(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 119035530 A
(43)申请公布日 2024.11.29

(21)申请号 202411146807.6
(22)申请日 2024.08.21
(71)申请人 中南大学
地址 410083 湖南省长沙市岳麓区麓山南路932号
(72)发明人 马运柱 樊沛源 黄宇峰 刘文胜 王垚 张磊 周佳涛 孙敬轩 李梓怡 刘钦钦
(74)专利代理机构 长沙市融智专利事务所(普通合伙) 43114
专利代理师 蒋太炜
(51)Int.Cl.
B22F 1/00(2022.01)
B22F 9/04(2006.01)
B22F 3/10(2006.01)
B22F 1/065(2022.01)
B22F 3/03(2006.01)

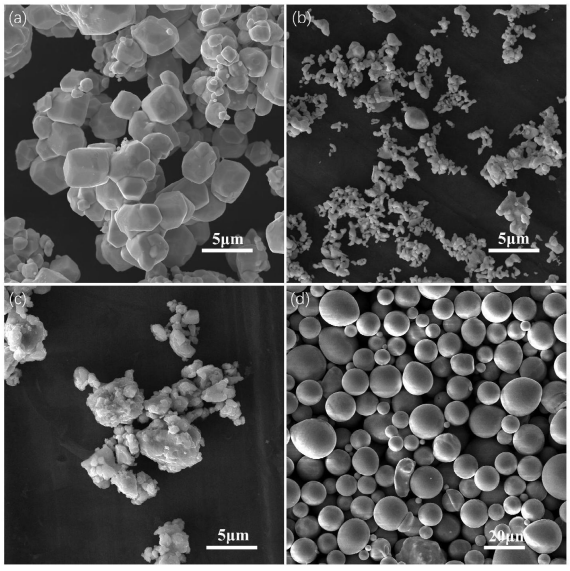
权利要求书1页 说明书7页 附图5页

(54)发明名称

一种钨-钽-镍-钛-钒合金及其制备方法和应用

(57)摘要

本发明属于钨合金制备领域,具体涉及一种钨-钽-镍-钛-钒合金及其制备方法与应用。所述合金包括钨、钽、镍、钛、钒的质量比为120~200:10~40:10~40:2~18。其制备方法是将钨粉、钽粉、镍钛合金粉和钒粉混合获得混合粉,将混合粉通过模压成型,真空烧结致密化。本发明使用镍钛合金粉末作为粘结相,从而实现了钽元素与钒元素对钨颗粒的强韧化,提高了钨合金的力学性能。本发明所开发和制备的钨-钽-镍-钛-钒合金可用作辐射屏蔽器、穿甲弹弹芯、聚能弹的弹壳、陀螺外缘转子体等。



CN 119035530 A

1.一种钨-钽-镍-钛-钒合金,其特征在于:所述合金中,钨、钽、镍钛、钒的质量比为120～200:10～40:10～40:2～18;镍与钛的质量比为(45～55):(45～55)。

2.一种钨-钽-镍-钛-钒合金的制备方法,其特征在于:将钨粉、钽粉、钒粉和镍钛合金粉末混合获得混合粉,将混合粉压制成型获得压坯、在真空环境下烧结,即得;所述钨粉、钽粉、镍钛合金粉和钒粉的质量比为120～200:10～40:10～40:2～18;镍钛合金粉中,镍与钛的质量比为(45～55):(45～55)。

3.根据权利要求1所述的钨-钽-镍-钛-钒合金的制备方法,其特征在于:所述钨粉、钽粉、镍钛合金粉和钒粉的质量比为140～175:12～30:20～30:3～12。

4.根据权利要求3所述的钨-钽-镍-钛-钒合金的制备方法,其特征在于:所述钨粉、钽粉、镍钛合金粉和钒粉的质量比为145～170:15～30:22～28:4～11。

5.根据权利要求4所述的钨-钽-镍-钛-钒合金的制备方法,其特征在于:所述钨粉、钽粉、镍钛合金粉和钒粉的质量比为160～164:16～20:18～22:8～12;或所述钨粉、钽粉、镍钛合金粉和钒粉的质量比为150～154:27～28.5:24～26:4.5～5.5。

6.根据权利要求2所述的一种钨-钽-镍-钛-钒合金的制备方法,其特征在于:

所述钨粉为平均粒径为3～5μm,纯度≧99.8%;

所述钽粉平均粒径为3～10μm,纯度≧99.9%;

所述镍钛合金粉平均粒径为5～20μm,纯度≧99.9%;

所述钒粉平均粒径为3～5μm,纯度≧99.9%。

7.根据权利要求2所述的一种钨-钽-镍-钛-钒合金的制备方法,其特征在于:

在真空气氛或保护气氛中配取各原料,所配取的各原料三维混料机中进行,混合的时间为10～16h得到混合均匀的粉末。

8.根据权利要求2所述的一种钨-钽-镍-钛-钒合金的制备方法,其特征在于:所述压制成型的方式为模压成型,其成型压力为450MPa-650MPa,保压时间为5～10s。

9.根据权利要求2所述的一种钨-钽-镍-钛-钒合金的制备方法,其特征在于:

所述烧结时的真空度≦10^{-3}Pa;所述烧结过程为:以5～20℃/min的升温速率升温至800～1000℃,保温10～40min;然后以2～10℃/min的降温速率升温温至1100～1200℃,并保温60～300min;再以2～10℃/min的升温速率升温至1300～1400℃,保温30～90min;最后以5～35℃/min的降温速率降温至室温。

10.一种如权利要求1所述钨-钽-镍-钛-钒合金的应用,其特征在于:所述应用包括用作辐射屏蔽器、穿甲弹弹芯、聚能弹的弹壳、陀螺外缘转子体中的至少一种。

一种钨-钽-镍-钛-钒合金及其制备方法和应用

技术领域

[0001] 本发明属于钨合金制备领域,具体涉及一种钨-钽-镍-钛-钒合金及其制备方法与应用。

背景技术

[0002] 钨(W)最初于十八世纪被人类发现,作为一种战略金属,W因其高密度、高强度、高硬度、优良导电及导热性等特点而被广泛应用于现代工业、国防事业及高科技领。科技的发展对钨的强度和韧性都提出了更高的要求。

[0003] 钽元素的添加可以通过固溶强化的方式有效提升钨合金的性能。钽与钨一样同属于体心立方(BCC)结构,可以和钨无限固溶,钨钽固溶体中形成的有序相可以提高改变钨的对称核结构,增加位错的可动性,提高钨颗粒的性能同时钽的添加可以降低钨在粘结相中的溶解度,起到细晶强化的作用。钒元素的添加可以有效降低W的弹性模量,提高合金的延展性。

[0004] 目前的钨合金体系(W-Ni-Fe、W-Ni-Cu)在加入固溶元素后,基体相会与固溶元素形成大量金属间化合物,这些金属间化合物不仅消耗了固溶元素,降低了固溶元素在钨颗粒中的固溶度,且大多金属间化合物为硬脆相,极大的降低了合金性能。使用镍钛作为合金的粘结相,可以使固溶元素有效固溶强化钨颗粒。

发明内容

[0005] 针对现有技术中存在的不足。本发明的第一个目的在于提供一种固溶强化的钨-钽-镍-钛-钒合金。加入钽可以在钨晶体中引入有序相产生固溶强化,同时降低钨在粘结相中的溶解析出产生细晶强化,提高合金强度;通过加入钒,降低W的弹性模量,提高延展性。使用镍钛作为粘结相保证了钽与钒固溶进入钨颗粒产生协同强化作用。

[0006] 本发明的第二个目的是在于提供一种钨-钽-镍-钛-钒合金的制备方法,该方法可以在较低温度下实现合金的致密化,具有工艺流程简单、生产周期短等优点,适合于工业化生产。

[0007] 本发明的第三个目的在于提供钨-钽-镍-钛-钒合金的应用,将其作为原料应用于辐射屏蔽、配重以及大口径动能穿透器的陀螺外缘转子体中,可以大大延长其使用寿命。

[0008] 本发明一种钨-钽-镍-钛-钒合金,所述合金中,钨、钽、镍钛、钒的质量比为120~200:10~40:10~40:2~18。

[0009] 本发明一种钨-钽-镍-钛-钒合金的制备方法,所述合金将钨粉、钽粉、钒粉和镍钛合金粉混合获得混合粉,将混合粉压制成型获得压坯、在真空环境下烧结,即得。

[0010] 作为一种优选的方案,所述钨粉、钽粉、镍钛合金粉和钒粉的质量比为120~200:10~40:10~40:2~18、优选为140~175:12~30:20~30:3~12,进一步的优选为:145~170:15~30:22~28:4~11。

[0011] 在工业上应用时,所述钨粉、钽粉、镍钛合金粉和钒粉的质量比更进一步优选为:

150～165:16～28.5:24～26:4.5～10.5。这其中包括钨粉、钽粉、镍钛合金粉和钒粉的质量比为160～164:16～20:18～22:8～12的方案,也包括钨粉、钽粉、镍钛合金粉和钒粉的质量比为150～154:27～28.5:24～26:4.5～5.5的方案。

[0012] 作为最佳有限方案之一,所述钨粉、钽粉、镍钛合金粉和钒粉的质量比为:160～164:16～20:18～22:8～12。这其中包括钨粉、钽粉、镍钛合金粉和钒粉的质量比为:162:18:20:10。

[0013] 作为最佳有限方案之一,所述钨粉、钽粉、镍钛合金粉和钒粉的质量比为:150～154:27～28.5:24～26:4.5～5.5。这其中包括钨粉、钽粉、镍钛合金粉和钒粉的质量比为:152:28:25:5。

[0014] 所述镍钛合金粉末中,镍与钛的质量比为(45～55):(45～55)。

[0015] 本发明一种钨-钽-镍-钛-钒合金的制备方法,该方法是将按设定组分配取的钨粉、钽粉、钒粉和镍钛合金粉混合均匀,获得混合粉,将混合粉通过模压成型获得压坯后真空烧结,即得。

[0016] 本发明制备方法的关键是在于加入了适量的可以与钨实现无限固溶的钽,钨钽固溶体中形成的有序相可以提高改变钨的对称核结构,提高钨颗粒的强度,同时降低钨在基体相中的溶解度,阻碍钨颗粒溶解析出过程,使钨颗粒细化,起到细晶强化作用。添加过多的钽粉对总体的强度没有正面影响,在烧结过程中,钽粉中的氧会被钛吸附生成氧化钛颗粒,破坏粘结相结构,降低合金力学性能。

[0017] 同时加入了可以提高合金延展性能的钒元素,进一步提高的合金的可加工性。微量钒的加入并不影响合金的微观结构与组织均一性。

[0018] 探索发现,在真空手套箱中进行前期的称料工作可以有效减少混料过程中钨与钽的氧化,降低烧结过程中钛的损耗,降低金属件化合物的生成。

[0019] 作为一种优选的方案,所述钨粉为球形粉末,平均粒径为3～5μm,纯度≧99.8%;所述钽粉为球形粉末,平均粒径为3～10μm,纯度≧99.9%;所述铼粉为球形粉末,平均粒径为3～10μm,纯度≧99.9%。本发明所使用的原料均为球形粉末,这是因为球形粉末在同等质量下拥有最高的比表面积,可以提供最高的烧结活性,提高增加元素之间的扩散能力。

[0020] 作为一种优选的方案,所述混合在三维混料机中进行,混合的时间为12～14h。通过三维混料机混合可获得混合均匀的钨钽镍钛钒粉末。

[0021] 混料后,混合均匀的钨钽镍钛钒粉末中,氧的质量百分含量小于等于600ppm。

[0022] 作为一种优选的方案,所述压制成型的方式为模压成型。本发明通过采用模压成型获得可靠的致密压坯。

[0023] 作为一种优选的方案,所述压制成型的方式为模压成型,其成型压力为450MPa-650MPa、优选为480～520MPa,保压时间为5～10s。本发明技术方案中,若模压的压力值过低时粉末压坯边缘不能成型,而压力值过高时压坯会产生分层,因此最高压力不要超过650MPa。

[0024] 作为一种优选的方案,所述烧结时的真空度≦10^{-3}Pa;由于钛容易吸氧,在钨-钽-镍-钛-钒合金烧结过程需要严格控制真空度以避免烧结过程中的氧化。

[0025] 作为一种优选的方案,所述烧结过程为:以5～20℃/min的升温速率升温至800～1000℃、优选为850-900℃,保温10～40min;然后以2～10℃/min的降温速率升温温至1100

～1200℃、优选为1100-1150℃,并保温60～300min;再以2～10℃/min的升温速率升温至1300～1400℃、优选为1300-1350℃,保温30～90min;最后以5～35℃/min的降温速率降温至室温。本发明的技术方案通过先将合金粉末升温至800～1000℃,使得粉末之间行形成一个初步的烧结颈,另一方面可以稳定炉内温度。进一步的提高烧结温度至1300～1400℃,可以快速实现胚体的致密化。同时在1100～1200℃之间进行保温,可以进一步提高合金组织均匀性、以及合金的力学性能。

[0026] 本发明还提供了一种由上述制备方法得到的钨-钽-镍-钛-钒合金。该钨钨-钽-镍-钛-钒合金由钽元素与钒元素共同固溶强化,无金属间化合物生成,所述合金基体的粒径≦20μm。

[0027] 优选的方案,所述钨-钽-镍-钛-钒合金的抗拉升强度大于等于800MPa(优化后可以大于等于970MPa),拉伸应变量大于15%。

[0028] 本发明还提供了一种钨-钽-镍-钛-钒合金合金的应用,将其作为原料应用于辐射屏蔽、配重以及大口径动能穿透器的陀螺外缘转子体,不仅可以大大提高其使用寿命,而且大幅拓宽了钽合金的应用范围。

[0029] 与现有技术相比,本发明具有以下有益效果:

[0030] 1)本发明的合金体系,使用钽强化钨颗粒,辅以适量的钒改善合金的韧性。两种固溶元素复合添加后,合金的强度与韧性均有着提高。合金的强度随钽元素含量的提升有所提高,但随着钒元素含量进一步的提升,韧性的改变不明显。在两种元素的协同作用下烧结体表现出良好的强韧性。本发明设计的合金可以制备得到970MPa以上的强度的钨钽铼合金。

[0031] 2)本发明通过使用三维混料机加入固溶元素钽并通过模压成型;所设计的合金体系成功实现了在传统烧结模式下对钨的固溶强化。

[0032] 3)本发明提供的钨-钽-镍-钛-钒合金合金可用于辐射屏蔽、配重以及大口径动能穿透器、陀螺外缘转子体等,大幅拓宽了钽合金的应用。

附图说明

[0033] 图1为实施例1所使用的钨元素粉、钽元素粉末、钒元素粉末及镍钛合金粉末的原始形貌图。

[0034] 图2为实施例1所得到的钨-钽-镍-钛-钒合金的形貌图;

[0035] 图3为实施例2所得到的钨-钽-镍-钛-钒合金的形貌图;

[0036] 图4为实施例3所得到的钨-钽-镍-钛-钒合金的形貌图;

[0037] 图5为实施例4所得到的钨-钽-镍-钛-钒合金的形貌图;

[0038] 图6为实施例5所得到的钨-钽-镍-钛-钒合金的形貌图;

[0039] 图7为对比例2、对比例3压制成型后的宏观形貌,其中(a)为对比例2压制成型后的宏观形貌、(b)为对比例3压制成型后的宏观形貌。

[0040] 图8为实施例1、实施例2、实施例3、实施例4、实施例5、对比例1、对比例2、对比例3、对比例4所得到的钨-钽-镍-钛-钒合金的拉伸强度与平均相对密度统计图。

[0041] 图1由图1(a)、图1(b)、图1(c)、图1(d)组成。其中图1(a)为钨粉形貌图,图1(b)为钽粉形貌图,图1(c)为钒粉形貌图,图1(d)为混合粉形貌图。从图1可以看出其中W粉呈现等

轴多面体形状,Ta粉与V粉多呈现不规则多边形形状,NiTi合金粉呈规则的球形。

[0042] 图2为实施例1制备的钨-钽-镍-钛-钒合金的形貌,对比图3可以看出,烧结时间和烧结温度的降低使得粘结相分布不均匀,出现了大熔池,降低了材料的均匀性,导致合金性能降低。

[0043] 从图2、图3、图4、图5都可以观察到明显的液相烧结特征。

[0044] 从图6可以看出,实施例6由于烧结温度过低,钨颗粒的溶解析出不够充分。

[0045] 图7(a)为粉末成型过程中压力过低时胚体的成型情况,可以观察到胚体边缘不规则,大量粉末与胚体脱离,烧结过后整体的致密度偏低。图7(b)为粉末成型过程中压力过高时胚体的成型情况,胚体整体发生了分层。

[0046] 图8中可以发现由于钒元素的加入,使得合金的性能获得了显著的提升。但是过量的V元素的加入使得做为液相成分的NiTi比例不足,溶解W颗粒的能力变差,且粘结相的不足导致钨钨连接度过高,极大降低了合金力学性能。

具体实施方式

[0047] 为了对本发明的技术特征、目的和有益效果有更加清楚的理解,现对本发明的技术方案进行以下详细说明,但不能理解为对本发明的可实施范围的限定。

[0048] 实施例1

[0049] 一种钨-钽-镍-钛-钒合金的制备方法,包括以下步骤:

[0050] 步骤1:使用三维混料机获得混合粉末

[0051] 在真空手套箱中,取钨粉162g,平均粒径3～5微米,纯度大于99.8%;钽粉18g,平均粒径3～10微米,纯度大于99.9%;取钒粉5g,平均粒径3～10微米,纯度大于99.9%;取镍钛合金粉25g(镍钛合金粉末中,镍与钛的质量比为55:45),平均粒径5～23微米,纯度大于99.9%,将以上粉末一起放入碳化钨混料罐中。将混料罐从真空手套箱中取出,放入三维混料机中,进行12小时混料(混料后,氧的质量百分含量小于等于500ppm)。

[0052] 步骤2:使用模压成型获得坯体

[0053] 将180g混合粉末放入模具中,在500MPa的压力下压制5s。

[0054] 步骤3:钨-钽-镍-钛-钒合金的烧结

[0055] 烧结过程使用四川立业科技有限公司AL-2000-MG高真空热处理炉,烧结过程中,炉内真空度维持在10^{-3}Pa以下;以10℃/min的升温速率升温至900℃,保温30min,然后以5℃/min的升温速率升温至1200℃,保温180min,然后以5℃/min的升温速率升温至1320℃,保温120min,随后以20℃/min冷却至室温,得到钨-钽-镍-钛-钒合金。

[0056] 本实施例所制备的钨-钽-镍-钛-钒合金的平均相对密度为98.0%,拉伸强度为924MPa、总伸长量为9.5%。

[0057] 实施例2

[0058] 步骤1:使用三维混料机获得混合粉末

[0059] 在真空手套箱中,取钨粉162g,平均粒径3～5微米,纯度大于99.8%;钽粉18g,平均粒径3～10微米,纯度大于99.9%;取钒粉5g,平均粒径3～10微米,纯度大于99.9%;取镍钛合金粉25g(镍钛合金粉末中,镍与钛的质量比为55:45),平均粒径5～23微米,纯度大于99.9%,将以上粉末一起放入碳化钨混料罐中。将混料罐从真空手套箱中取出,放入三维混

料机中,进行12小时混料(混料后,氧的质量百分含量小于等于500ppm)。

[0060] 步骤2:使用模压成型获得坯体

[0061] 将180g混合粉末放入模具中,在500MPa的压力下压制5s。

[0062] 步骤3:钨-钽-镍-钛-钒合金的烧结

[0063] 烧结过程使用四川立业科技有限公司AL-2000-MG高真空热处理炉,烧结过程中,炉内真空度维持在10^{-3}Pa以下;以10℃/min的升温速率升温至800℃,保温30min,然后以5℃/min的升温速率升温至1200℃,保温60min,然后以5℃/min的升温速率升温至1300℃,保温120min,随后随炉冷却至室温,得到钨-钽-镍-钛-钒合金。

[0064] 本实施例所制备的钨-钽-镍-钛-钒合金的平均相对密度为93.2%,拉伸强度为902MPa、总伸长量为9.0%。

[0065] 实施例3

[0066] 步骤1:使用三维混料机获得混合粉末

[0067] 在真空手套箱中,取钨粉162g,平均粒径3~5微米,纯度大于99.8%;钽粉18g,平均粒径3~10微米,纯度大于99.9%;取钒粉10g,平均粒径3~10微米,纯度大于99.9%;取镍钛合金粉20g(镍钛合金粉末中,镍与钛的质量比为55:45),平均粒径5~23微米,纯度大于99.9%,将以上粉末一起放入碳化钨混料罐中。将混料罐从真空手套箱中取出,放入三维混料机中,进行12小时混料(混料后,氧的质量百分含量小于等于500ppm)。

[0068] 步骤2:使用模压成型获得坯体

[0069] 将180g混合粉末放入模具中,在500MPa的压力下压制5s。

[0070] 步骤3:钨-钽-镍-钛-钒合金的烧结

[0071] 烧结过程使用四川立业科技有限公司AL-2000-MG高真空热处理炉,烧结过程中,炉内真空度维持在10^{-3}Pa以下;以10℃/min的升温速率升温至900℃,保温30min,然后以5℃/min的升温速率升温至1200℃,保温180min,然后以5℃/min的升温速率升温至1320℃,保温120min,随后以20℃/min冷却至室温,得到钨-钽-镍-钛-钒合金。

[0072] 本实施例所制备的钨-钽-镍-钛-钒合金的平均相对密度为98.6%,拉伸强度为966MPa、总伸长量为10.1%。

[0073] 实施例4

[0074] 一种钨-钽-镍-钛-钒合金的制备方法,包括以下步骤:

[0075] 步骤1:使用三维混料机获得混合粉末

[0076] 在真空手套箱中,取钨粉152g,平均粒径3~5微米,纯度大于99.8%;钽粉28g,平均粒径3~10微米,纯度大于99.9%;取钒粉5g,平均粒径3~10微米,纯度大于99.9%;取镍钛合金粉25g,平均粒径5~23微米,纯度大于99.9%,将以上粉末一起放入碳化钨混料罐中。将混料罐从真空手套箱中取出,放入三维混料机中,进行12小时混料(混料后,氧的质量百分含量小于等于500ppm)。

[0077] 步骤2:使用模压成型获得坯体

[0078] 将180g混合粉末放入模具中,在500MPa的压力下压制5s。

[0079] 步骤3:钨-钽-镍-钛-钒合金的烧结

[0080] 烧结过程使用四川立业科技有限公司AL-2000-MG高真空热处理炉,烧结过程中,炉内真空度维持在10^{-3}Pa以下;以10℃/min的升温速率升温至900℃,保温30min,然后以5

℃/min的升温速率升温至1200℃,保温180min,然后以5℃/min的降温速率生温至1320℃,保温120min,随后随炉冷却至室温,得到钨-钽-镍-钛-钒合金。

[0081] 本实施例所制备的钨-钽-镍-钛-钒合金的平均相对密度为98.1%,拉伸强度为982MPa、总伸长量为10.9%。

[0082] 实施例5

[0083] 一种钨-钽-镍-钛-钒合金的制备方法,包括以下步骤:

[0084] 步骤1:使用三维混料机获得混合粉末

[0085] 在真空手套箱中,取钨粉162g,平均粒径3～5微米,纯度大于99.8%;钽粉18g,平均粒径3～10微米,纯度大于99.9%;取钒粉5g,平均粒径3～10微米,纯度大于99.9%;取镍钛合金粉25g(镍钛合金粉末中,镍与钛的质量比为55:45),平均粒径5～23微米,纯度大于99.9%,将以上粉末一起放入碳化钨混料罐中。将混料罐从真空手套箱中取出,放入三维混料机中,进行12小时混料(混料后,氧的质量百分含量小于等于500ppm)。

[0086] 步骤2:使用模压成型获得坯体

[0087] 将180g混合粉末放入模具中,在500MPa的压力下压制5s。

[0088] 步骤3:钨-钽-镍-钛-钒合金的烧结

[0089] 烧结过程使用四川立业科技有限公司AL-2000-MG高真空热处理炉,烧结过程中,炉内真空度维持在10^{-3}Pa以下;以10℃/min的升温速率升温至900℃,保温30min,然后以5℃/min的升温速率升温至1000℃,保温180min,然后以5℃/min的升温速率升温至1200℃,保温120min,随后以20℃/min冷却至室温,得到钨-钽-镍-钛-钒合金。

[0090] 本实施例所制备的钨-钽-镍-钛-钒合金的平均相对密度为98.0%,拉伸强度为346MPa、总伸长量为2.5%。

[0091] 对比例1

[0092] 该对比例其他条件均与实施例1相同,仅在步骤1有所不同:在真空手套箱中,取钨粉162g,平均粒径3～5微米,纯度大于99.8%;钽粉18g,平均粒径3～10微米,纯度大于99.9%;取镍钛合金粉30g,平均粒径5～23微米,纯度大于99.9%,将以上粉末一起放入碳化钨混料罐中。将混料罐从真空手套箱中取出,放入三维混料机中,进行12小时混料(混料后,氧的质量百分含量小于等于500ppm)。

[0093] 该对比例所制备的材料平均相对密度为97.6%,拉伸强度为810MPa、总伸长量为9.2%。

[0094] 对比例2

[0095] 该对比例其他条件均与实施例1相同,仅在步骤2有所不同:将180g混合粉末放入模具中,在300MPa的压力下压制5s

[0096] 该对比例所制备的材料平均相对密度为88.6%,拉伸强度为870MPa、总伸长量为9.5%。

[0097] 对比例3

[0098] 该对比例其他条件均与实施例1相同,仅在步骤2有所不同:将180g混合粉末放入模具中,在600MPa的压力下压制5s

[0099] 该对比例所制备的材料平均相对密度为98%,拉伸强度为912MPa、总伸长量为10.1%。

[0100] 对比例4

[0101] 该对比例其他条件均与实施例1相同,仅在步骤1有所不同:在真空手套箱中,取钨粉162g,平均粒径3～5微米,纯度大于99.8%;钽粉18g,平均粒径3～10微米,纯度大于99.9%;取钒粉20g,平均粒径3～10微米,纯度大于99.9%;取镍钛合金粉10g(镍钛合金粉末中,镍与钛的质量比为55:45),平均粒径5～23微米,纯度大于99.9%,将以上粉末一起放入碳化钨混料罐中。将混料罐从真空手套箱中取出,放入三维混料机中,进行12小时混料(混料后,氧的质量百分含量小于等于500ppm)。

[0102] 该对比例所制备的材料平均相对密度为97.6%,拉伸强度为410MPa、总伸长量为2.2%。

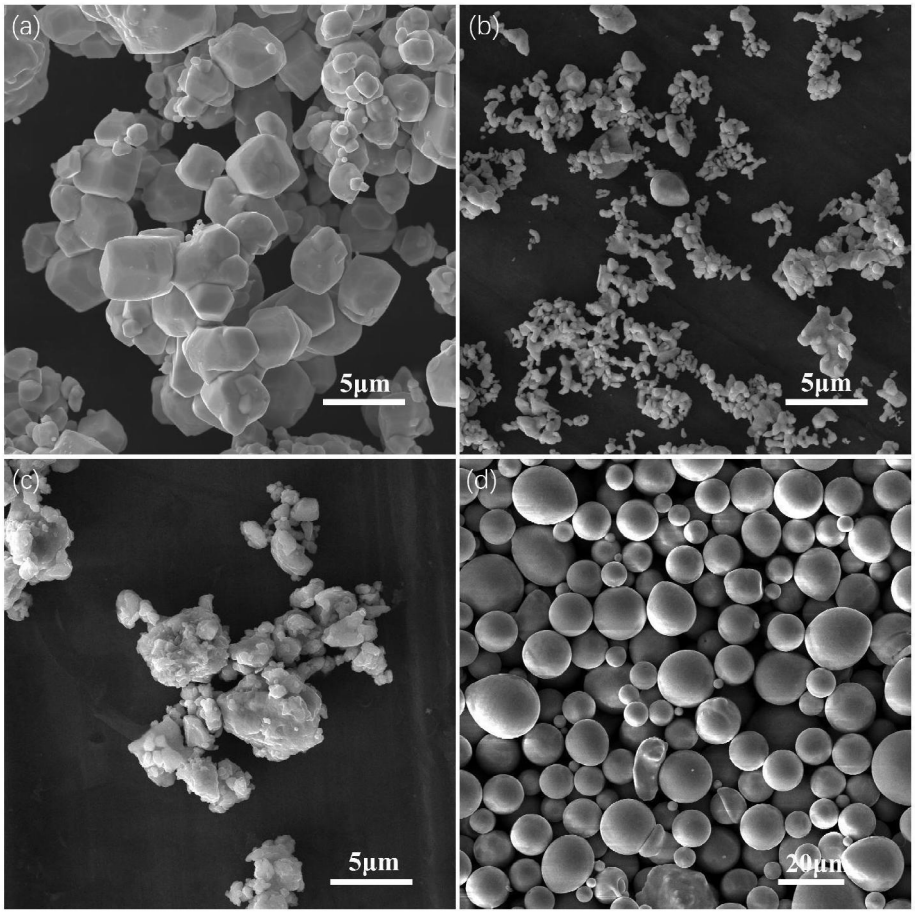


图1

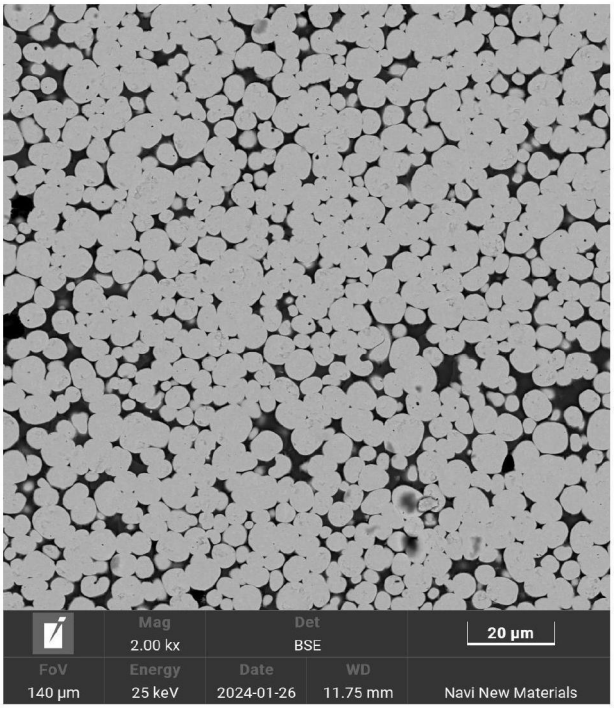

Mag
2.00 kx
Det
BSE
20 µm
FoV
140 µm
Energy
25 keV
Date
2024-01-26
WD
11.75 mm
Navi New Materials

图2

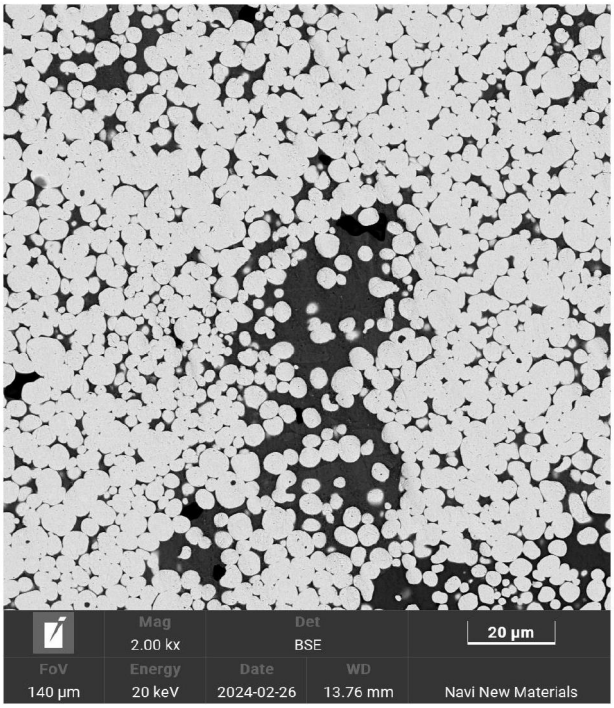

Mag
2.00 kx
Det
BSE
20 µm
FoV
140 µm
Energy
20 keV
Date
2024-02-26
WD
13.76 mm
Navi New Materials

图3

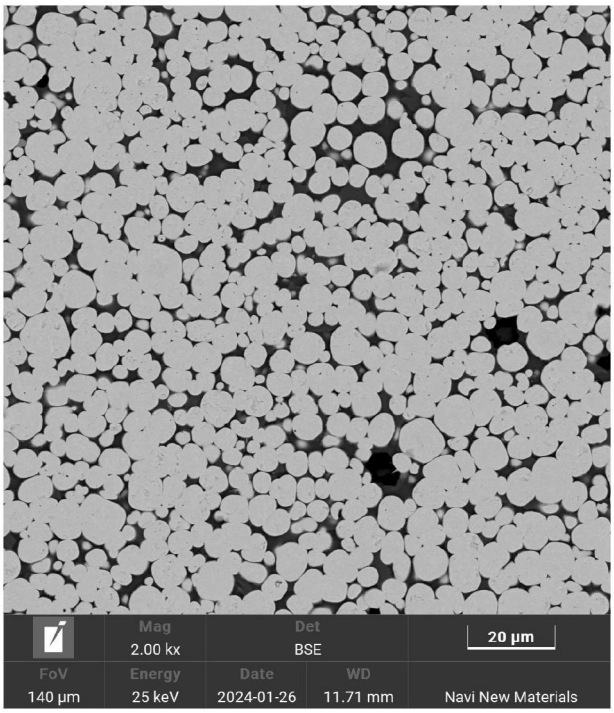

Mag
2.00 kx
Det
BSE
20 µm
FoV
140 µm
Energy
25 keV
Date
2024-01-26
WD
11.71 mm
Navi New Materials

图4

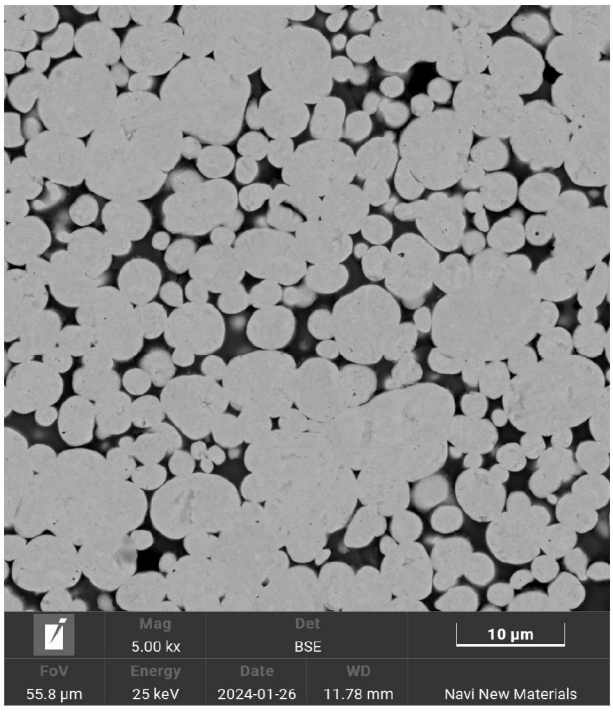

Mag
5.00 kx
Det
BSE
10 µm
FoV
55.8 µm
Energy
25 keV
Date
2024-01-26
WD
11.78 mm
Navi New Materials

图5

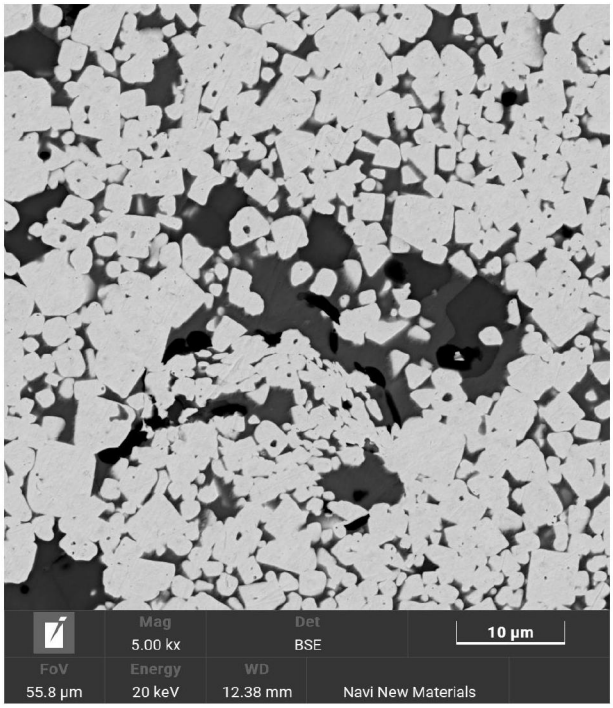

Mag
5.00 kx
Det
BSE
10 µm
FoV
55.8 µm
Energy
20 keV
WD
12.38 mm
Navi New Materials

图6

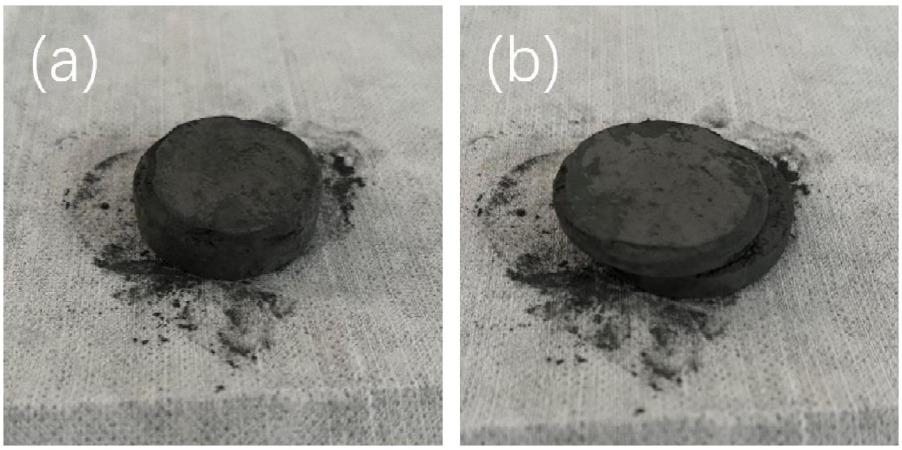

(a)
(b)

图7

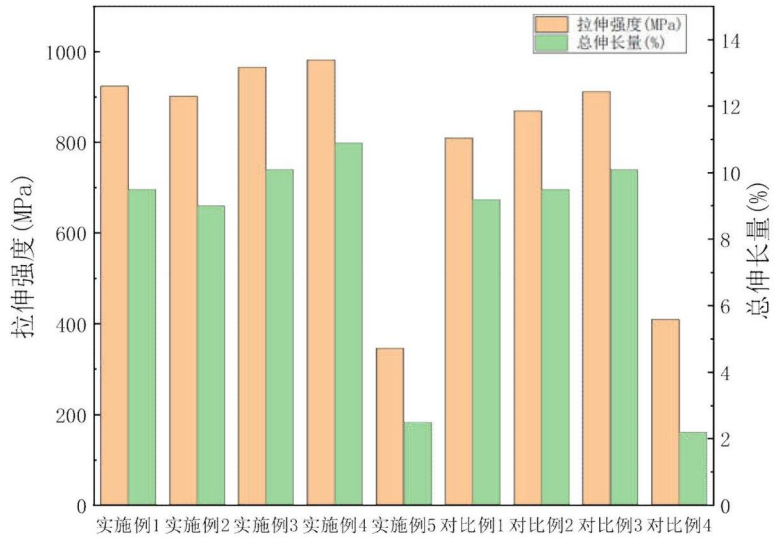

拉伸强度(MPa)
总伸长量(%)
拉伸强度(MPa)
总伸长量(%)
0
200
400
600
800
1000
0
2
4
6
8
10
12
14
实施例1
实施例2
实施例3
实施例4
实施例5
对比例1
对比例2
对比例3
对比例4

图8