



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104981559 B

(45)授权公告日 2018.11.30

(21)申请号 201380068565.7

(22)申请日 2013.12.23

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 104981559 A

(43)申请公布日 2015.10.14

(30)优先权数据

61/747,054 2012.12.28 US

13/794,589 2013.03.11 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2015.06.26

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2013/077422 2013.12.23

(87)PCT国际申请的公布数据
W02014/105795 EN 2014.07.03

(73)专利权人 泰拉能源公司
地址 美国华盛顿州

(72)发明人 迈卡·J·哈克特

罗纳德·L·克鲁赫

(74)专利代理机构 北京安信方达知识产权代理
有限公司 11262

代理人 高瑜 郑霞

(51)Int.Cl.

G23C 8/00(2006.01)

(56)对比文件

JP 特开2004-76034 A, 2004.03.11, 说明书
第0020-0022段.

JP 平1-139717 A, 1989.06.01, 第7页第2
段、第3页第7页第2段、第27-32行、第4页左栏第
1-6行、第4页右栏第10-12行、第18-20、28-33行、
第5页左栏第2-15行、表1-2及附图1.

US 3235415 A, 1966.02.15, 全文.

US 2108043 A, 1938.02.15, 全文.

审查员 刘莉

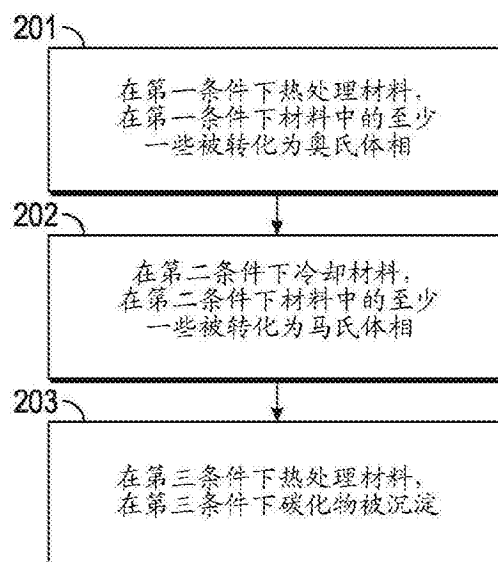
权利要求书3页 说明书15页 附图7页

(54)发明名称

用于燃料元件的铁基组合物

(57)摘要

公开的实施方案包括燃料组件、燃料元件、
覆层材料、制备燃料元件的方法以及使用燃料元
件的方法。



1. 一种制备组合物的方法,所述方法包括:

在第一条件下在第一温度热处理包括铁基组合物的材料,所述铁基组合物包含在10重量百分比和12.5重量百分比之间的Cr并且具有小于9的净 Cr_{eq} ,其中在所述热处理中所述铁基组合物的总体上全部被转化为奥氏体相;

在第二条件下在冷却速率下将所述材料冷却至第二温度,在所述冷却中所述铁基组合物的总体上全部被转化为马氏体相;

在第三条件下在第三温度热处理所述材料,在所述热处理中碳化物被沉淀;以及

控制所述铁基组合物中的N的重量百分比以减轻所述铁基组合物的 δ -铁素体相的形成,

其中所述材料在所述第一温度的所述热处理之前经历冷轧、冷拔、及皮尔格轧制中的至少一种,以及

其中经历包括在低于从铁素体相到奥氏体相的转化温度的温度中间退火所述材料。

2. 如权利要求1所述的方法,其中所述铁基组合物包括钢。

3. 如权利要求1所述的方法,其中在所述第一温度热处理包括溶解如果有的话存在于所述铁基组合物中的碳化物的至少大体上全部。

4. 如权利要求1所述的方法,其中所述第一温度在1025℃和1100℃之间。

5. 如权利要求1所述的方法,其中在所述第一温度热处理包括将所述材料加热至所述第一温度。

6. 如权利要求1所述的方法,其中在所述第一温度热处理被进行持续至少5分钟。

7. 如权利要求1所述的方法,其中在所述第一温度热处理被进行持续5分钟和120分钟之间。

8. 如权利要求1所述的方法,其中所述第二温度为20℃。

9. 如权利要求1所述的方法,其中所述冷却包括通过空气和液体中的至少一种来冷却。

10. 如权利要求1所述的方法,其中所述第三温度在650℃和780℃之间。

11. 如权利要求1所述的方法,其中在所述第三温度热处理包括将所述材料加热至所述第三温度。

12. 如权利要求1所述的方法,其中在所述第三温度热处理被进行持续0.5小时至3小时之间。

13. 如权利要求1所述的方法,其中所述第三条件减轻所述铁基组合物的铁素体相的形成。

14. 如权利要求1所述的方法,还包括将所述材料从所述第三温度冷却至低于所述第三温度的第四温度。

15. 如权利要求1所述的方法,其中在所述第三温度热处理在竖式熔炉中进行。

16. 如权利要求1所述的方法,其中所述碳化物中的至少一些在大于或等于650℃的温度是热稳定的。

17. 如权利要求1所述的方法,其中所述碳化物中的至少一些具有小于或等于1微米的大小。

18. 如权利要求1所述的方法,其中所述碳化物中的至少一些均匀地分布在所述马氏体相内。

19. 如权利要求1所述的方法,其中所述第三温度低于所述第一温度。
20. 如权利要求1所述的方法,还包括挤压包括所述铁基组合物的坯料。
21. 如权利要求1所述的方法,还包括在所述经历之前形成包括所述铁基组合物的坯料,其中所述形成包括选自以下的至少一个过程:冷阴极感应熔化、真空感应熔化、真空电弧重熔及电渣重熔。
22. 如权利要求1所述的方法,还包括形成包括所述铁基组合物的坯料,以及在经历之前纯化所述坯料。
23. 如权利要求1所述的方法,其中经历还包括使所述材料的厚度减少至少15%。
24. 如权利要求1所述的方法,还包括将所述材料从所述第三温度冷却至20℃的第四温度。
25. 如权利要求1所述的方法,其中所述组合是燃料元件的一部分,且所述第三温度在700℃。
26. 如权利要求1所述的方法,其中所述组合是燃料导管的一部分,所述第三温度在650℃。
27. 如权利要求1所述的方法,还包括将N引入所述铁基组合中并将所述铁基组合中的N的重量百分比控制在0.01重量百分比和0.04重量百分比之间。
28. 如权利要求27所述的方法,其中所述铁基组合包括:
 $(\text{Fe})_a(\text{Cr})_b(\text{M})_c$;
其中
a、b及c各自是表示重量百分比的大于零的数字;
M是至少一种过渡金属元素;
b在11和12之间;
c在0.25和0.9之间;且
所述组合还包括在0.01重量百分比和0.04重量百分比之间的至少N。
29. 如权利要求28所述的方法,其中所述铁基组合还包括:
在0.17重量百分比和0.22重量百分比之间的C;
在0.80重量百分比和1.2重量百分比之间的Mo;
小于或等于0.5重量百分比的Si;
小于或等于1.0重量百分比的Mn;
在0.25重量百分比和0.35重量百分比之间的V;
在0.40重量百分比和0.60重量百分比之间的W;
小于或等于0.03重量百分比的P;以及
小于或等于0.03重量百分比的S。
30. 如权利要求28所述的方法,其中所述铁基组合还包括:
在0.3重量百分比和0.7重量百分比之间的Ni。
31. 如权利要求28所述的方法,其中所述铁基组合还包括:
11.5重量百分比的Cr;
0.20重量百分比的C;
0.90重量百分比的Mo;

0.55重量百分比的Ni;

0.65重量百分比的Mn;

0.30重量百分比的V;

0.50重量百分比的W;

0.20重量百分比的Si;以及

0.02重量百分比的N。

32.如权利要求27所述的方法,其中所述第一温度在1025℃和1100℃之间。

33.如权利要求32所述的方法,其中在所述第一温度热处理包括将所述材料加热至所述第一温度。

34.如权利要求33所述的方法,其中所述铁基组合物包括:

$(\text{Fe})_a(\text{Cr})_b(\text{M})_c$;

其中

a、b及c各自是表示重量百分比的大于零的数字;

M是至少一种过渡金属元素;

b在11和12之间;且

c在0.25和0.9之间。

用于燃料元件的铁基组合物

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求2012年12月28日提交的美国临时申请第61/747,054号以及2013年3月11日提交的美国实用新型申请第13/794,589号的权益,其通过引用以其整体并入本文。

[0003] 背景

[0004] 本专利申请涉及包括覆层材料(cladding material)的燃料元件,以及与该燃料元件相关的方法。

[0005] 概述

[0006] 公开的实施方案包括燃料元件、燃料组件、覆层材料,以及制备和使用燃料元件、燃料组件、覆层材料的方法。

[0007] 前述内容是概述,并且因此可能包含细节的简化、概括、包含和/或省略;因此,本领域技术人员将认识到,本概述仅是说明性的并且不意图以任何方式是限制性的。除了上文描述的任何说明性的方面、实施方案和特征以外,通过参考附图和以下的详细描述,另外的方面、实施方案和特征将变得明显。本文描述的装置和/或方法和/或其他主题的其他方面、特征和优势在本文陈述的教导中将变得明显。

[0008] 附图简述

[0009] 技术人员将理解的是,附图主要是为了说明性的目的,且不意图限制本文描述的发明主题的范围。附图不一定是按比例,在某些情况下,本文公开的发明主题的各个方面在附图中可能被扩大或放大显示,以促进对不同特征的理解。在附图中,相同的参考符号通常指的是相同的特征(例如,功能上相似的和/或结构上相似的元件)。

[0010] 图1a-1b提供了在一个示例性实施方案中的例证性的(a)核燃料组件和(b)燃料元件的示意形式的局部剖面透视图。

[0011] 图2a和图2b-2f分别提供了在一个示例性实施方案中的制备组合物的过程及过程的说明性细节的流程图。

[0012] 图3a-3c提供了显示在一个示例性实施方案中的已经经历了不同过程的铁基组合物的不同微观结构的光学显微照片。

[0013] 图4a和图4b-4e分别提供了在另一个示例性实施方案中的制备组合物的过程及过程的说明性细节的流程图。

[0014] 图5a和图5b分别提供了在一个示例性实施方案中的使用组合物的过程及过程的说明性细节的流程图。

[0015] 详细描述

[0016] 简介

[0017] 在以下的详细描述中,参考形成说明书一部分的附图。在附图中,除非上下文另外规定,否则相似的或相同的符号在不同附图中的使用通常表示相似或相同的项目。

[0018] 在详细描述、附图和权利要求中描述的例证性实施方案不意味着是限制性的。可以使用其他的实施方案,且可以作出其他的改变,而不偏离此处所呈现的主题的精神或范围。

[0019] 本领域技术人员将认识到,为了概念清楚起见,本文描述的部件(例如操作)、装置、对象及伴随它们的讨论被用作例子,并且预期各种配置修改。因此,如本文所使用的,所陈述的具体实施例和伴随的讨论意图是它们较一般的类别的代表。总的来说,任何具体实施例的使用意图是其类别的代表,并且具体部件(例如操作)、装置和对象的未包括内容不应该被认为是限制性的。

[0020] 为了陈述清楚起见,本申请使用形式大纲标题。然而,应理解,大纲标题是为了陈述的目的,并且不同类型的主题可以在整个申请中被讨论(例如,装置/结构可以在过程/操作标题下被描述,和/或过程/操作可以在结构/过程标题下被讨论;和/或对单个主题的描述可能跨越两个或更多个主题标题)。因此,形式大纲标题的使用并不意图以任何方式是限制性的。

[0021] 综述

[0022] 通过综述,在一个实施方案中提供了制备组合物的方法,所述方法包括:在第一条件下在第一温度下热处理包括铁基组合物的材料,在所述第一条件下铁基组合物中的至少一些被转化为奥氏体相;在第二条件下在冷却速率下将材料冷却至第二温度,在所述第二条件下铁基组合物中的至少一些被转化为马氏体相;以及在第三条件下在第三温度下热处理材料,在所述第三条件下碳化物被沉淀。

[0023] 在另一个实施方案中提供了制备组合物的方法,所述方法包括:使材料经历冷拔、冷轧及皮尔格轧制(pilgering)中的至少一种;在第一条件下在第一温度下热处理包括铁基组合物的材料,在所述第一条件下铁基组合物中的至少一些被转化为奥氏体相;在第二条件下在冷却速率下将材料冷却至第二温度,在所述第二条件下铁基组合物中的至少一些被转化为马氏体相;以及在第三条件下在第三温度下热处理材料,在所述第三条件下碳化物被沉淀。

[0024] 在另一个实施方案中提供了组合物,所述组合物包含: $(\text{Fe})_a(\text{Cr})_b(\text{M})_c$; 其中a、b及c各自是表示重量百分比的大于零的数字;M是至少一种过渡金属元素;b在11和12之间;c在约0.25和约0.9之间;且通过a来平衡;并且组合物还包括在约0.01wt%和约0.04wt%之间的至少N。

[0025] 在另一个实施方案中提供了组合物,所述组合物包含: $(\text{Fe})_a(\text{Cr})_b(\text{Mo}, \text{Ni}, \text{Mn}, \text{W}, \text{V})_c$; 其中a、b及c各自是表示重量百分比的大于零的数字;b在11和12之间;c在约0.25和约0.9之间;且通过a来平衡;组合物的至少大体上全部具有马氏体相;并且组合物包括在约0.01wt%和约0.04wt%之间的N。

[0026] 在另一个实施方案中提供了使用燃料组件的方法,包括:使用燃料组件发电,燃料组件的燃料元件包括组合物,所述组合物由以下化学式表示: $(\text{Fe})_a(\text{Cr})_b(\text{M})_c$; 其中a、b及c各自是表示重量百分比的大于零的数字;M是至少一种过渡金属元素;b在11和12之间;c在约0.25和约0.9之间;且通过a来平衡;并且组合物还包括在约0.01wt%和约0.04wt%之间的至少N。

[0027] 在另一个实施方案中提供了包含管状组合物的燃料元件,所述管状组合物由以下方法制备,所述方法包括:在第一条件下在第一温度下热处理包括铁基组合物的材料,在所述第一条件下铁基组合物中的至少一些被转化为奥氏体相;在第二条件下在冷却速率下将材料冷却至第二温度,在所述第二条件下铁基组合物中的至少一些被转化为马氏体相;以

及在第三条件下在第三温度下热处理材料,在所述第三条件下碳化物被沉淀。在一个实施方案中,在其中存在氮的组合物中,碳化物的沉淀可以伴随氮化物和碳氮化物的沉淀。

[0028] 燃料组件

[0029] 图1a提供根据一个实施方案的核燃料组件10的局部图示。燃料组件可以是可裂变核燃料组件或能产生裂变物质的核燃料组件。组件可以包括燃料元件(或“燃料棒”或“燃料针”)11。图1b提供了根据一个实施方案的燃料元件11的局部图示。如在本实施方案中所示,燃料元件11可以包括覆层材料13、燃料14,及在某些情况下至少一个空隙15。

[0030] 燃料可以通过外部覆层材料13密封于腔内。在某些情况下,如图1b中所示,多种燃料材料可以轴向地堆放,但是这不需要情况如此。例如,燃料元件可以仅含有一种燃料材料。在一个实施方案中,空隙15可以存在于燃料材料和覆层材料之间,尽管空隙不需要存在。在一个实施方案中,空隙填充有加压的气氛,比如加压的氦气气氛。

[0031] 燃料可以含有任何可裂变材料。可裂变材料可以含有金属和/或金属合金。在一个实施方案中,燃料可以是金属燃料。可以理解的是,金属燃料可以提供相对高的重金属载量及优良的中子经济性,其对于核裂变反应堆的增殖和燃烧过程是令人满意的。根据应用,燃料可以包括选自U、Th、Am、Np及Pu的至少一种元素。如本文通过化学符号表示的术语“元素”可以指的是在周期表中发现的元素-这不应当与“燃料元件”的“元件”混淆。在一个实施方案中,燃料可以包括至少约90wt% U-例如至少95wt%、98wt%、99wt%、99.5wt%、99.9wt%、99.99wt%或更高的U。燃料还可以包括耐火材料,所述耐火材料可以包括选自Nb、Mo、Ta、W、Re、Zr、V、Ti、Cr、Ru、Rh、Os、Ir和Hf的至少一种元素。在一个实施方案中,燃料可以包括另外的可燃毒物,比如硼、钆或钷。

[0032] 金属燃料可以与约3wt%至约10wt%的锆成合金以在辐射期间在尺寸上稳定合金,且抑制覆层的低温共熔及腐蚀损害。钠的热结合层填充存在于合金燃料和覆层管内壁之间的空隙,以允许燃料膨胀且提供有效的热转移,这可以保持燃料温度是低的。在一个实施方案中,各个燃料元件11可以具有从约0.8mm直径至约1.6mm直径的细线12,该细线12围绕覆层管的周边螺旋缠绕,以提供冷却剂空间及各个燃料元件56在燃料组件18和20(其还充当冷却剂导管)的壳体内部的机械分离。在一个实施方案中,由于通过大量经验数据所指示的辐射性能,覆层13和/或绕线12可以由铁素体-马氏体钢制造。

[0033] 燃料元件

[0034] “燃料元件”,比如图1a-1b中所示的、在发电反应堆的燃料组件中的元件11,通常可以采取圆柱棒形式。燃料元件可以是发电反应堆的一部分,所述发电反应堆为核电设备的一部分。根据应用,燃料元件可以具有关于其长度和直径的任何适宜的尺寸。燃料元件可以包括覆层13及布置于覆层13的内部燃料14。在核反应堆的情况下,燃料可以含有(或是)核燃料。在一个实施方案中,核燃料可以是环形核燃料。燃料元件可以另外包括布置于核燃料14和覆层13之间的衬层。衬层可以含有多层。

[0035] 燃料可以具有任何几何形状。在一个实施方案中,燃料具有环形的几何形状。在这样的实施方案中,呈环形形式的燃料可以允许在一定水平的燃耗之后实现期望水平的燃料密度。另外,这样的环形构型可以维持燃料和覆层之间的压缩力以促进热运输。根据应用,燃料可被调整以具有各种性质。例如,燃料可以具有任何水平的密度。在一个实施方案中,期望具有高密度的燃料,比如尽可能接近理论密度铀的燃料(在含有铀的燃料的情况下)。

在另一个实施方案中,具有高孔隙率(低密度)可以防止辐射期间另外的内部空腔的形成,这在核燃料操作期间减少了结构材料(比如覆层)上的燃料压力。

[0036] 根据应用,用于覆层13的覆层材料可以包括任何适宜的材料。在一个实施方案中,覆层13可以包括选自金属、金属合金及陶瓷的至少一种材料。在一个实施方案中,覆层13可以含有耐火材料,比如耐火金属,所述耐火金属包括选自Nb、Mo、Ta、W、Re、Zr、V、Ti、Cr、Ru、Rh、Os、Ir、Nd及Hf的至少一种元素。在另一个实施方案中,覆层材料可以选自陶瓷材料,比如碳化硅或氧化铝(矾土)。

[0037] 在一个示例性实施方案中,覆层13中的金属合金可以是钢。钢可以选自奥氏体钢、铁素体-马氏体钢、氧化物分散的钢、T91钢、T92钢、HT9钢、316钢及304钢。钢可以具有任何类型的微观结构。例如,钢可以包括马氏体相、铁素体相和奥氏体相中的至少一种。在一个实施方案中,钢的大体上全部具有选自马氏体相、铁素体相和奥氏体相的至少一种相。根据应用,微观结构可以被调整以具有特定相(或多种相)。覆层13可以包括如下文描述的铁基组合物。

[0038] 燃料元件的部件中的至少一些可以被结合。结合可以是物理的(例如机械的)或化学的。在一个实施方案中,核燃料和覆层是机械地结合的。在一个实施方案中,第一层和第二层是机械地结合的。

[0039] 铁基组合物

[0040] 在本文的一个实施方案中提供了包括金属的组合物。金属可以包括金属、金属合金及金属间组合物中的至少一种。在一个实施方案中,金属包括铁。在一个实施方案中,组合物包括铁基组合物。在一个实施方案中,术语“X基”组合物可以指包括大量元素X(例如金属元素)的组合物。量可以为,例如至少30%-例如至少40%、至少50%、至少60%、至少70%、至少80%、至少90%、至少95%、至少99%或更多。根据上下文,本文的百分比可以指重量百分比或体积(或原子的)百分比。在一个实施方案中,铁基组合物可以包括钢。

[0041] 本文描述的组合物可以作为核燃料元件的组分被采用,比如其覆层材料。然而,含有金属的组合物不需限制为覆层材料,且在这样的组合物被采用的任何情况下都可以被采用。例如,在一个实施方案中提供了由化学式 $(\text{Fe})_a(\text{Cr})_b(\text{M})_c$ 表示的组合物,其中a、b及c各自是表示重量百分比的大于零的数字;根据上下文,这些数字可以可选择地表示体积百分比。在一个实施方案中,b是在11和12之间的数字;c在约0.25和约0.9之间;通过a来平衡。在一个实施方案中,组合物包括在约0.005wt%和约0.05wt%之间的至少氮(“N”)—例如约0.01wt%和约0.04wt%之间、约0.01wt%和约0.03wt%之间、约0.02wt%和约0.03wt%之间等。元素M可表示至少一种过渡金属元素。在此铁基组合物中的元素M可以是在周期表中存在的任何过渡金属元素—例如,在周期表的第3-12族中的元素。在一个实施方案中,M表示Mo、Ni、Mn、W和V中的至少一种。

[0042] 在另一个实施方案中,组合物可以包括(或是)铁基组合物,其包括钢组合物。组合物可以通过以下化学式表示: $(\text{Fe})_a(\text{Cr})_b(\text{Mo、Ni、Mn、W、V})_c$,其中a、b及c各自是表示重量百分比的大于零的数字;根据上下文,该数字可以可选择地表示体积百分比。在一个实施方案中,数字b在11和12之间;c在约0.25和约0.9之间;通过a来平衡。在一个实施方案中,组合物包括在约0.01wt%和约0.04wt%之间的N。

[0043] 组合物可以含有至少一种另外的元素。另外的元素可以是非金属元素。在一个实

施方案中,非金属元素可以是选自Si、S、C及P的至少一种元素。另外的元素可以是金属元素,包括Cu、Cr、Mo、Mn、V、W、Ni等。在一个实施方案中,组合物还包括在约10wt%和约12.5wt%之间的Cr;在约0.17wt%和约0.22wt%之间的C;在约0.80wt%和约1.2wt%之间的Mo;小于或等于约0.5wt%的Si;小于或等于约1.0wt%的Mn;在约0.25wt%和约0.35wt%之间的V;在约0.40wt%和约0.60wt%之间的W;小于或等于约0.03wt%的P;以及小于或等于约0.3wt%的S。在另一个实施方案中,组合物还包括约0.3wt%和0.7wt%之间的Ni。在另一个实施方案中,组合物还包括约11.5wt%的Cr;约0.20wt%的C;约0.90wt%的Mo;约0.55wt%的Ni;约0.65wt%的Mn;约0.30wt%的V;约0.50wt%的W;约0.20wt%的Si以及约0.02wt%的N。其他元素也可以以任何适宜的量存在。在某些情况下,某些附带的杂质可以存在。

[0044] 组合物可以包括铁基组合物,其包括包含调整的微观结构的钢组合物。例如,本文提供的组合物可以具有小量的 δ -铁素体相。在一个实施方案中,组合物至少大体上不含 δ -铁素体相。在另一个实施方案中,组合物完全地不含 δ -铁素体相。代替铁素体相,组合物可以包括马氏体相(例如回火马氏体)。在一个实施方案中,组合物的大体上全部具有马氏体相。在另一个实施方案中,组合物的完全全部具有马氏体相。如下文描述的,一种调整微观结构的技术(例如减轻铁素体相的形成)可以是把N的含量控制在本文提供的范围内。本文的减轻可以指减少和/或防止但是不需要指的是完全消除。

[0045] 微观结构,包括相,可以依据铬当量描述。在一个实施方案中,铬当量(Cr_{eq})是形成用于估算不锈钢、焊接金属中的相的组成图表中标绘的元素以及根据各种方程式计算的元素的铁素体的总和。在某些情况下,铬当量可以结合镍当量使用,其为形成奥氏体的元素的总和。根据至少材料的化学过程,方程式可以是任何适宜的方程式。在一个实施方案中,方程式可以通过净铬当量(净 Cr_{eq})表示,净 Cr_{eq} 是铬当量和镍当量之间的差。净 Cr_{eq} (wt%) = (%Cr) + 6(%Si) + 4(%Mo) + 11(%V) + 5(%Nb) + 1.5(%W) + 8(%Ti) + 12(%Al) - 4(%Ni) - 2(%Co) - 2(%Mn) - (%Cu) - 40(%C) - 30(%N)。在一个实施方案中,本文描述的组合物可以具有小于或等于约10的 Cr_{eq} -例如,小于或等于约9、8、7、6、5、4、3、2或更小。在一个实施方案中, Cr_{eq} 可以保持在9以下以减轻铁素体的形成。基于上文的方程式,N含量可以在 Cr_{eq} 的值中起重要作用,且因此在铁素体形成(或其缺乏)中起重要作用。

[0046] 至少部分由于微观结构,本文描述的组合物可以具有调整的材料性质。例如,组合物可以具有高的热稳定性。在一个实施方案中,组合物的热稳定性可以指在高温下组合物的特定相分解(或离解)成为另一个相的抗性。在一个实施方案中,本文描述的组合物在大于或等于约500°C-例如大于或等于约550°C、约600°C或更高的温度下是大体上热稳定的。

[0047] 本文提供的组合物可以包括另外的相或材料。例如,在组合物包含碳的情况下,碳元素可以以碳化物的形式存在。在一个实施方案中,组合物可以包括在组合物中大体上均匀分布的碳化物。根据应用,碳化物可以具有任何适宜的大小。在一个实施方案中,碳化物具有小于或等于约2微米-例如小于或等于约1微米、0.5微米、0.2微米、0.1微米或更小的大小。

[0048] 制备/使用铁基组合物的方法

[0049] 铁基组合物及包括本文描述的组合物的燃料元件可以通过多种技术制造。铁基组合物可以是本文描述的组合物中的任一种。例如,组合物可以包括钢。在另一个实施方案中

提供了通过本文描述的方法制备的具有管状结构的燃料元件。例如,参考图2a,在一个实施方案中提供了制备组合物的方法;该方法包括:在第一条件下在第一温度下热处理包括铁基组合物的材料,在第一条件下铁基组合物中的至少一些被转化为奥氏体相(步骤201);在第二条件下在冷却速率下将材料冷却至第二温度,在第二条件下铁基组合物中的至少一些被转化为马氏体相(步骤202);以及在第三条件下在第三温度下热处理材料,在第三条件下碳化物被沉淀(步骤203)。在一个实施方案中,步骤201和202同时可以被称为正火(normalization),然而步骤203可以被称为回火。

[0050] 第一温度可以是适用于第一条件的任何温度。在一个实例中,第一温度可以高于组合物的奥氏体化温度-铁基组合物的铁素体相的大体上全部都转化为奥氏体相的温度。奥氏体温度随着材料的化学过程而变化。在一个实施方案中,第一温度在约900℃和约1200℃之间-例如,约1000℃和约1150℃之间,约1025℃和约1100℃之间等。取决于材料,第一温度可以高于1200℃或低于900℃。

[0051] 参考图2b,在第一温度下热处理的过程还可以包括将材料加热至第一温度(步骤204)。取决于包括的材料,在第一温度下热处理可以被进行持续任何适宜长度的时间。时间可以被调整,使得长度足够长以促进均匀的奥氏体固体溶液的形成。在一个实施方案中,热处理可以被进行持续约至少3分钟-例如至少4分钟、5分钟、15分钟、20分钟、30分钟、60分钟、90分钟、120分钟、150分钟、180分钟或更多。更长或更短长度的时间也是可能的。在一个实施方案中,在第一温度下热处理可以被进行持续约1分钟和约200分钟之间-例如约2分钟和约150分钟之间、约3分钟和约120分钟之间、约5分钟和约60分钟之间等。在一个实施方案中,在第一温度下热处理期间(例如在处理结束时),铁基组合物中的至少一些被转化为奥氏体相。在一个实施方案中,组合物的大体上全部转化为奥氏体相。在另一个实施方案中,组合物的完全全部转化为奥氏体相。在一个实施方案中,第一条件减轻铁基组合物的 δ -铁素体相的形成。在另一个实施方案中,第一条件促进铁基组合物的大体上全部转化为奥氏体相。

[0052] 参考图2c,在第一温度下热处理的过程(步骤201)还可以包括溶解如果有的话存在于材料的铁基组合物中的碳化物的至少大体上全部(步骤205)。

[0053] 步骤202中的第二温度可以是适用于第二条件的任何温度。在一个实施方案中,第二温度小于或等于60℃-例如小于或等于50℃、40℃、30℃、20℃、10℃或更小。在一个实施方案中,第三温度为约室温(例如20℃)。冷却可以经由任何适宜的技术进行。在一个实施方案中,冷却包括通过空气和液体中的至少一种冷却。在一个实施方案中,第二条件促进铁基组合物的大体上全部转化为马氏体相。例如,冷却可以在足够的速率下进行,使得在冷却期间(例如在处理结束时),铁基组合物中的至少一些转化为马氏体相。在一个实施方案中,速率是足够高的,使组合物的大体上全部转化为马氏体相。在另一个实施方案中,速率是足够高的,使组合物的完全全部转化为马氏体相。在一个实施方案中,在冷却结束时,组合物大体上不含选自铁素体相和奥氏体相的至少一种相。在一个实施方案中,在冷却结束时,组合物完全不含选自铁素体相和奥氏体相的至少一种相。

[0054] 步骤203中的第三温度可以是适用于第三条件的任何温度。第三温度可以低于上文的奥氏体开始形成的温度。在一个实施方案中,第三温度可以低于第一温度。在一个实施方案中,第三温度是至少500℃-例如至少550℃、600℃、650℃、700℃、750℃、800℃、850℃、

900℃或更高。在一个实施方案中,第三温度在约500℃和约900℃-例如约550℃和约850℃、约600℃和约800℃、约650℃和约780℃、约700℃和约750℃等之间。更高或更低的温度也是可能的。第三温度可以是足够高以沉淀碳化物且赋予碳化物的高温稳定性,但足够低以使碳化物密度是高的且碳化物大小是小的,伴随以碳化物的均匀分布,以用于空隙抗膨胀性。

[0055] 参考图2d,在第三温度下热处理可以包括将材料加热至第三温度(步骤206)。取决于包括的材料,在第三温度下热处理可以被进行持续任何适宜长度的时间。在一个实施方案中,在第三温度下热处理可以被进行持续约0.1小时和约5小时之间-例如约0.2小时至约4小时之间、约0.5小时至约3小时之间、约1小时和约2小时之间等。更长或更短长度的时间也是可能的。在一个实施方案中,第三条件可以减轻铁基组合物的铁素体相和/或奥氏体相的形成。在一个实施方案中,组合物大体上不含铁素体相和/或奥氏体相。热处理可以通过任何适宜的技术来进行。在一个实施方案中,在第三温度下热处理在竖式熔炉里进行。

[0056] 可以包括另外的过程。例如,参考图2e,方法还可以包括将组合物从第三温度冷却至第四温度(步骤207)。第四温度可以低于第三温度。例如,第四温度可以小于或等于60℃-例如小于或等于50℃、40℃、30℃、20℃、10℃或更小。在一个实施方案中,第三温度为约室温(例如20℃)。参考图2f,方法还可包括控制材料的铁基组合物中的N的wt%,以减轻铁基组合物的碳化物相的增长(步骤208)。

[0057] 参考图3a-3c,在图中图示了铁基组合物的微观差异。图3a示出了传统的钢的具有块状 δ 铁素体颗粒的、缺少回火马氏体微观结构,以及具有许多缺乏复合碳化物微观结构的颗粒的微观结构。图3b示出了在回火马氏体颗粒中具有更均匀的碳化物微观结构的改进的微观结构-注意在该微观结构中仍然存在一些小的 δ 铁素体颗粒。图3c示出了使钢样品经历本文描述的过程的结果。该图示出了其中大部分颗粒区域具有高密度的精细分布的碳化物的大体上不含 δ 铁素体的改进的微观结构。

[0058] 另一个实施方案提供了制备组合物的可选择的方法。参考图4a,该方法包括:使材料经历冷拔、冷轧及皮尔格轧制中的至少一种(步骤401);在第一条件下在第一温度下热处理包括铁基组合物的材料,在第一条件下铁基组合物中的至少一些被转化为奥氏体相(步骤402);在第二条件下在冷却速率下将材料冷却至第二温度,在第二条件下铁基组合物中的至少一些被转化为马氏体相(步骤403);以及在第三条件下在第三温度下热处理材料,在第三条件下碳化物被沉淀(步骤404)。

[0059] 在步骤401中,材料被冷加工;冷拔、冷轧及皮尔格轧制仅是可以使材料经历的过程的一些实例。冷加工的一个结果是材料尺寸可以被改变为期望的值。例如,作为冷加工的结果,材料的厚度可以被减少。在一个实施方案中,厚度可以减少例如至少5%-例如至少10%、15%、20%、25%或更多。在一个实施方案中,减少在约5%和约20%之间-例如在约8%和约16%之间、在约10%和约15%之间等。更高或更低的值也是可能的。

[0060] 材料的尺寸可以通过另外的过程控制。在一个实施方案中,坯料(ingot)可以经历热机械加工以形成具有最终期望的尺寸的材料。参考图4b,待被处理的起始材料可以是具有圆柱形形状的坯件、坯料、锻件等(步骤405)。起始材料随后通过适宜的管状制造过程被机械加工(例如冷加工)(步骤406)。当管状制造过程包括冷加工时,工件可以在加工过程之后在低于上文的奥氏体开始形成的温度-低于从铁素体相转化至奥氏体相的温度的温度下被退火(“中间退火”)(步骤407)。在一个实施方案中,需要避开奥氏体,因为其在冷却时将

转化至硬的马氏体,因此阻碍软化过程。重复步骤406和407直至实现最终的尺寸为止。在一个实施方案中,在最终的冷加工步骤之后,提供给管其最终的尺寸(步骤408),管不再退火。如上文描述的,管随后可以经历正火和回火。

[0061] 方法可以包括另外的过程。参考图4c,方法还包括挤压包括组合物的坯料(步骤409)。参考图4d,方法还可包括在经历步骤之前形成包括铁基组合物的坯料,其中所述形成包括选自冷阴极感应熔化、真空感应熔化、真空电弧重熔及电渣重熔的至少一个过程(步骤410)。参考图4e,方法还可包括在经历步骤之前形成包括铁基组合物的坯料并且纯化坯料以除去杂质(例如P、S等)(步骤411)。形成和纯化过程可以包括任何适宜的技术。前面描述的温度可以根据包括的材料和/或其应用变化。

[0062] 包括组合物(例如,如覆层)的燃料元件(及燃料组件)可用于多种应用。在一个实施方案中提供了使用燃料组件的方法。参考图5a,该方法包括使用燃料组件发电,燃料元件包括本文描述的铁基组合物中的任一种(步骤501)。参考图5b,发电可以包括生成电功率和热功率中的至少一种(步骤502)。

[0063] 发电

[0064] 如上文描述的,本文描述的燃料组件可以是电力发电机或能量发生器的一部分,所述电力发电机或能量发生器可以是发电设备的一部分。燃料组件可以是核燃料组件。在一个实施方案中,燃料组件可以包括燃料、多个燃料元件及多个燃料导管,比如上文描述的那些。燃料导管可以包括布置于其中的多个燃料元件。

[0065] 本文描述的燃料组件可以适合于产生至少约50MW/m²-例如至少约60MW/m²、约70MW/m²、约80MW/m²、约90MW/m²、约100MW/m²或更高的峰面积功率密度。在某些实施方案中,燃料组件可以经历至少约120位移/原子(“DPA”) -例如至少约150DPA、约160DPA、约180DPA、约200DPA或更高的水平的辐射损害。

[0066] 在本说明书中提及的和/或在任何申请数据表中列出的上述美国专利、美国专利申请公布、美国专利申请、外国专利、外国专利申请及非专利公布中的全部,随本文在某种程度上不矛盾地通过引入以其整体并入本文。在包含的文献和相似材料中的一篇或多篇与本申请不同或矛盾的情况下,包括但不限于界定的术语、术语使用、描述的技术或类似情况,以本申请为准。

[0067] 关于本文中实质上任何的复数和/或单数的术语的使用,本领域技术人员可与上下文和/或应用相适应地从复数转换为单数和/或从单数转换为复数。为了清楚的目的,各种单数/复数置换在本文中不作特别阐述。

[0068] 本文描述的主题有时示出了包含在不同的其他部件内或与不同的其他部件相连接的不同的部件。应当理解,这样描绘的构造仅仅是示例性的,并且事实上,可以实施实现相同的功能的许多其他的构造。在概念意义上,实现相同的功能的部件的任何布置都是有效地“相关联的”,使得期望的功能得以实现。因此,本文中被组合以实现特定的功能的任何两个部件都可以被视为彼此“相关联”,使得期望的功能得以实现,而不管构造或中间部件如何。同样地,如此相关联的任何两个部件也可以被视为是彼此“可操作地连接的”或“可操作地耦合的”以实现期望的功能,并且能够如此相关联的任何两个部件也可以被视为是彼此“可操作地可耦合的”以实现期望的功能。可操作地可耦合的具体的例子包括但不限于物理地可配对和/或物理地相互作用的部件,和/或无线地可相互作用和/或无线地相互作用

的部件,和/或逻辑地相互作用和/或逻辑地可相互作用的部件。

[0069] 在某些情况下,一个或多个部件在本文中可以被称为“被配置为”、“被配置”、“可被配置为”、“可操作来/操作来”、“适合/可适合”、“能够”、“可符合/符合”等。本领域技术人员将认识到,除非上下文另外要求,否则这些术语(例如“被配置为”)可以通常包括活动状态的部件和/或非活动状态的部件和/或备用状态的部件。

[0070] 虽然已经示出和描述了本文所描述的当前主题的特定方面,但是对于本领域技术人员将明显的是,基于本文的教导可以做出变化和修改,而不偏离本文所描述的主题及其更宽的方面,并且因此所附的权利要求在它们的范围内包括所有这样的变化和修改,如在本文所描述的主题的真实精神和范围内的一样。本领域技术人员将理解,一般地,本文所使用的术语,且尤其是在所附的权利要求(例如,所附的权利要求的主体)中所使用的术语,一般意指“开放的”术语(例如,术语“包括(including)”应被理解为“包括但不限于”,术语“具有”应被理解为“至少具有”,术语“包括(includes)”应被理解为“包括但不限于”,等)。本领域技术人员还将理解,如果所引用的权利要求叙述的具体编号被引用,那么这一意义将在该权利要求中被明确引用,且在缺乏这样的叙述时,这个意义就不被呈现。例如,作为对理解的帮助,以下所附的权利要求可包含引导性短语“至少一个”和“一个或多个”的使用,以引入权利要求叙述。然而,这样的短语的使用不应该被解释为意味着权利要求叙述通过不定冠词“一(a)”或“一(an)”的引入将含有这样引入的权利要求叙述的任何具体的权利要求限制为含有仅仅一个这样的叙述的权利要求,即使当同一个权利要求包括引导性的短语“一个或更多个”或“至少一个”和诸如“一(a)”或“一(an)”的不定冠词(例如“一(a)”和/或“一(an)”通常应该被解释为意指“至少一个”或“一个或多个”)时;这也适用于用于引入权利要求叙述的定冠词的使用。另外,即使被引入的权利要求叙述的具体数字被明确引用,本领域技术人员将认识到,这样的叙述应通常被理解为意思是至少所引用的数字(例如,“两个叙述”的没有其他修饰语的纯叙述,通常意思是指至少两个叙述,或者是指两个或更多个叙述)。另外,在使用与“A、B和C等中的至少一个”相似的惯例的那些情况下,一般地,这样的结构在意义上意图是本领域中技术人员在惯例中所理解的意思(例如,“具有A、B和C中的至少一个的系统”可能包括但不限于只具有A、只具有B、只具有C、具有A和B一起、A和C一起、B和C一起、以及/或A、B和C一起等的系统)。另外,在使用与“A、B和C等中的至少一个”相似的惯例的那些情况下,一般地,这样的结构在意义上意图是本领域中技术人员在惯例中所理解的意思(例如,“具有A、B或C中的至少一个的系统”可能包括但不限于只具有A、只具有B、只具有C、具有A和B一起、A和C一起、B和C一起、和/或A、B和C一起等的系统)。本领域技术人员将进一步理解,除非上下文另外指示,否则通常表示两个或更多个可选的术语的分离的词语和/或短语无论在说明书、权利要求还是附图中都应该被理解为设想包括术语中的一个、术语中的任一个或两个术语的可能性。例如,短语“A或B”将通常被理解为包括“A”或“B”或“A和B”的可能性。

[0071] 关于所附的权利要求,本领域技术人员将认识到其中所引用的操作通常可以以任何顺序被执行。此外,虽然在一个顺序中存在各种操作流程,但是应当理解,各种操作可以按除所示的顺序之外的其他顺序执行,或可以并行地执行。除非上下文另外规定,否则这样的交替的排序的实施例可包括重叠、交错、中断、重新排序、递增、预备、补充、同时、反转,或其他的变化排序。此外,除非上下文另外规定,否则诸如“响应于”、“关于”或其他过去时

态的形容词的术语通常并不意图排除这样的变化形式。

[0072] 此外,本领域技术人员将认识到,上述的具体的示例性过程和/或装置和/或技术代表在本文中其它地方例如在同此一起提交的权利要求中和/或在本申请的其它地方教导的更一般的工艺和/或装置和/或技术。

[0073] 虽然本文中公开了各个方面和实施方案,但是其他的方面和实施方案对于本领域技术人员来说将是明显的。本文所公开的各个方面和实施方案是为了说明的目的且不意为是限制性的,真实的范围和精神由以下的权利要求来指示。

[0074] 本文所描述的过程的任何部分可以是自动化的。自动化可以通过包括至少一个计算机来完成。自动化可以通过储存于至少一个非暂时性计算机可读介质中的程序来执行。介质可以是,例如CD、DVD、USB、硬盘驱动器等。空心结构(包括组件)的选择还可以通过使用计算机和/或软件程序来优化。

[0075] 上文描述的本发明的实施方案可以以许多方式中的任一种方式来实施。例如,某些实施方案可以使用硬件、软件或其组合来实施。当实施方案中的任一方面至少部分在软件中被实施时,软件代码可以在无论是提供在单个计算机中还是分布在多个计算机间的任何适宜的处理器或处理器集上执行。

[0076] 此外,本文描述的技术可以作为方法来体现,其中已经提供了至少一个实施例。作为方法的一部分来执行的行为可以以任何适宜的方式排序。因此,实施方案可以被创立,其中行为可以以不同于图示的任何顺序进行,其可以包括同时地进行一些行为,即使在例证性实施方案中作为连续的行为示出。

[0077] 如在本文中所定义的和所使用的所有定义应当被理解为控制在词典定义、通过引用并入文件中的定义,和/或定义的术语的普通含义内。

[0078] 如本文在说明书和权利要求中所使用的不定冠词“一(a)”和“一(an)”,除非清楚地指示为相反,否则应当被理解为意指“至少一个”。

[0079] 如本文在说明书和权利要求中所使用的短语“和/或”,应当被理解为意指如此连接的要素的“任一个或二者”,即在某些情况下结合地存在的并且在其他情况下分离地存在的要素。用“和/或”列出的多个要素应当以相同的方式解释,即如此连接的要素的“一个或多个”。其他要素可以可选择地存在,除了“和/或”条目明确地确定的要素,无论与这些明确地确定的要素相关还是不相关。因此,作为非限制性实例,提及“A和/或B”,当与开放的语言比如“包括”共同地使用时,在一个实施方案中,可以指仅A(可选择地包括除了B的要素);在另一个实施方案中,是指仅B(可选择地包括除了A的要素);在又一个实施方案中,是指A和B二者(可选择地包括其他要素)等。

[0080] 如本文在说明书和权利要求中所使用的,“或”应当被理解为和上文定义的“和/或”具有相同的含义。例如,当分隔列表中的项时,“或”或“和/或”应当被解释为是包括性的,即,包括要素的数量或列表的至少一个,而且包括多于一个,以及,可选择地,包括另外的未列出的项。仅术语清楚地指示为相反,比如“中的仅一个”或“中的精确的一个”,或,当在权利要求中使用时,“由...组成”,将是指包括要素的数量或列表的精确的一个要素。通常,当排他性的术语,比如“任一个”、“中的一个”、“中的仅一个”或“中的精确的一个”在前时,如本文使用的术语“或”应当仅被解释为指示排他性的替代形式(即“一个或另一个但不是两者”)。“基本上由...组成”当在权利要求中使用时,应当具有如在专利法的领域中所使

用的普通含义。

[0081] 如本文在说明书和权利要求中所使用的,词组“至少一个”在引用一个或多个要素的列表时,应当被理解为意指选自要素的列表中的要素中的任何一个或多个要素的至少一个要素,但是不一定包括要素的列表内具体地列出的每一个要素的至少一个,且不排除要素列表中的要素的任何组合。该定义还允许要素可以可选择地存在,该要素不同于在要素的列表内的为短语“至少一个”具体地确定的要素,无论与这些特别地确定的要素相关还是不相干。因此,作为非限制性实例,“A和B中的至少一个”(或等效地,“A或B中的至少一个”,或等效地,“A和/或B中的至少一个”)可以在一个实施方案中指至少一个,可选择地包括多于一个A,其中B不存在(且可选择地包括除B之外的要素);在另一个实施方案中,是指至少一个,可选择地包括多于一个B,A不存在(且可选择地包括除了A的要素);在又一个实施方案中,是指至少一个,可选择地包括多于一个A,以及至少一个,可选择地包括多于一个B(且可选择地包括其他要素);等等。

[0082] 本文引用的任何范围是首尾包括性的。整个本说明书中所使用的术语“大体上”和“约”用于描述和说明小的波动。例如,它们可以指小于或等于 $\pm 5\%$,比如小于或等于 $\pm 2\%$ 、比如小于或等于 $\pm 1\%$ 、比如小于或等于 $\pm 0.5\%$ 、比如小于或等于 $\pm 0.2\%$ 、比如小于或等于 $\pm 0.1\%$ 、比如小于或等于 $\pm 0.05\%$ 。

[0083] 在权利要求中,以及在上文的说明书中,所有过渡短语比如“包括”、“承载”、具有“”、“含有”、“涉及”、“容纳”、“包括(composed of)”及类似短语将被理解为开放性的,即理解为包括但不限于。仅过渡态短语“由...组成”和“基本上由...组成”应当分别是封闭式的或半封闭式的过渡短语,如在美国专利局的专利审查程序手册第2111.03章节中所提出的。

[0084] 权利要求不应当被理解为限于所描述的顺序或要素,除非声明是这种效果。应理解,本领域普通技术人员可以作出形式和细节上的各种改变,而在不偏离所附的权利要求的精神和范围。要求保护在以下的权利要求和与其等同的精神和范围内的所有实施方案。

[0085] 本文所描述的主题的方面在以下编号的项目中被提出:

[0086] 1.一种制备组合物的方法,所述方法包括:

[0087] 在第一条件下在第一温度下热处理包括铁基组合物的材料,在所述第一条件下所述铁基组合物中的至少一些被转化为奥氏体相;

[0088] 在第二条件下在冷却速率下将所述材料冷却至第二温度,在所述第二条件下所述铁基组合物中的至少一些被转化为马氏体相;以及

[0089] 在第三条件下在第三温度下热处理所述材料,在所述第三条件下碳化物被沉淀。

[0090] 2.如项目1所述的方法,其中所述材料在所述第一温度下所述热处理之前被冷轧、冷拔、及皮尔格轧制中的至少一种。

[0091] 3.如项目1所述的方法,其中所述铁基组合物包括钢。

[0092] 4.如项目1所述的方法,其中所述铁基组合物包括选自Cr、C、Mo、Ni、Mn、V、W、Si、N、S及P的至少一种元素。

[0093] 5.如项目1所述的方法,其中在所述第一温度下热处理包括溶解如果有的话存在于所述铁基组合物中的碳化物的至少大体上全部。

[0094] 6.如项目1所述的方法,其中所述第一温度在约1025℃和约1100℃之间。

[0095] 7.如项目1所述的方法,其中在所述第一温度下热处理包括将所述材料加热至所

述第一温度。

[0096] 8.如项目1所述的方法,其中在所述第一温度下热处理被进行持续至少5分钟。

[0097] 9.如项目1所述的方法,其中在所述第一温度下热处理被进行持续约5分钟和约120分钟之间。

[0098] 10.如项目1所述的方法,其中在所述第一温度下热处理中的所述铁基组合物的大体上全部均被转化为奥氏体相。

[0099] 11.如项目1所述的方法,其中所述第二温度为约20℃。

[0100] 12.如项目1所述的方法,其中所述冷却包括通过空气和液体中的至少一种来冷却。

[0101] 13.如项目1所述的方法,其中所述铁基组合物的大体上全部在所述冷却中被转化为马氏体相。

[0102] 14.如项目1所述的方法,其中所述铁基组合物在冷却结束时大体上不含选自铁素体相和奥氏体相的至少一种相。

[0103] 15.如项目1所述的方法,其中所述第三温度在约650℃和约780℃之间。

[0104] 16.如项目1所述的方法,其中在所述第三温度下热处理包括将所述材料加热至所述第三温度。

[0105] 17.如项目1所述的方法,其中在所述第三温度下热处理被进行持续约0.5小时至约3小时之间。

[0106] 18.如项目1所述的方法,其中所述第三条件减轻所述铁基组合物的铁素体相的形成。

[0107] 19.如项目1所述的方法,还包括将所述材料从所述第三温度冷却至低于所述第三温度的第四温度。

[0108] 20.如项目1所述的方法,其中在所述第三温度下热处理在竖式熔炉中进行。

[0109] 21.如项目1所述的方法,其中所述碳化物中的至少一些在大于或等于约650℃的温度下是热稳定的。

[0110] 22.如项目1所述的方法,其中所述碳化物中的至少一些具有小于或等于约1微米的大小。

[0111] 23.如项目1所述的方法,其中所述碳化物中的至少一些均匀地分布在所述马氏体相内。

[0112] 24.如项目1所述的方法,其中所述第三温度低于所述第一温度。

[0113] 25.一种制备组合物的方法,所述方法包括:

[0114] 使材料经历冷拔、冷轧及皮尔格轧制中的至少一种;

[0115] 在第一条件下在第一温度下热处理包括铁基组合物的所述材料,在所述第一条件下所述铁基组合物中的至少一些被转化为奥氏体相;

[0116] 在第二条件下在冷却速率下将所述材料冷却至第二温度,在所述第二条件下所述铁基组合物中的至少一些被转化为马氏体相;以及

[0117] 在第三条件下在第三温度下热处理所述材料,在所述第三条件下碳化物被沉淀。

[0118] 26.如项目25所述的方法,还包括挤压包括所述铁基组合物的坯料。

[0119] 27.如项目25所述的方法,其中经历包括中间退火所述材料。

[0120] 28.如项目25所述的方法,其中经历包括在低于从铁素体相到奥氏体相的转化温度的温度下中间退火所述材料。

[0121] 29.如项目25所述的方法,还包括在所述经历之前形成包括所述铁基组合物的坯料,其中所述形成包括选自以下的至少一个过程:冷阴极感应熔化、真空感应熔化、真空电弧重熔及电渣重熔。

[0122] 30.如项目25所述的方法,还包括形成包括所述铁基组合物的坯料,以及在经历之前纯化所述坯料。

[0123] 31.如项目25所述的方法,其中经历还包括使所述材料的厚度减少至少15%。

[0124] 32.如项目25所述的方法,其中所述第一条件减轻所述铁基组合物的 δ -铁素体相的形成。

[0125] 33.如项目25所述的方法,还包括将所述材料从所述第三温度冷却至低于所述第三温度的第四温度。

[0126] 34.如项目25所述的方法,还包括将所述材料从所述第三温度冷却至约20℃的第四温度。

[0127] 35.如项目25所述的方法,其中所述组合是燃料元件的一部分,且所述第三温度在约700℃。

[0128] 36.如项目25所述的方法,其中所述组合是燃料导管的一部分,且所述第三温度在约650℃。

[0129] 37.如项目25所述的方法,其中所述第三温度低于所述第一温度。

[0130] 38.如项目25所述的方法,其中所述第二温度为约20℃。

[0131] 39.如项目25所述的方法,其中所述铁基组合包括钢。

[0132] 40.如项目25所述的方法,其中所述铁基组合包括选自Cr、C、Mo、Ni、Mn、V、W、Si、N、S及P的至少一种元素。

[0133] 41.一种组合,包括:

[0134] $(\text{Fe})_a(\text{Cr})_b(\text{M})_c$;

[0135] 其中a、b及c各自是表示重量百分比的大于零的数字;

[0136] M是至少一种过渡金属元素;

[0137] b在11和12之间;

[0138] c在约0.25和约0.9之间;且

[0139] 所述组合还包括在约0.01wt%和约0.04wt%之间的至少N。

[0140] 42.如项目41所述的组合,其中M是Mo、Ni、Mn、W及V中的至少一种。

[0141] 43.如项目41所述的组合,还包括至少一种非金属元素,所述至少一种非金属元素包括选自Si、S和P的至少一种元素。

[0142] 44.如项目41所述的组合,还包括铜。

[0143] 45.如项目41所述的组合,其中N在约0.01wt%和约0.03wt%之间。

[0144] 46.如项目41所述的组合,还包括:

[0145] 在约10wt%和约12.5wt%之间的Cr;

[0146] 在约0.17wt%和约0.22wt%之间的C;

[0147] 在约0.80wt%和约1.2wt%之间的Mo;

- [0148] 小于或等于约0.5wt%的Si；
- [0149] 小于或等于约1.0wt%的Mn；
- [0150] 在约0.25wt%和约0.35wt%之间的V；
- [0151] 在约0.40wt%和约0.60wt%之间的W；
- [0152] 小于或等于约0.03wt%的P；以及
- [0153] 小于或等于约0.03wt%的S。
- [0154] 47.如项目41所述的组合物，还包括：
- [0155] 在约0.3wt%和0.7wt%之间的Ni。
- [0156] 48.如项目41所述的组合物，还包括：
- [0157] 约11.5wt%的Cr；
- [0158] 约0.20wt%的C；
- [0159] 约0.90wt%的Mo；
- [0160] 约0.55wt%的Ni；
- [0161] 约0.65wt%的Mn；
- [0162] 约0.30wt%的V；
- [0163] 约0.50wt%的W；
- [0164] 约0.20wt%的Si；以及
- [0165] 约0.02wt%的N。
- [0166] 49.如项目41所述的组合物，其中所述组合物的至少大体上全部具有马氏体相。
- [0167] 50.如项目41所述的组合物，其中所述组合物具有小于或等于约9的净 Cr_{eq} 。
- [0168] 51.一种组合物，包括：
- [0169] $(Fe)_a(Cr)_b(Mo, Ni, Mn, W, V)_c$ ；
- [0170] 其中a、b及c各自是表示重量百分比的大于零的数字；
- [0171] b在11和12之间；
- [0172] c在约0.25和约0.9之间；且
- [0173] 通过a来平衡；
- [0174] 所述组合物的至少大体上全部具有马氏体相；且
- [0175] 所述组合物还包括在约0.01wt%和约0.04wt%之间的N。
- [0176] 52.如项目51所述的组合物，还包括大体上均匀地分布于所述组合物中的碳化物。
- [0177] 53.如项目51所述的组合物，还包括具有小于或等于约1微米的大小的碳化物。
- [0178] 54.如项目51所述的组合物，其中所述组合物至少大体上不含 δ -铁素体相。
- [0179] 55.如项目51所述的组合物，其中所述组合物具有小于或等于约9的 Cr_{eq} 。
- [0180] 56.如项目51所述的组合物，其中所述组合物在大于或等于约650℃的温度下是大体上热稳定的。
- [0181] 57.一种燃料元件的覆层材料，所述覆层材料包括项目51所述的组合物。
- [0182] 58.一种发电设备，其中其燃料组件的至少一部分包括项目51所述的组合物。
- [0183] 59.一种核设备，其中其燃料组件的至少一部分包括项目51所述的组合物。
- [0184] 60.一种核反应堆，其中所述燃料元件的至少一部分包括项目51所述的组合物。
- [0185] 61.一种使用燃料组件的方法，包括：

[0186] 使用燃料组件发电,所述燃料组件的燃料元件包括铁基组合物,所述铁基组合物由以下化学式表示:

[0187] $(\text{Fe})_a(\text{Cr})_b(\text{M})_c$;

[0188] 其中a、b及c各自是表示重量百分比的大于零的数字;

[0189] M是至少一种过渡金属元素;

[0190] b在11和12之间;

[0191] c在约0.25和约0.9之间;且

[0192] 通过a来平衡;且

[0193] 所述组合物包括在约0.01wt%和约0.04wt%之间的至少N。

[0194] 62.如项目61所述的方法,其中所述铁基组合物是所述燃料元件的覆层材料的一部分。

[0195] 63.如项目61所述的方法,其中发电还包括产生电功率和热功率中的至少一种。

[0196] 64.如项目61所述的方法,其中所述组合物的至少大体上全部具有马氏体相。

[0197] 65.一种燃料元件,包括由以下方法制备的管状组合物,所述方法包括:

[0198] 在第一条件下在第一温度下热处理包括铁基组合物的材料,在所述第一条件下所述铁基组合物中的至少一些被转化为奥氏体相;

[0199] 在第二条件下在冷却速率下将所述材料冷却至第二温度,在所述第二条件下所述铁基组合物中的至少一些被转化为马氏体相;以及

[0200] 在第三条件下在第三温度下热处理所述材料,在所述第三条件下碳化物被沉淀。

[0201] 66.如项目65所述的燃料元件,其中所述燃料组件是核燃料组件的一部分。

[0202] 67.如项目65所述的燃料元件,其中所述方法还包括控制所述铁基组合物中的N的wt%以减轻所述铁基组合物的 δ -铁素体相的形成。

[0203] 68.如项目65所述的燃料元件,其中所述方法还包括将wt%的N引入所述铁基组合物中并将所述铁基组合物中的N的wt%控制在约0.01wt%和约0.04wt%之间。

[0204] 69.如项目65所述的燃料元件,其中所述第一温度高于所述第三温度。

[0205] 70.如项目65所述的燃料元件,其中在所述第一条件下所述铁基组合物的大体上全部被转化为奥氏体相。

[0206] 71.如项目65所述的燃料元件,其中在所述第二条件下所述铁基组合物的大体上全部被转化为马氏体相。

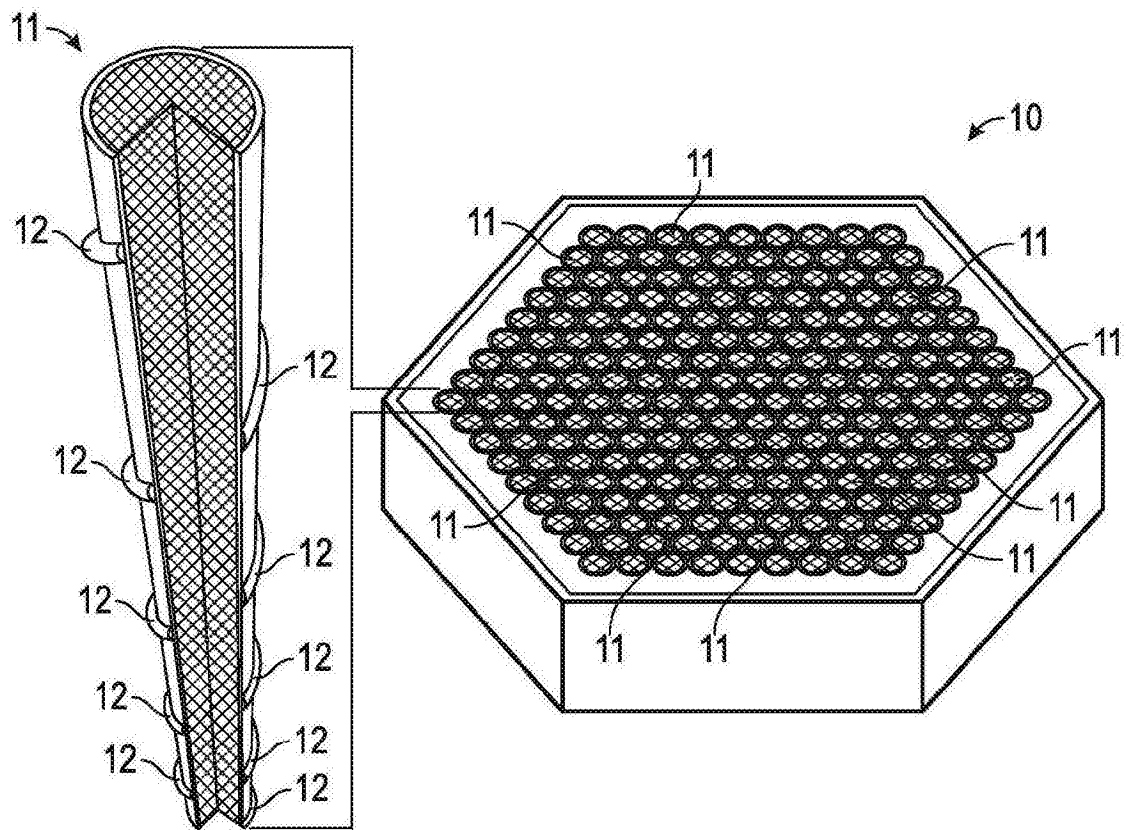


图1a

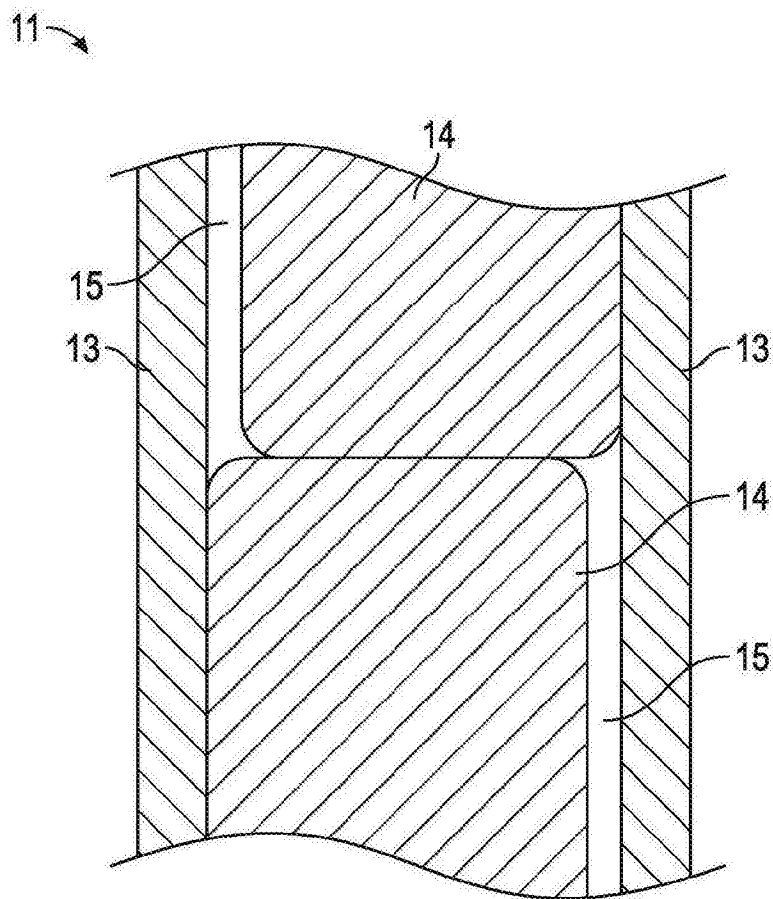


图1b

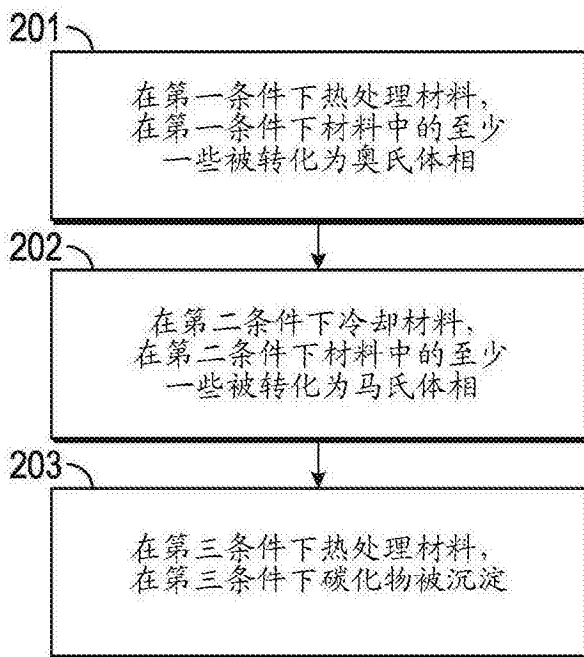


图2a

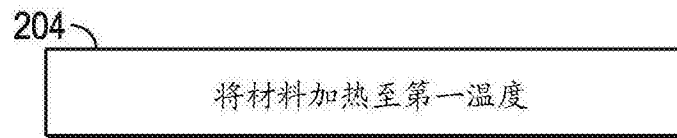


图2b

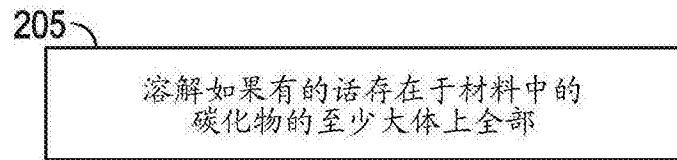


图2c

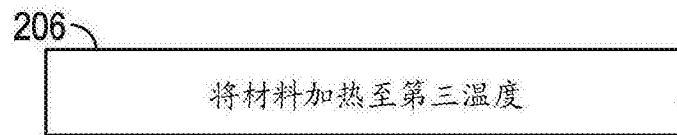


图2d

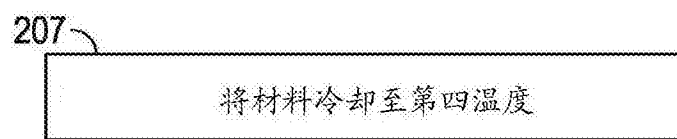


图2e

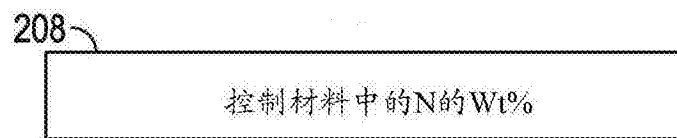


图2f

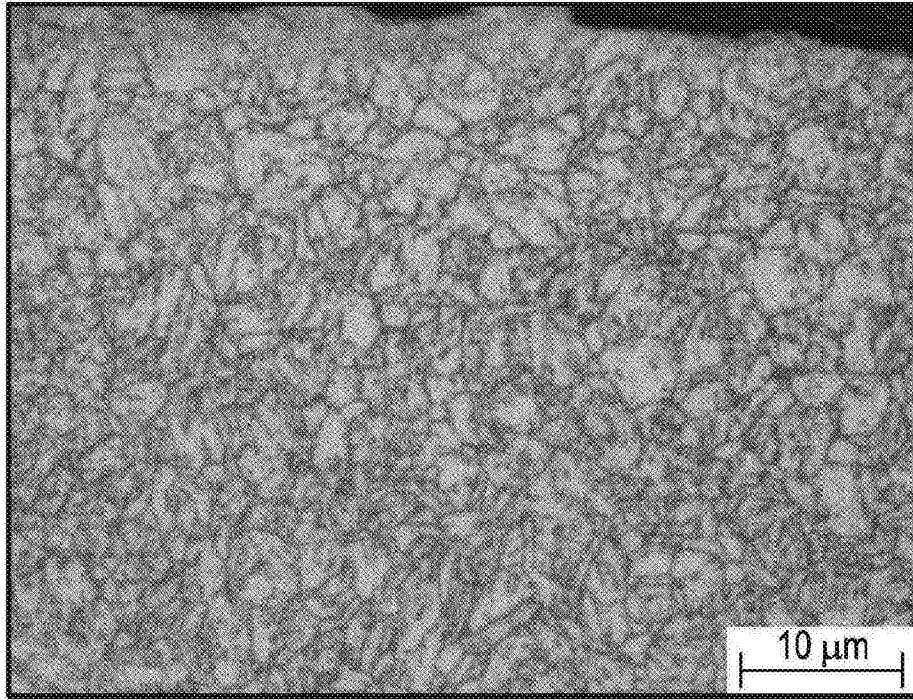


图3a

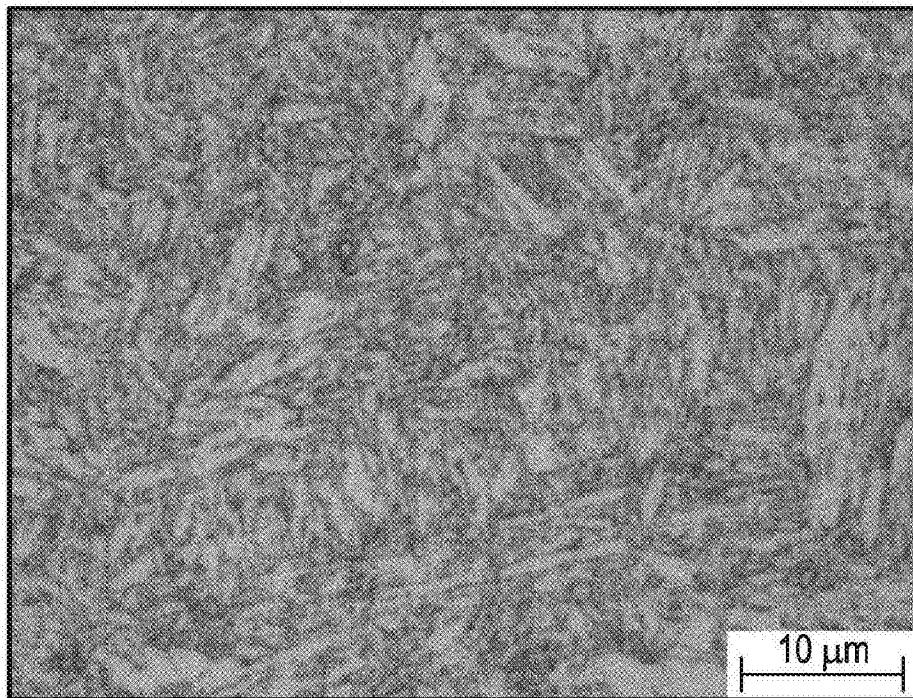


图3b

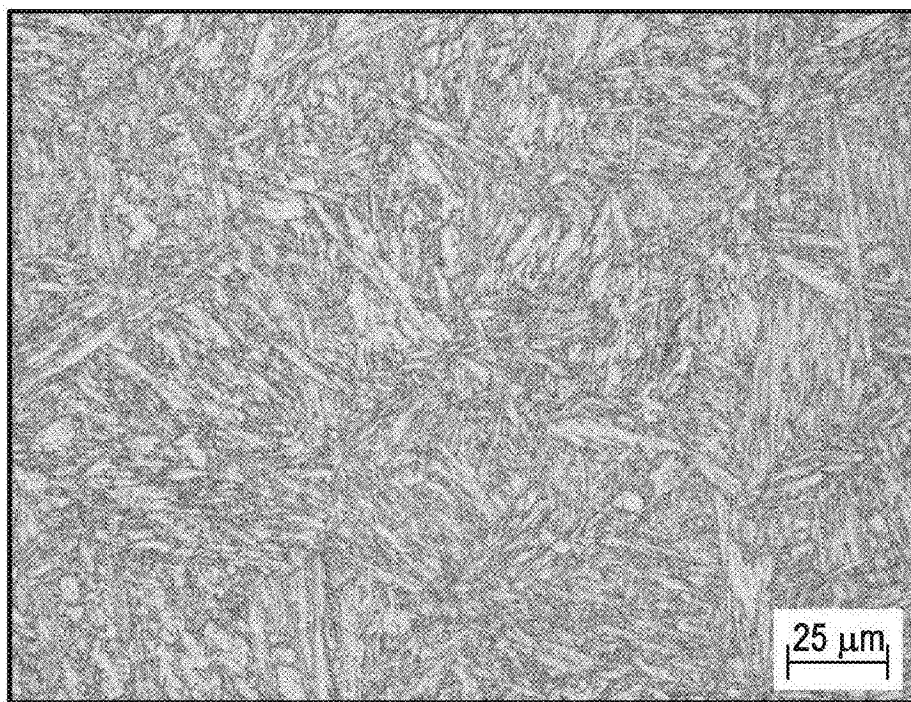


图3c

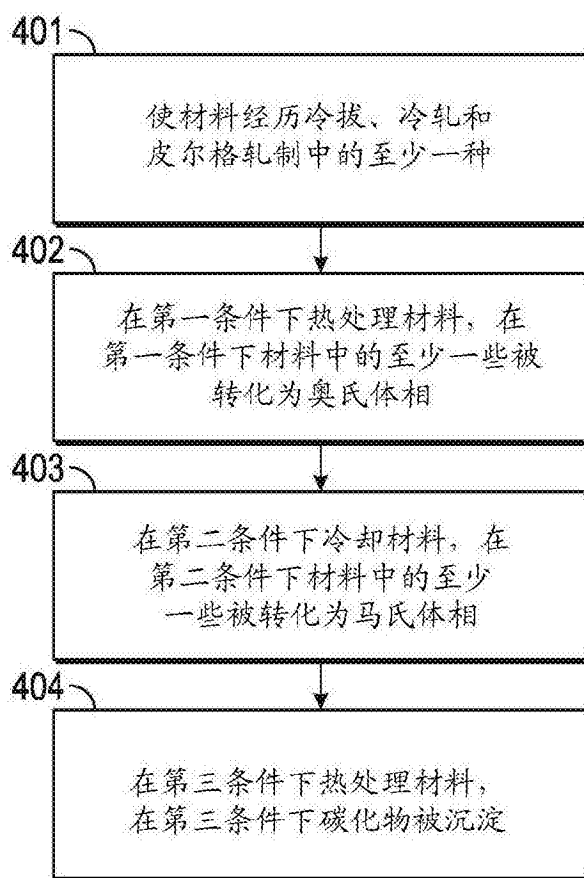


图4a

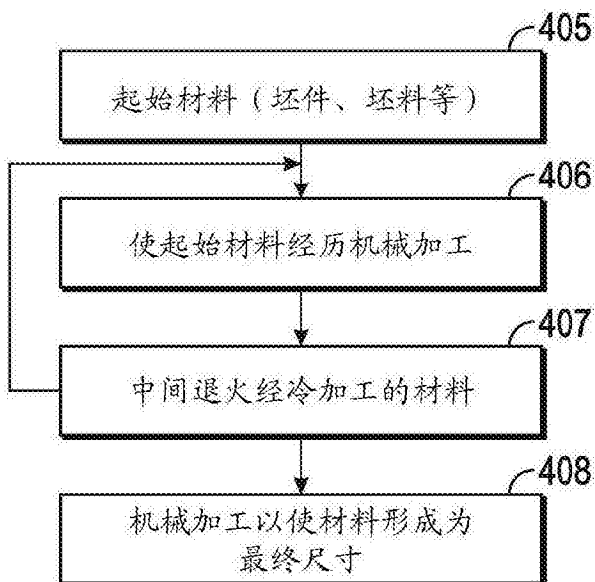


图4b

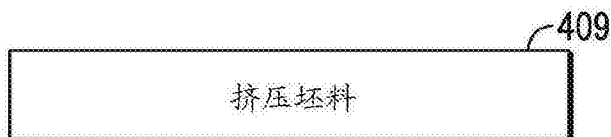


图4c

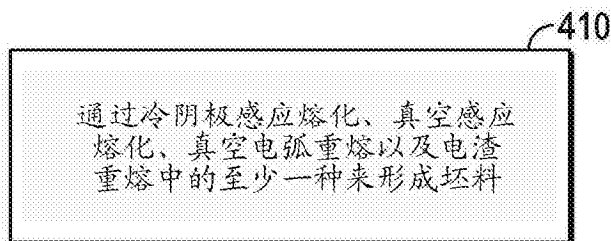


图4d

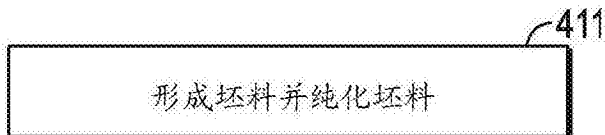


图4e

501

使用燃料组件发电，燃料组件的燃料
元件包括本文所描述的铁基组合物

图5a

502

产生电功率和热功率中的至少一种

图5b