内,则本发明也意图包含这些改动和变型在内。