



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114700495 B

(45) 授权公告日 2023.09.22

(21) 申请号 202210361058.3

CN 105463451 A, 2016.04.06

(22) 申请日 2022.04.07

CN 106319512 A, 2017.01.11

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 110340350 A, 2019.10.18

申请公布号 CN 114700495 A

CN 112831783 A, 2021.05.25

(43) 申请公布日 2022.07.05

EP 1647606 A1, 2006.04.19

(73) 专利权人 西安交通大学

WO 2022041255 A1, 2022.03.03

地址 710049 陕西省西安市咸宁西路28号

CN 110923707 A, 2020.03.27

(72) 发明人 王豫跃 张景纯 牛强 赖亚楠

CN 108866538 A, 2018.11.23

李长久 杨冠军

CN 114214555 A, 2022.03.22

(74) 专利代理机构 济南知来知识产权代理事务

CN 104043821 A, 2014.09.17

所(普通合伙) 37276

CN 108441859 A, 2018.08.24

专利代理师 曹丽

CN 113832461 A, 2021.12.24

(51) Int. Cl.

CN 110846537 A, 2020.02.28

B22F 9/04 (2006.01)

JP 2015224385 A, 2015.12.14

B22F 9/08 (2006.01)

WO 2014070006 A1, 2014.05.08

B22F 9/12 (2006.01)

王德宝等.第二章 机械合金化制备铜铬复合粉末.《高性能耐磨铜基复合材料的制备与性能研究》.2012, (续)

C22C 19/03 (2006.01)

审查员 轩庆庆

(56) 对比文件

CN 103993201 A, 2014.08.20

权利要求书2页 说明书10页 附图1页

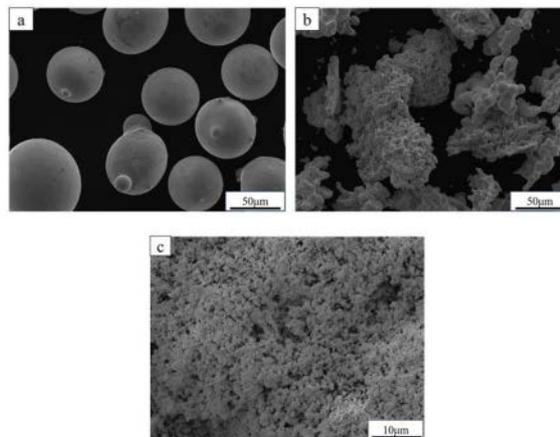
(54) 发明名称

一种不开裂高耐磨损耐腐蚀的镍基复合材料及其制备方法

能够使所制备的镍基复合涂层不开裂并且具有较高耐磨损、耐腐蚀性能。

(57) 摘要

本发明公开了一种不开裂高耐磨损耐腐蚀的镍基复合材料及其制备方法,属于激光增材制造技术领域,通过在镍基合金粉末中添加一定比例的铌或钽以及强化陶瓷相粉末中的碳化铌粉末、硼化铌粉末、碳化钽粉末和硼化钽粉末中的至少一种,铌和钽均是强碳化物形成元素,在熔池中会优先与碳结合生成碳化铌或碳化钽,避免粗大碳化物的形成,同时碳化铌或碳化钽都具有较低的吉布斯自由能,在熔池中会优先长大,同时外加的一定比例的强化陶瓷相粉末可以起到弥散强化作用防止合金硬度的大幅降低,由此通过抑制粗大脆性相的生成并增加异形核质点的方法实现了镍基复合材料粉末塑韧性的增加,



(a) Ni45 (b) Nb (c) NbC

CN 114700495 B

[接上页]

(56) 对比文件

吴文涛等. 铈对Ni60激光熔覆层显微组织及

耐磨性能的影响.《石家庄铁道大学学报(自然科学版)》.2017, (第02期),

1. 一种不开裂高耐磨损耐腐蚀的镍基复合材料,其特征在于,所述镍基复合材料的原材料包括质量份数比为20~30:0.5~2:2~6的镍基合金粉末、铌粉末和强化陶瓷相粉末,其中,所述镍基合金粉末的粉末粒径为10~150 μm ,所述铌粉末的单个颗粒粒径为4~6 μm ,所述铌粉末的聚集尺寸为10~150 μm ,所述强化陶瓷相粉末包括碳化铌粉末和硼化铌粉末中的至少一种,所述强化陶瓷相粉末的单个颗粒粒径为1~4 μm ,所述强化陶瓷相粉末的聚集尺寸为10~150 μm ;其中,添加的铌粉末在熔池中会优先与碳结合生成碳化铌,避免粗大碳化物的形成,同时外加的一定比例的碳化铌粉末和/或硼化铌粉末起到弥散强化作用防止合金硬度的大幅降低,通过添加的铌粉末在熔池中会优先与碳结合生成碳化铌而抑制粗大脆性相的生成并增加异质形核质点的方法,实现了镍基复合材料塑韧性的增加。

2. 一种不开裂高耐磨损耐腐蚀的镍基复合材料,其特征在于,所述镍基复合材料的原材料包括质量份数比为20~30:0.5~2:2~6的镍基合金粉末、钽粉末和强化陶瓷相粉末,其中,所述镍基合金粉末的粉末粒径为10~150 μm ,所述钽粉末的单个颗粒粒径为4~6 μm ,所述钽粉末的聚集尺寸为10~150 μm ,所述强化陶瓷相粉末包括碳化钽粉末和硼化钽粉末中的至少一种,所述强化陶瓷相粉末的单个颗粒粒径为1~4 μm ,所述强化陶瓷相粉末的聚集尺寸为10~150 μm ;其中,添加的钽粉末在熔池中会优先与碳结合生成碳化钽,避免粗大碳化物的形成,同时外加的一定比例的碳化钽粉末和/或硼化钽粉末起到弥散强化作用防止合金硬度的大幅降低,通过添加的钽粉末在熔池中会优先与碳结合生成碳化钽而抑制粗大脆性相的生成并增加异质形核质点的方法,实现了镍基复合材料塑韧性的增加。

3. 一种不开裂高耐磨损耐腐蚀的镍基复合材料,其特征在于,所述镍基复合材料的原材料包括质量份数比为20~30:0.5~2:2~6的镍基合金粉末、铌粉末和钽粉末的混合物、强化陶瓷相粉末,其中,所述镍基合金粉末的粉末粒径为10~150 μm ,所述铌粉末的单个颗粒粒径为4~6 μm ,所述铌粉末的聚集尺寸为10~150 μm ,所述钽粉末的单个颗粒粒径为4~6 μm ,所述钽粉末的聚集尺寸为10~150 μm ,所述强化陶瓷相粉末包括碳化铌粉末、硼化铌粉末、碳化钽粉末和硼化钽粉末中的至少一种,所述强化陶瓷相粉末的单个颗粒粒径为1~4 μm ,所述强化陶瓷相粉末的聚集尺寸为10~150 μm ;其中,添加的铌粉末和钽粉末在熔池中会优先与碳结合生成碳化铌和碳化钽,避免粗大碳化物的形成,同时外加的一定比例的碳化铌粉末、硼化铌粉末、碳化钽粉末和硼化钽粉末中的至少一种起到弥散强化作用防止合金硬度的大幅降低,通过添加的铌粉末在熔池中会优先与碳结合生成碳化铌而抑制粗大脆性相的生成并增加异质形核质点的方法,实现了镍基复合材料塑韧性的增加。

4. 根据权利要求1~3任一项所述的镍基复合材料,其特征在于,镍粉末的粉末粒径为17~53 μm ,铌粉末的单个颗粒粒径为4~5 μm ,铌粉末的聚集尺寸为17~53 μm ,碳化铌粉末的单个颗粒粒径为2~3 μm ,碳化铌粉末的聚集尺寸为10~20 μm ,硼化铌粉末的单个颗粒粒径为2~3 μm ,硼化铌粉末的聚集尺寸为10~20 μm ,钽粉末的单个颗粒粒径为4~5 μm ,钽粉末的聚集尺寸为17~53 μm ,碳化钽粉末的单个颗粒粒径为2~3 μm ,碳化钽粉末的聚集尺寸为10~20 μm ,硼化钽粉末的单个颗粒粒径为2~3 μm ,硼化钽粉末的聚集尺寸为10~20 μm 。

5. 一种制备如权利要求1~3任一项所述的不开裂高耐磨损耐腐蚀的镍基复合材料的方法,其特征在于,所述方法包括:

在球磨罐中加入质量份数比为20~30:0.5~2:2~6的镍基合金粉末、铌粉末和钽粉末中的至少一种、强化陶瓷相粉末,按照正转反转依次交替循环的球磨方式进行球磨200~260分

钟,其中,每球磨10~30分钟之后间隔停止3~6分钟后再启动球磨,球磨过程中球磨机的正转速度为70~100 r/min,反转速度为70~100 r/min,所述强化陶瓷相粉末包括碳化铌粉末、硼化铌粉末、碳化钽粉末和硼化钽粉末中的至少一种。

6.根据权利要求5所述的制备不开裂高耐磨损耐腐蚀的镍基复合材料的方法,其特征在于,按照正转反转依次交替循环的球磨方式进行球磨240分钟,其中,每球磨20分钟之后间隔停止5分钟后再启动球磨,球磨过程中球磨机的正转速度为90 r/min,反转速度为90 r/min。

7.根据权利要求6所述的制备不开裂高耐磨损耐腐蚀的镍基复合材料的方法,其特征在于,球磨过程中采用的不锈钢球磨珠包括质量比为1~2:3~6:2~4的大球、中球和小球,其中,大球、中球和小球为直径尺寸逐渐递减的三种尺寸球磨珠,球磨过程中的球料比为5~15:1;大球直径大于中球直径且小于中球直径的2倍,中球直径大于小球直径且小于小球直径的3倍,球磨过程中的球料比为10:1,球磨过程中采用的不锈钢球磨珠中大球、中球和小球的质量比为2:5:3。

8.根据权利要求7所述的制备不开裂高耐磨损耐腐蚀的镍基复合材料的方法,其特征在于,球磨过程中的正转速度和反转速度相同,镍基合金粉末、铌粉末和碳化铌粉末经球磨处理之后混合均匀且呈现小颗粒粉末包裹大颗粒粉末的粉末形态。

9.一种制备如权利要求1~3任一项所述的不开裂高耐磨损耐腐蚀的镍基复合材料的方法,其特征在于,所述方法包括:

在雾化机中加入按照质量份数比为20~30:0.5~2:2~6的比例加入镍基合金粉末、铌粉末和钽粉末中的至少一种、强化陶瓷相粉末,之后按照气雾化或水雾化的方式制备成小颗粒粉末包裹大颗粒粉末的混合粉末形态,其中,所述强化陶瓷相粉末包括碳化铌粉末、硼化铌粉末、碳化钽粉末和硼化钽粉末中的至少一种。

一种不开裂高耐磨损耐腐蚀的镍基复合材料及制备方法

技术领域

[0001] 本发明涉及激光增材制造、激光熔覆和激光热喷涂技术领域,尤其涉及一种不开裂高耐磨损耐腐蚀的镍基复合材料及其制备方法。

背景技术

[0002] 目前国内通过激光熔覆技术来制备镍基涂层提高基体的耐磨损性能时,由于所使用的Ni45或Ni60粉末具有较高的硬度,因此导致所制得的涂层塑韧性较差,在制备的过程中易产生裂纹等缺陷,这些缺陷会大大降低涂层的耐腐蚀性能,使基体无法得到有效的保护。然而当前大多数制备镍基复合材料的方法工艺流程都相对复杂,或所添加的元素较多且价格较高,导致制备成本大幅度增高,这一系列原因严重制约了镍基复合粉末在激光熔覆技术中的推广应用。

发明内容

[0003] 本发明提供一种不开裂高耐磨损耐腐蚀的镍基复合材料及其制备方法,旨在解决镍基复合材料塑韧性较差且制备工艺较为复杂的缺陷,通过添加极少量的合金元素、使用简单的工艺实现镍基粉末的改性,简化制备工艺流程。

[0004] 本发明提供的具体技术方案如下:

[0005] 第一方面,本发明提供的一种不开裂高耐磨损耐腐蚀的镍基复合材料,其特征在于,所述镍基复合材料的原材料包括质量份数比为20~30:0.5~2:2~6的镍基合金粉末、铌粉末和强化陶瓷相粉末,其中,所述镍基合金粉末的粉末粒径为10~150 μm ,所述铌粉末的单个颗粒粒径为4~6 μm ,所述铌粉末的聚集尺寸为10~150 μm ,所述强化陶瓷相粉末包括碳化铌粉末和硼化铌粉末中的至少一种,所述强化陶瓷相粉末的单个颗粒粒径为1~4 μm ,所述强化陶瓷相粉末的聚集尺寸为10~150 μm 。

[0006] 第二方面,本发明提供的一种不开裂高耐磨损耐腐蚀的镍基复合材料,所述镍基复合材料的原材料包括质量份数比为20~30:0.5~2:2~6的镍基合金粉末、钽粉末和强化陶瓷相粉末,其中,所述镍基合金粉末的粉末粒径为10~150 μm ,所述钽粉末的单个颗粒粒径为4~6 μm ,所述钽粉末的聚集尺寸为10~150 μm ,所述强化陶瓷相粉末包括碳化钽粉末和硼化钽粉末中的至少一种,所述强化陶瓷相粉末的单个颗粒粒径为1~4 μm ,所述强化陶瓷相粉末的聚集尺寸为10~150 μm 。

[0007] 第三方面,本发明提供的一种不开裂高耐磨损耐腐蚀的镍基复合材料,所述镍基复合材料的原材料包括质量份数比为20~30:0.5~2:2~6的镍基合金粉末、铌粉末和钽粉末的混合物、强化陶瓷相粉末,其中,所述镍基合金粉末的粉末粒径为10~150 μm ,所述铌粉末的单个颗粒粒径为4~6 μm ,所述铌粉末的聚集尺寸为10~150 μm ,所述钽粉末的单个颗粒粒径为4~6 μm ,所述钽粉末的聚集尺寸为10~150 μm ,所述强化陶瓷相粉末包括碳化铌粉末、硼化铌粉末、碳化钽粉末和硼化钽粉末中的至少一种,所述强化陶瓷相粉末的单个颗粒粒径为1~4 μm ,所述强化陶瓷相粉末的聚集尺寸为10~150 μm 。

[0008] 第四方面,本发明提供一种不开裂高耐磨损耐腐蚀的镍基复合材料,所述镍基复合材料由质量份数比为 $20\sim 30:0.5\sim 2:2\sim 6$ 的镍基合金粉末、铌粉末和钽粉末中的至少一种、强化陶瓷相粉末组成的原材料经混合而成,其中,所述镍基合金粉末的粉末粒径为 $10\sim 150\mu\text{m}$,所述铌粉末的单个颗粒粒径为 $4\sim 6\mu\text{m}$,所述铌粉末的聚集尺寸为 $10\sim 150\mu\text{m}$,所述钽粉末的单个颗粒粒径为 $4\sim 6\mu\text{m}$,所述钽粉末的聚集尺寸为 $10\sim 150\mu\text{m}$,所述强化陶瓷相粉末包括碳化铌粉末、硼化铌粉末、碳化钽粉末和硼化钽粉末中的至少一种,所述强化陶瓷相粉末的单个颗粒粒径为 $1\sim 4\mu\text{m}$,所述强化陶瓷相粉末的聚集尺寸为 $10\sim 150\mu\text{m}$ 。

[0009] 可选的,镍基合金粉末的粉末粒径为 $17\sim 53\mu\text{m}$,铌粉末的单个颗粒粒径为 $4\sim 5\mu\text{m}$,铌粉末的聚集尺寸为 $17\sim 53\mu\text{m}$,碳化铌粉末的单个颗粒粒径为 $2\sim 3\mu\text{m}$,碳化铌粉末的聚集尺寸为 $10\sim 20\mu\text{m}$,硼化铌粉末的单个颗粒粒径为 $2\sim 3\mu\text{m}$,硼化铌粉末的聚集尺寸为 $10\sim 20\mu\text{m}$,钽粉末的单个颗粒粒径为 $4\sim 5\mu\text{m}$,钽粉末的聚集尺寸为 $17\sim 53\mu\text{m}$,碳化钽粉末的单个颗粒粒径为 $2\sim 3\mu\text{m}$,碳化钽粉末的聚集尺寸为 $10\sim 20\mu\text{m}$,硼化钽粉末的单个颗粒粒径为 $2\sim 3\mu\text{m}$,硼化钽粉末的聚集尺寸为 $10\sim 20\mu\text{m}$ 。

[0010] 第五方面,本发明实施例提供一种制备不开裂高耐磨损耐腐蚀的镍基复合材料的方法,所述方法包括:

[0011] 在球磨罐中加入质量份数比为 $20\sim 30:0.5\sim 2:2\sim 6$ 的镍基合金粉末、铌粉末和钽粉末中的至少一种、强化陶瓷相粉末,按照正转反转依次交替循环的球磨方式进行球磨 $200\sim 260$ 分钟,其中,每球磨 $10\sim 30$ 分钟之后间隔停止 $3\sim 6$ 分钟后再启动球磨,球磨过程中球磨机的正转速度为 $70\sim 100\text{r}/\text{min}$,反转速度为 $70\sim 100\text{r}/\text{min}$,所述强化陶瓷相粉末包括碳化铌粉末、硼化铌粉末、碳化钽粉末和硼化钽粉末中的至少一种。

[0012] 可选的,按照正转反转依次交替循环的球磨方式进行球磨 240 分钟,其中,每球磨 20 分钟之后间隔停止 5 分钟后再启动球磨,球磨过程中球磨机的正转速度为 $90\text{r}/\text{min}$,反转速度为 $90\text{r}/\text{min}$ 。

[0013] 可选的,球磨过程中采用的不锈钢球磨珠包括质量比为 $1\sim 2:3\sim 6:2\sim 4$ 的大球、中球和小球,其中,大球、中球和小球为直径尺寸逐渐递减的三种尺寸球磨珠,球磨过程中的球料比为 $5\sim 15:1$;大球直径大于中球直径且小于中球直径的 2 倍,中球直径大于小球直径且小于小球直径的 3 倍,球磨过程中的球料比为 $10:1$,球磨过程中采用的不锈钢球磨珠中大球、中球和小球的质量比为 $2:5:3$ 。

[0014] 可选的,小球直径为 1.5mm ,中球直径为 3mm ,大球直径为 5mm 。

[0015] 可选的,球磨过程中的正转速度和反转速度相同,镍45粉末、铌粉末和碳化铌粉末经球磨处理之后混合均匀且呈现小颗粒粉末包裹大颗粒粉末的粉末形态。

[0016] 第六方面,本发明提供一种制备不开裂高耐磨损耐腐蚀的镍基复合材料的方法,所述方法包括:

[0017] 在雾化机中加入按照质量份数比为 $20\sim 30:0.5\sim 2:2\sim 6$ 的比例加入镍基合金粉末、铌粉末和钽粉末中的至少一种、强化陶瓷相粉末,之后按照气雾化或水雾化的方式制备成小颗粒粉末包裹大颗粒粉末的混合粉末形态,其中,所述强化陶瓷相粉末包括碳化铌粉末、硼化铌粉末、碳化钽粉末和硼化钽粉末中的至少一种。

[0018] 本发明的有益效果如下:本发明提供一种不开裂高耐磨损耐腐蚀的镍基复合材料,通过在镍基合金粉末中添加一定比例的铌或钽以及强化陶瓷相粉末,强化陶瓷相粉末

包括碳化铌粉末、硼化铌粉末、碳化钽粉末和硼化钽粉末中的至少一种,铌和钽均是强碳化物形成元素,在熔池中会优先与碳结合生成碳化铌或碳化钽,避免粗大碳化物的形成,同时碳化铌或碳化钽都具有较低的吉布斯自由能,在熔池中会优先长大,同时外加的一定比例的碳化铌、硼化铌、碳化钽或硼化钽可以起到弥散强化作用防止合金硬度的大幅降低,由此通过抑制粗大脆性相的生成并增加异质形核质点的方法实现了镍基复合材料塑韧性的增加,解决了镍基复合材料塑韧性较差且制备工艺较为复杂的缺陷,能够使所制备的镍基复合涂层不开裂并且具有较高耐磨损、耐腐蚀性能。

附图说明

[0019] 为了更清楚地说明本发明实施例中的技术方案,下面将对实施例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本发明的一些实施例,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,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0020] 图1为本发明实施例的一种不开裂高耐磨损耐腐蚀的镍基复合材料的各原材料粉末的显微形貌示意图;

[0021] 图2为本发明实施例的球磨完成后的镍基复合材料的显微形貌示意图。

具体实施方式

[0022] 为了使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合附图对本发明作进一步地详细描述,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它实施例,都属于本发明保护的范围。

[0023] 本发明的说明书和权利要求书中的术语“包括”和“具有”以及他们的任何变形,意图在于覆盖不排他的包含,例如,包含了一系列步骤或单元的过程、方法、系统、产品或设备不必限于清楚地列出的那些步骤或单元,而是可包括没有清楚地列出的或对于这些过程、方法、产品或设备固有的其它步骤或单元。

[0024] 下面将结合图1~图2对本发明实施例的一种不开裂高耐磨损耐腐蚀的镍基复合材料进行详细的说明。

[0025] 本发明实施例的发明人付出创造性的劳动对制备的开裂镍基涂层进行观察分析,付出创造性的劳动发现镍基涂层开裂的原因主要在高硬脆性的粗大碳化物在晶界处析出形成网状碳化物枝晶,之后由于高速激光熔覆是一个快热快冷的增材制造过程,进而在强烈的热失衡引起的热应力作用下,网状的碳化物沿晶界发生开裂导致涂层出现开裂现象,进而降低其耐腐蚀性能。

[0026] 正是基于上述分析和发现,本发明实施例创新性的在镍基合金粉末中添加一定比例的铌和碳化铌,铌是强碳化物形成元素,在熔池中会优先与碳结合生成碳化铌,避免粗大碳化物的形成,同时碳化铌具有较低的吉布斯自由能,在熔池中会优先长大,同时外加的一定比例的碳化铌可以起到弥散强化作用防止合金硬度的大幅降低,由此通过抑制粗大脆性相的生成并增加异质形核质点的方法,实现了镍基复合材料塑韧性的增加,解决了镍基复合材料塑韧性较差且制备工艺较为复杂的缺陷,能够使所制备的镍基复合涂层不开裂并且

具有较高耐磨损、耐腐蚀性能。

[0027] 实施例1

[0028] 参考图1和图2所示,本发明实施例提供一种不开裂高耐磨损耐腐蚀的镍基复合材料,其原材料包括质量份数比为20~30:0.5~2:2~6的镍基合金粉末、铌粉末和强化陶瓷相粉末,其中,镍基合金粉末的粉末粒径为10~150 μm ,铌粉末的单个颗粒粒径为4~6 μm ,铌粉末的聚集尺寸为10~150 μm ,强化陶瓷相粉末包括碳化铌粉末和硼化铌粉末中的至少一种,强化陶瓷相粉末的单个颗粒粒径为1~4 μm ,强化陶瓷相粉末的聚集尺寸为10~150 μm 。镍基合金粉末包括但不限于镍45、镍40、镍50、镍55、镍60等,本发明实施例对此不做限定。

[0029] 本发明实施例通过添加Nb或Ta等强碳化物和硼化物的生成元素(碳化物和硼化物是镍基合金的主要强化陶瓷相,也是产生开裂的主要原因),来抑制脆性陶瓷相,从而抑制涂层制备时产生裂纹。然后通过后续时效热处理,生成新的强化陶瓷相进一步提高涂层的硬度和强度,并因为制备涂层时产生的较高的应力在高温热处理时得到有效释放,从而避免了裂纹的产生(裂纹产生根本原因是脆性相+较高的应力)。

[0030] 其中,优选的,其原材料包括质量份数比为25:1:4的镍基合金粉末、铌粉末和强化陶瓷相粉末,其中,镍基合金粉末的粉末粒径为17~53 μm ,铌粉末的单个颗粒粒径为4~5 μm ,铌粉末的聚集尺寸为17~53 μm ,强化陶瓷相粉末包括碳化铌粉末和硼化铌粉末中的至少一种,强化陶瓷相粉末的单个颗粒粒径为2~3 μm ,强化陶瓷相粉末的聚集尺寸为10~20 μm 。

[0031] 通过优化选择镍基合金粉末、铌粉末和碳化铌粉末的粉末粒径,可以实现加入的铌元素充分降低镍基复合粉末的裂纹敏感性,提高其耐磨粒磨损的性能,而碳化铌的加入可以对镍基体起到弥散强化的作用,保证其硬度不会下降过多;合适的粉末颗粒尺寸选择以及球磨工艺的设置,最终形成包覆粉末以确保粉末成分的均匀性以及良好的流动性。通过优化选择镍基合金粉末、铌粉末和碳化铌粉末的粉末粒径,实现了小颗粒粉末包裹大颗粒粉末的粉末形态可以进一步避免高硬镍基合金涂层开裂的产生,提高其耐腐蚀性能。

[0032] 实施例2

[0033] 参考图1和图2所示,本发明实施例提供一种不开裂高耐磨损耐腐蚀的镍基复合材料,其原材料包括质量份数比为20~30:0.5~2:2~6的镍基合金粉末、铌粉末和碳化铌粉末,其中,所述镍基合金粉末的粉末粒径为10~150 μm ,所述铌粉末的单个颗粒粒径为4~6 μm ,所述铌粉末的聚集尺寸为10~150 μm ,碳化铌粉末的单个颗粒粒径为1~4 μm ,碳化铌粉末的聚集尺寸为10~150 μm 。

[0034] 通过在镍基合金粉末中添加一定比例的铌和碳化铌,铌是强碳化物形成元素,在熔池中会优先与碳结合生成碳化铌,避免粗大碳化物的形成,同时碳化铌具有较低的吉布斯自由能,在熔池中会优先长大,同时外加的一定比例的碳化铌可以起到弥散强化作用防止合金硬度的大幅降低,由此通过抑制粗大脆性相的生成并增加异质形核质点的方法,实现了镍基复合材料塑韧性的增加,解决了镍基复合材料塑韧性较差且制备工艺较为复杂的缺陷,能够使所制备的镍基复合涂层不开裂并且具有高耐磨损、耐腐蚀性能。

[0035] 实施例3

[0036] 本发明实施例提供一种不开裂高耐磨损耐腐蚀的镍基复合材料,其原材料包括质量份数比为20~30:0.5~2:2~6的镍基合金粉末、钽粉末和强化陶瓷相粉末,其中,镍基合金粉末的粉末粒径为10~150 μm ,钽粉末的单个颗粒粒径为4~6 μm ,钽粉末的聚集尺寸为10

~150 μm , 强化陶瓷相粉末包括碳化钽粉末和硼化钽粉末中的至少一种, 强化陶瓷相粉末的单个颗粒粒径为1~4 μm , 强化陶瓷相粉末的聚集尺寸为10~150 μm 。

[0037] 本发明通过在镍基合金粉末中添加一定比例的钽和碳化钽或硼化钽, 钽是强碳化物形成元素, 在熔池中会优先与碳或硼结合生成碳化钽或硼化钽, 避免粗大碳化物或硼化物的形成, 同时碳化钽或硼化钽具有较低的吉布斯自由能, 在熔池中会优先长大, 同时外加的一定比例的碳化钽或硼化钽可以起到弥散强化作用防止合金硬度的大幅降低, 由此通过抑制粗大脆性相的生成并增加异质形核质点的方法, 实现了镍基复合材料塑韧性的增加, 解决了镍基复合材料塑韧性较差且制备工艺较为复杂的缺陷, 能够使所制备的镍基复合涂层不开裂并且具有高耐磨损、耐腐蚀性能。

[0038] 优选的, 其原材料包括质量份数比为25:1:4的镍基合金粉末、钽粉末和强化陶瓷相粉末, 其中, 镍基合金粉末的粉末粒径为17~53 μm , 钽粉末的单个颗粒粒径为4~5 μm , 钽粉末的聚集尺寸为17~53 μm , 强化陶瓷相粉末包括碳化钽粉末和硼化钽粉末中的至少一种, 强化陶瓷相粉末的单个颗粒粒径为2~3 μm , 强化陶瓷相粉末的聚集尺寸为10~20 μm 。

[0039] 通过优化选择镍基合金粉末、钽粉末和碳化钽粉末或硼化钽粉末的粉末粒径, 可以实现加入的钽元素充分降低镍基复合粉末的裂纹敏感性, 提高其耐磨粒磨损的性能, 而碳化钽和硼化钽的加入可以对镍基体起到弥散强化的作用, 保证其硬度不会下降过多; 合适的粉末颗粒尺寸选择以及球磨工艺的设置, 最终形成包覆粉末以确保粉末成分的均匀性以及良好的流动性。通过优化选择镍基合金粉末、钽粉末和碳化钽粉末的粉末粒径, 实现了小颗粒粉末包裹大颗粒粉末的粉末形态可以进一步避免高硬镍基合金涂层开裂的产生, 提升其耐腐蚀性能。

[0040] 实施例4

[0041] 本发明实施例提供一种不开裂高耐磨损耐腐蚀的镍基复合材料, 其原材料包括质量份数比为20~30:0.5~2:2~6的镍基合金粉末、钽粉末和钽粉末的混合物、强化陶瓷相粉末, 其中, 镍基合金粉末的粉末粒径为10~150 μm , 钽粉末的单个颗粒粒径为4~6 μm , 钽粉末的聚集尺寸为10~150 μm , 钽粉末的单个颗粒粒径为4~6 μm , 钽粉末的聚集尺寸为10~150 μm , 强化陶瓷相粉末包括碳化钽粉末、硼化钽粉末、碳化钽粉末和硼化钽粉末中的至少一种, 强化陶瓷相粉末的单个颗粒粒径为1~4 μm , 强化陶瓷相粉末的聚集尺寸为10~150 μm 。

[0042] 本发明实施例通过添加钽或钽等强碳化物和硼化物的生成元素(碳化物和硼化物是镍基合金的主要强化陶瓷相, 也是产生开裂的主要原因), 来抑制脆性陶瓷相, 从而抑制涂层制备时产生裂纹。然后通过后续时效热处理, 生成新的强化陶瓷相进一步提高涂层的硬度和强度, 并因为制备涂层时产生的较高的应力在高温热处理时得到有效释放, 从而避免了裂纹的产生(裂纹产生根本原因是脆性相+较高的应力)。

[0043] 通过在镍基合金粉末中添加一定比例的钽、钽以及强化陶瓷相粉末, 强化陶瓷相粉末包括碳化钽粉末、硼化钽粉末、碳化钽粉末和硼化钽粉末中的至少一种, 钽和钽均是强碳化物形成元素, 在熔池中会优先与碳结合生成碳化钽或碳化钽, 避免粗大碳化物的形成, 同时碳化钽或碳化钽都具有较低的吉布斯自由能, 在熔池中会优先长大, 同时外加的一定比例的碳化钽、硼化钽、碳化钽或硼化钽可以起到弥散强化作用防止合金硬度的大幅降低, 由此通过抑制粗大脆性相的生成并增加异质形核质点的方法实现了镍基复合材料塑韧性

的增加,解决了镍基复合材料塑韧性较差且制备工艺较为复杂的缺陷,能够使所制备的镍基复合涂层不开裂并且具有高耐磨损、耐腐蚀性能。

[0044] 优选的,镍基合金粉末的粉末粒径为 $17\sim 53\mu\text{m}$,铌粉末的单个颗粒粒径为 $4\sim 5\mu\text{m}$,铌粉末的聚集尺寸为 $17\sim 53\mu\text{m}$,碳化铌粉末的单个颗粒粒径为 $2\sim 3\mu\text{m}$,碳化铌粉末的聚集尺寸为 $10\sim 20\mu\text{m}$,硼化铌粉末的单个颗粒粒径为 $2\sim 3\mu\text{m}$,硼化铌粉末的聚集尺寸为 $10\sim 20\mu\text{m}$,钽粉末的单个颗粒粒径为 $4\sim 5\mu\text{m}$,钽粉末的聚集尺寸为 $17\sim 53\mu\text{m}$,碳化钽粉末的单个颗粒粒径为 $2\sim 3\mu\text{m}$,碳化钽粉末的聚集尺寸为 $10\sim 20\mu\text{m}$,硼化钽粉末的单个颗粒粒径为 $2\sim 3\mu\text{m}$,硼化钽粉末的聚集尺寸为 $10\sim 20\mu\text{m}$ 。

[0045] 通过优化选择镍基合金粉末、铌粉末、碳化铌粉末、硼化铌粉末、钽粉末、碳化钽粉末和硼化钽粉末的粉末粒径,可以实现加入的铌元素和钽元素充分降低镍基复合粉末的裂纹敏感性,提高其耐磨粒磨损的性能,而碳化铌、硼化铌、碳化钽和硼化钽中的任何一个的加入都可以对镍基体起到弥散强化的作用,保证其硬度不会下降过多;合适的粉末颗粒尺寸选择以及球磨工艺的设置,最终形成包覆粉末以确保粉末成分的均匀性以及良好的流动性。通过优化选择镍基合金粉末、铌粉末、碳化铌粉末、硼化铌粉末、钽粉末、碳化钽粉末和硼化钽粉末的粉末粒径,实现了小颗粒粉末包裹大颗粒粉末的粉末形态可以进一步避免高硬镍基合金涂层开裂的产生,提升其耐腐蚀性能。

[0046] 实施例5

[0047] 本发明实施例提供一种不开裂高耐磨损耐腐蚀的镍基复合材料,由质量份数比为 $20\sim 30:0.5\sim 2:2\sim 6$ 的镍基合金粉末、铌粉末和钽粉末中的至少一种、强化陶瓷相粉末组成的原材料经混合而成,其中,镍基合金粉末的粉末粒径为 $10\sim 150\mu\text{m}$,铌粉末的单个颗粒粒径为 $4\sim 6\mu\text{m}$,铌粉末的聚集尺寸为 $10\sim 150\mu\text{m}$,钽粉末的单个颗粒粒径为 $4\sim 6\mu\text{m}$,钽粉末的聚集尺寸为 $10\sim 150\mu\text{m}$,强化陶瓷相粉末包括碳化铌粉末、硼化铌粉末、碳化钽粉末和硼化钽粉末中的至少一种,强化陶瓷相粉末的单个颗粒粒径为 $1\sim 4\mu\text{m}$,强化陶瓷相粉末的聚集尺寸为 $10\sim 150\mu\text{m}$ 。

[0048] 本发明实施例通过添加铌或钽等强碳化物和硼化物的生成元素(碳化物和硼化物是镍基合金的主要强化陶瓷相,也是产生开裂的主要原因),来抑制脆性陶瓷相,从而抑制涂层制备时产生裂纹。然后通过后续时效热处理,生成新的强化陶瓷相进一步提高涂层的硬度和强度,并因为制备涂层时产生的较高的应力在高温热处理时得到有效释放,从而避免了裂纹的产生(裂纹产生根本原因是脆性相+较高的应力)。

[0049] 通过在镍基合金粉末中添加一定比例的铌、钽以及强化陶瓷相粉末,强化陶瓷相粉末包括碳化铌粉末、硼化铌粉末、碳化钽粉末和硼化钽粉末中的至少一种,铌和钽均是强碳化物形成元素,在熔池中会优先与碳结合生成碳化铌或碳化钽,避免粗大碳化物的形成,同时碳化铌或碳化钽都具有较低的吉布斯自由能,在熔池中会优先长大,同时外加的一定比例的碳化铌、硼化铌、碳化钽或硼化钽可以起到弥散强化作用防止合金硬度的大幅降低,由此通过抑制粗大脆性相的生成并增加异质形核质点的方法实现了镍基复合材料塑韧性的增加,解决了镍基复合材料塑韧性较差且制备工艺较为复杂的缺陷,能够使所制备的镍基复合涂层不开裂并且具有高耐磨损、耐腐蚀性能。

[0050] 实施例6

[0051] 参考图1和图2所示,本发明实施例提供一种不开裂高耐磨损耐腐蚀的镍基复合材

料,其原材料包括质量份数比为20~30:0.5~2:2~6的镍45粉末、铌粉末和碳化铌粉末,其中,镍45粉末的粉末粒径为18~55 μm ,铌粉末的单个颗粒粒径为4~6 μm ,铌粉末的聚集尺寸为10~150 μm ,碳化铌粉末的单个颗粒粒径为1~4 μm ,碳化铌粉末的聚集尺寸为10~150 μm 。

[0052] 通过在镍基合金粉末中添加一定比例的铌和碳化铌,铌是强碳化物形成元素,在熔池中会优先与碳结合生成碳化铌,避免粗大碳化物的形成,同时碳化铌具有较低的吉布斯自由能,在熔池中会优先长大,同时外加的一定比例的碳化铌可以起到弥散强化作用防止合金硬度的大幅降低,由此通过抑制粗大脆性相的生成并增加异质形核质点的方法,实现了镍基复合材料塑韧性的增加,解决了镍基复合材料塑韧性较差且制备工艺较为复杂的缺陷,能够使所制备的镍基复合涂层不开裂并且具有高耐磨损、耐腐蚀性能。

[0053] 实施例7

[0054] 参考图1和图2所示,本发明实施例提供一种不开裂高耐磨损耐腐蚀的镍基复合材料,其原材料包括质量份数比为20~30:0.5~2:2~6的镍45粉末、铌粉末和碳化铌粉末,其中,镍45粉末的粉末粒径为17~53 μm ,铌粉末的单个颗粒粒径为4~5 μm ,铌粉末的聚集尺寸为17~53 μm ,碳化铌粉末的单个颗粒粒径为2~3 μm ,碳化铌粉末的聚集尺寸为10~20 μm 。

[0055] 通过优化选择镍45粉末、铌粉末和碳化铌粉末的粉末粒径,可以实现加入的铌元素充分降低镍基复合粉末的裂纹敏感性,提高其耐磨粒磨损的性能,而碳化铌的加入可以对镍基体起到弥散强化的作用,保证其硬度不会下降过多;合适的粉末颗粒尺寸选择以及球磨工艺的设置,最终形成包覆粉末以确保粉末成分的均匀性以及良好的流动性。通过优化选择镍45粉末、铌粉末和碳化铌粉末的粉末粒径,实现了小颗粒粉末包裹大颗粒粉末的粉末形态可以进一步避免高硬镍基合金涂层开裂的产生,提升其耐腐蚀性能。

[0056] 实施例8

[0057] 参考图1和图2所示,本发明实施例提供一种不开裂高耐磨损耐腐蚀的镍基复合材料,其原材料包括质量份数比为25:1:4的镍45粉末、铌粉末和碳化铌粉末,其中,镍45粉末的粉末粒径为17~53 μm ,铌粉末的单个颗粒粒径为4~5 μm ,铌粉末的聚集尺寸为17~53 μm ,碳化铌粉末的单个颗粒粒径为2~3 μm ,碳化铌粉末的聚集尺寸为10~20 μm 。

[0058] 通过优化镍45粉末、铌粉末和碳化铌粉末的质量配比,可以保证铌粉末对镍45粉末的改性效果,保证改性之后充分降低镍基复合粉末的裂纹敏感性,提高其耐磨粒磨损的性能,通过优化碳化铌粉末的加入比例,优化碳化铌对镍基体起到的弥散强化作用,保证改性之后的镍45粉末硬度不会下降过多,该比例下的镍45粉末、铌粉末和碳化铌粉末相互配合,实现了镍基复合材料塑韧性的增加,解决了镍基复合材料塑韧性较差且制备工艺较为复杂的缺陷,能够使所制备的镍基复合涂层不开裂并且具有高耐磨损、耐腐蚀性能。

[0059] 实施例9

[0060] 参考图1和图2所示,本发明实施例提供一种不开裂高耐磨损耐腐蚀的镍基复合材料,其由质量份数比为20~30:0.5~2:2~6的镍45粉末、铌粉末和碳化铌粉末的原材料经球磨混合而成,其中,镍45粉末的粉末粒径为18~55 μm ,铌粉末的单个颗粒粒径为4~6 μm ,铌粉末的聚集尺寸为15~60 μm ,碳化铌粉末的单个颗粒粒径为1~4 μm ,碳化铌粉末的聚集尺寸为8~25 μm 。

[0061] 通过优化镍基复合材料的原材料和混合工艺,通过仅仅在镍45粉末中加入铌粉末和碳化铌粉末解决了镍基复合材料塑韧性较差且制备工艺较为复杂的缺陷,通过添加极少

量的合金元素、使用简单的球磨工艺实现小颗粒粉末包裹大颗粒粉末的粉末形态, 铌粉末和碳化铌粉末包裹下的镍45粉末实现了镍基粉末的改性, 简化工艺流程; 而且, 包裹在镍45粉末外部的铌粉末可以降低镍基复合粉末的裂纹敏感性, 提高其耐磨粒磨损的性能, 包裹在镍45粉末外部的碳化铌粉末可以对镍基体起到弥散强化的作用, 保证其硬度不会下降过多; 合适的粉末颗粒尺寸选择以及球磨工艺的设置, 最终形成包覆粉末以确保粉末成分的均匀性以及良好的流动性。综上所述, 此策略可以避免高硬镍基合金涂层开裂的产生, 提升其耐腐蚀性能。

[0062] 实施例10

[0063] 参考图1和图2所示, 本发明实施例提供一种不开裂高耐磨损耐腐蚀的镍基复合材料, 其由质量份数比为20~30:0.5~2:2~6的镍45粉末、铌粉末和碳化铌粉末的原材料经球磨混合而成, 其中, 镍45粉末的粉末粒径为17~53 μm , 铌粉末的单个颗粒粒径为4~5 μm , 铌粉末的聚集尺寸为17~53 μm , 碳化铌粉末的单个颗粒粒径为2~3 μm , 碳化铌粉末的聚集尺寸为10~20 μm 。

[0064] 通过优化选择镍45粉末、铌粉末和碳化铌粉末的粉末粒径, 可以实现加入的铌元素充分降低镍基复合粉末的裂纹敏感性, 提高其耐磨粒磨损的性能, 而碳化铌的加入可以对镍基体起到弥散强化的作用, 保证其硬度不会下降过多; 合适的粉末颗粒尺寸选择以及球磨工艺的设置, 最终形成包覆粉末以确保粉末成分的均匀性以及良好的流动性。通过优化选择镍45粉末、铌粉末和碳化铌粉末的粉末粒径, 实现了小颗粒粉末包裹大颗粒粉末的粉末形态可以进一步避免高硬镍基合金涂层开裂的产生, 提升其耐腐蚀性能。

[0065] 实施例11

[0066] 参考图1和图2所示, 本发明实施例提供一种不开裂高耐磨损的镍基复合材料, 其由质量份数比为25:1:4的镍45粉末、铌粉末和碳化铌粉末的原材料经球磨混合而成, 其中, 镍45粉末的粉末粒径为17~53 μm , 铌粉末的单个颗粒粒径为4~5 μm , 铌粉末的聚集尺寸为17~53 μm , 碳化铌粉末的单个颗粒粒径为2~3 μm , 碳化铌粉末的聚集尺寸为10~20 μm 。

[0067] 通过优化镍45粉末、铌粉末和碳化铌粉末的质量配比, 可以保证铌粉末对镍45粉末的改性效果, 保证改性之后充分降低镍基复合粉末的裂纹敏感性, 提高其耐磨粒磨损的性能, 通过优化碳化铌粉末的加入比例, 优化碳化铌对镍基体起到的弥散强化作用, 保证改性之后的镍45粉末硬度不会下降过多, 该比例下的镍45粉末、铌粉末和碳化铌粉末相互配合, 实现了镍基复合材料塑韧性的增加, 解决了镍基复合材料塑韧性较差且制备工艺较为复杂的缺陷, 能够使所制备的镍基复合涂层不开裂并且具有高耐磨损、耐腐蚀性能。

[0068] 实施例12

[0069] 基于相同的发明构思, 本发明实施例还提供一种制备上述不开裂高耐磨损耐腐蚀的镍基复合材料的方法, 所述方法包括:

[0070] 在球磨罐中加入质量份数比为20~30:0.5~2:2~6的镍基合金粉末、铌粉末和钽粉末中的至少一种、强化陶瓷相粉末, 按照正转反转依次交替循环的球磨方式进行球磨200~260分钟, 其中, 每球磨10~30分钟之后间隔停止3~6分钟后再次启动球磨, 球磨过程中球磨机的正转速度为70~100r/min, 反转速度为70~100r/min, 强化陶瓷相粉末包括碳化铌粉末、硼化铌粉末、碳化钽粉末和硼化钽粉末中的至少一种。其中, 由于镍基合金粉末、铌粉末和钽粉末中的至少一种、强化陶瓷相粉末的粒度差异较大, 选择球磨的方式来进行均

匀混合,最终可以实现小颗粒粉末包裹大颗粒粉末的粉末形态。

[0071] 优选的,制备过程中,按照正转反转依次交替循环的球磨方式进行球磨240分钟,其中,每球磨20分钟之后间隔停止5分钟后再启动球磨,球磨过程中球磨机的正转速度为90r/min,反转速度为90r/min。通过合理的优化球磨时间和球磨方式,按照每球磨20分钟之后间隔停止5分钟后再启动球磨的方式进行,可以避免连续球磨导致粉末温度过高而影响其性能,通过每球磨20分钟之后间隔停止5分钟,可以避免球磨过程中粉末温度过高引起性能下降。

[0072] 优选的,球磨过程中采用的不锈钢球磨珠包括质量比为1~2:3~6:2~4的大球、中球和小球,其中,大球、中球和小球为直径尺寸逐渐递减的三种尺寸球磨珠,球磨过程中的球料比为5~15:1。通过优化选择球磨珠的尺寸配合,可以避免球磨完成之后的粉末颗粒度过小,优化选择球磨珠的尺寸和配比,配合球磨过程中正反转转速的优化,可以使粉末混合均匀并且避免球磨过程导致颗粒过小,保证了球磨完成之后小颗粒粉末包裹大颗粒粉末的粉末形态良好。

[0073] 优选的,大球直径大于中球直径且小于中球直径的2倍,中球直径大于小球直径且小于小球直径的3倍,球磨过程中的球料比为10:1,球磨过程中采用的不锈钢球磨珠中大球、中球和小球的质量比为2:5:3。其中,小球直径为1.5mm,中球直径为3mm,大球直径为5mm。通过优化球磨方式及参数选择可以使粉末混合均匀并且避免球磨过程导致颗粒过小,避免温度过高时粉末性能下降。

[0074] 优选的,球磨过程中的正转速度和反转速度相同,参考图1和图2所示,图1中(a)为镍45粉末在球磨处理前的电子显微镜下形貌,(b)为铌粉末在球磨处理前的电子显微镜下形貌,(c)为碳化铌粉末在球磨处理前的电子显微镜下形貌,根据图1可以看出来,球磨处理之前,镍45粉末、铌粉末和碳化铌粉末的粒径差别较大且不会出现相互包裹的形态,图2为镍45粉末、铌粉末和碳化铌粉末经球磨处理之后混合均匀在电子显微镜下呈现小颗粒粉末包裹大颗粒粉末的粉末形态,充分改善了Ni45的塑韧性,并保持了其一定的硬度,扩大了Ni基粉末的应用范围。

[0075] 本发明提供一种不开裂高耐磨损耐腐蚀的镍基复合材料,通过在镍基合金粉末中添加一定比例的铌和碳化铌,铌是强碳化物形成元素,在熔池中会优先与碳结合生成碳化铌,避免粗大碳化物的形成,同时碳化铌具有较低的吉布斯自由能,在熔池中会优先长大,同时外加的一定比例的碳化铌可以起到弥散强化作用防止合金硬度的大幅降低,由此通过抑制粗大脆性相的生成并增加异质形核质点的方法实现了镍基复合材料塑韧性的增加,解决了镍基复合材料塑韧性较差且制备工艺较为复杂的缺陷,能够使所制备的镍基复合涂层不开裂并且具有高耐磨损、耐腐蚀性能。

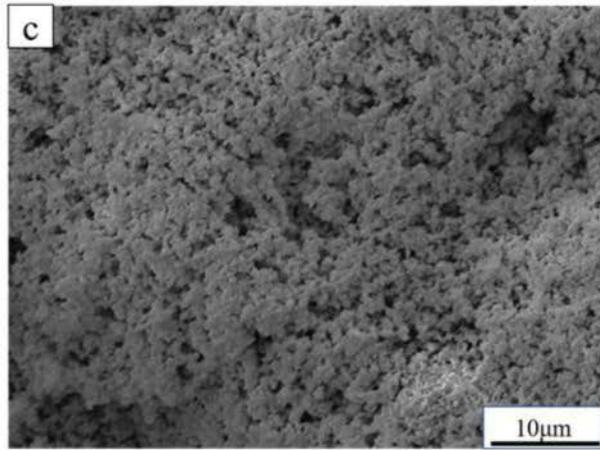
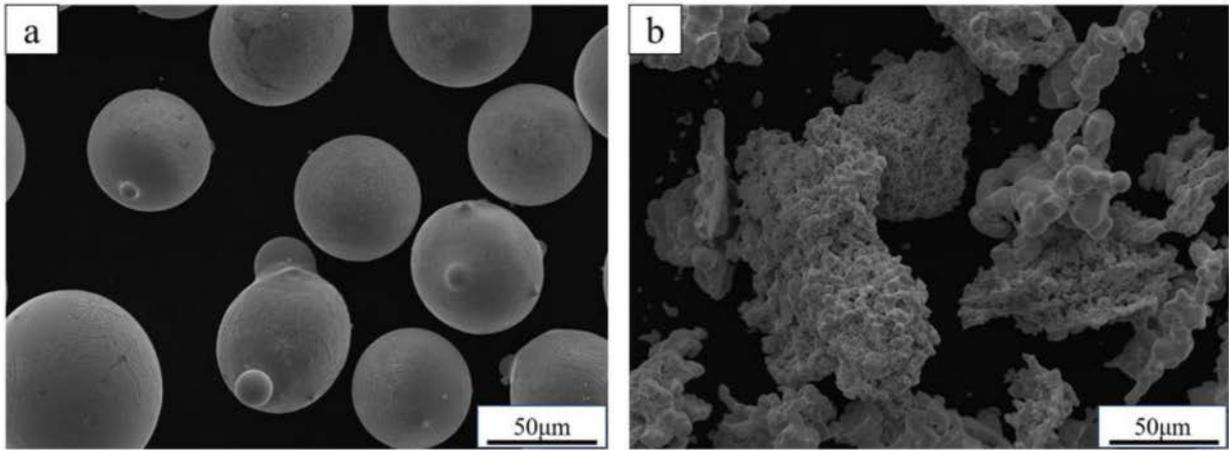
[0076] 实施例13

[0077] 基于相同的发明构思,本发明实施例还提供一种制备上述不开裂高耐磨损耐腐蚀的镍基复合材料的方法,所述方法包括:

[0078] 在雾化机中加入按照质量份数比为20~30:0.5~2:2~6的比例加入镍基合金粉末、铌粉末和钽粉末中的至少一种、强化陶瓷相粉末,之后按照气雾化或水雾化的方式制备成小颗粒粉末包裹大颗粒粉末的混合粉末形态,其中,所述强化陶瓷相粉末包括碳化铌粉末、硼化铌粉末、碳化钽粉末和硼化钽粉末中的至少一种。其中,由于镍基合金粉末、铌粉末

和钼粉末中的至少一种、强化陶瓷相粉末的粒度差异较大,选择气雾化或水雾化的方式进行均匀混合,最终可以实现小颗粒粉末包裹大颗粒粉末的粉末形态。

[0079] 显然,本领域的技术人员可以对本发明实施例进行各种改动和变型而不脱离本发明实施例的精神和范围。这样,倘若本发明实施例的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。



(a) Ni45 (b) Nb (c) NbC

图1

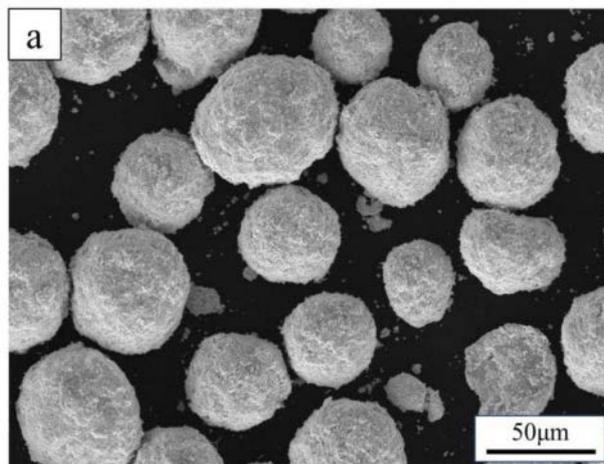


图2