



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 105855316 A

(43)申请公布日 2016.08.17

(21)申请号 201610367770.9

(22)申请日 2016.05.30

(71)申请人 西北有色金属研究院

地址 710016 陕西省西安市未央路96号

(72)发明人 王鹏飞 梁明 段颖 徐晓燕

李成山

(74)专利代理机构 西安创知专利事务所 61213

代理人 谭文琰

(51)Int.Cl.

B21C 37/04(2006.01)

H01B 13/00(2006.01)

权利要求书1页 说明书7页

(54)发明名称

一种Nb-Zr合金/Cu多芯复合线材的制备方法

(57)摘要

本发明公开了一种Nb-Zr合金/Cu多芯复合线材的制备方法,包括以下步骤:一、将Nb和Zr熔炼浇注成Nb-Zr合金铸锭;二、热挤压,得到Nb-Zr合金棒材;三、拉拔,得到Nb-Zr合金线材;四、预处理;五、一次复合,得到预处理后的Nb-Zr合金/Cu一次复合线材;六、二次复合,得到Nb-Zr合金/Cu多芯复合线材。本发明通过电弧熔炼,并结合集束拉拔技术,成功实现了一种芯丝均匀分布、组织结构稳定的多芯复合线材的制备;采用本发明制备出的线材不仅具有高强度、高导电性,而且具有良好的抗氧化能力和极好的耐腐蚀能力。

1. 一种Nb-Zr合金/Cu多芯复合线材的制备方法,其特征在于,该方法包括以下步骤:

步骤一、熔炼浇注:将Nb和Zr按质量比100:(3~8)混合均匀后置于电弧感应炉中,在温度为2500℃的条件下熔炼1h~3h后浇注成型,得到Nb-Zr合金铸锭;

步骤二、热挤压:将步骤一中所述Nb-Zr合金铸锭在温度为600℃~800℃的条件下保温2h~6h,然后在挤压比为8~11的条件下挤压,得到Nb-Zr合金棒材;

步骤三、拉拔:对步骤二中所述Nb-Zr合金棒材进行多道次拉拔,得到横截面形状为正六边形的Nb-Zr合金线材;所述正六边形的对边距为2.0mm~4.0mm;

步骤四、预处理:对步骤三中所述Nb-Zr合金线材依次进行矫直、定尺、截断、酸洗和烘干处理,得到预处理后的Nb-Zr合金线材;

步骤五、一次复合:将483根~999根步骤四中所述预处理后的Nb-Zr合金线材集束组装于第一铜包套中,得到一次复合包套,再对一次复合包套重复步骤二中所述的热挤压加工工艺,得到Nb-Zr合金/Cu一次复合棒材,然后对Nb-Zr合金/Cu一次复合棒材重复步骤三中所述的拉拔加工工艺,得到Nb-Zr合金/Cu一次复合线材;之后对Nb-Zr合金/Cu一次复合线材重复步骤四中所述的预处理工艺,得到预处理后的Nb-Zr合金/Cu一次复合线材;

步骤六、二次复合:将483根~999根步骤五中所述预处理后的Nb-Zr合金/Cu一次复合线材集束组装于第二铜包套中,得到二次复合包套,然后对二次复合包套重复步骤二中所述热挤压加工工艺,得到Nb-Zr合金/Cu二次复合棒材,之后对Nb-Zr合金/Cu二次复合棒材进行多道次拉拔,最终得到Nb-Zr合金/Cu多芯复合线材。

2. 根据权利要求1所述的一种Nb-Zr合金/Cu多芯复合线材的制备方法,其特征在于,步骤一中所述浇注成型的时间为10s~50s。

3. 根据权利要求1所述的一种Nb-Zr合金/Cu多芯复合线材的制备方法,其特征在于,步骤三中所述拉拔的过程中对Nb-Zr合金棒材进行中间热处理,具体过程为:当拉拔的总加工率达到90%和95%时,将Nb-Zr合金棒材置于真空退火炉中,在真空度不大于 1×10^{-3} Pa,温度为500℃~700℃的条件下保温2h~6h。

4. 根据权利要求1所述的一种Nb-Zr合金/Cu多芯复合线材的制备方法,其特征在于,步骤三中所述拉拔的道次加工率为5%~20%。

5. 根据权利要求1所述的一种Nb-Zr合金/Cu多芯复合线材的制备方法,其特征在于,步骤六中所述拉拔的过程中对Nb-Zr合金/Cu二次复合棒材进行中间热处理,具体过程为:当拉拔的总加工率达到90%和95%时,将Nb-Zr合金/Cu二次复合棒材置于真空退火炉中,在真空度不大于 1×10^{-3} Pa,温度为500℃~700℃的条件下保温2h~6h。

6. 根据权利要求1所述的一种Nb-Zr合金/Cu多芯复合线材的制备方法,其特征在于,步骤六中所述拉拔的道次加工率为2%~15%。

7. 根据权利要求1所述的一种Nb-Zr合金/Cu多芯复合线材的制备方法,其特征在于,步骤六中所述Nb-Zr合金/Cu多芯复合线材的横截面形状为圆形,所述Nb-Zr合金/Cu多芯复合线材的横截面直径为1.0mm~3.0mm。

一种Nb-Zr合金/Cu多芯复合线材的制备方法

技术领域

[0001] 本发明属于金属合金材料加工技术领域,具体涉及一种Nb-Zr合金/Cu多芯复合线材的制备方法。

背景技术

[0002] 高强高导铜基复合材料是集优良物理性能和力学性能为一身的有色金属材料,其中铜基复合材料兼具了高强度和高电导性,如Cu-Ag、Cu-Nb、Cu-Cr、Cu-Zr以及Cu-Ta等二元复合材料相继被研究和制备出来,被广泛的用于高脉冲磁场导体材料、转换开关、电接触器、引线框架及电子器件等。随着铜基复合材料应用领域的不断拓宽及其消耗量的迅速增长,对材料的综合性能要求越来越高,要求材料集多种优异性能为一身。

[0003] 金属锆同铌一样,属于稀有金属,极耐腐蚀性(比钛要好)、可塑性好、高熔点、热稳定性好、优异的高温强度、同时又极易加工,因此越来越受到人们的重视,被用于制做大型化学储备容器等。由于加入锆后不影响合金的塑性和加工性能,但是锆的加入可以提高合金的抗氧化性和抗碱金属腐蚀性能,所以人们希望通过向Cu基合金材料中添加锆,制备出综合性能更加优异的Cu基合金材料,进而来拓展和拓宽其应用领域,使其能够被广泛应用于航空传输及海军电磁武器领域,因此制备出性能更加优异的Nb-Zr合金/Cu复合材料具有现实意义。

[0004] 目前,Cu-Nb微观复合材料局限应用于脉冲磁体的导体材料,想要拓宽其应用领域,线材的性能还需进一步的优异和提升。传统的Cu-Nb微观复合材料已经达到加工极限,现有条件下,抗拉强度一般维持在800MPa~1000MPa之间,更重要的是线材在使用过程中,芯丝极易腐蚀和氧化,线材寿命缩短。目前芯丝强化是提升材料力学性能的必由之路。本发明通过Nb-Zr电弧熔炼成合金固溶体,相比金属纯Nb棒强度更高,通过集束拉拔后Nb-Zr硬化效果要比纯Nb棒更加明显,而且加工过程芯丝不易扭曲和滑动,致密性很好,另外芯丝极耐腐蚀和抗氧化性,减少了复合次数,因此制备出的Nb-Zr合金/Cu复合线材具有高强度,高电导,高耐腐蚀性,除了脉冲磁体领域,能够广泛应用于航空传输及海军电磁武器等领域。

发明内容

[0005] 本发明所要解决的技术问题在于针对上述现有技术的不足,提供一种Nb-Zr合金/Cu多芯复合线材的制备方法。该方法通过多次的集束组装实现了芯丝均匀分布、组织结构稳定。采用该方法制备的Nb-Zr合金/Cu多芯复合线材呈现出独特的性质,不仅具有高强度、高导电性,而且具有良好的耐高温高压能力和极好的耐腐蚀能力。

[0006] 为解决上述技术问题,本发明采用的技术方案是:一种Nb-Zr合金/Cu多芯复合线材的制备方法,其特征在于,该方法包括以下步骤:

[0007] 步骤一、熔炼浇注:将Nb和Zr按质量比100:(3~8)混合均匀后置于电弧感应炉中,在温度为2500℃的条件下熔炼1h~3h后浇注成型,得到Nb-Zr合金铸锭;

[0008] 步骤二、热挤压:将步骤一中所述Nb-Zr合金铸锭在温度为600℃~800℃的条件下

保温2h~6h,然后在挤压比为8~11的条件下挤压,得到Nb-Zr合金棒材;

[0009] 步骤三、拉拔:对步骤二中所述Nb-Zr合金棒材进行多道次拉拔,得到横截面形状为正六边形的Nb-Zr合金线材;所述正六边形的对边距为2.0mm~4.0mm;

[0010] 步骤四、预处理:对步骤三中所述Nb-Zr合金线材依次进行矫直、定尺、截断、酸洗和烘干处理,得到预处理后的Nb-Zr合金线材;

[0011] 步骤五、一次复合:将483根~999根步骤四中所述预处理后的Nb-Zr合金线材集束组装于第一铜包套中,得到一次复合包套,再对一次复合包套重复步骤二中所述的热挤压加工工艺,得到Nb-Zr合金/Cu一次复合棒材,然后对Nb-Zr合金/Cu一次复合棒材重复步骤三中所述的拉拔加工工艺,得到Nb-Zr合金/Cu一次复合线材;之后对Nb-Zr合金/Cu一次复合线材重复步骤四中所述的预处理工艺,得到预处理后的Nb-Zr合金/Cu一次复合线材;

[0012] 步骤六、二次复合:将483根~999根步骤五中所述预处理后的Nb-Zr合金/Cu一次复合线材集束组装于第二铜包套中,得到二次复合包套,然后对二次复合包套重复步骤二中所述热挤压加工工艺,得到Nb-Zr合金/Cu二次复合棒材,之后对Nb-Zr合金/Cu二次复合棒材进行多道次拉拔,最终得到Nb-Zr合金/Cu多芯复合线材。

[0013] 上述的一种Nb-Zr合金/Cu多芯复合线材的制备方法,其特征在于,步骤一中所述浇注成型的时间为10s~50s。

[0014] 上述的一种Nb-Zr合金/Cu多芯复合线材的制备方法,其特征在于,步骤三中所述拉拔的过程中对Nb-Zr合金棒材进行中间热处理,具体过程为:当拉拔的总加工率达到90%和95%时,将Nb-Zr合金棒材置于真空退火炉中,在真空度不大于 1×10^{-3} Pa,温度为500℃~700℃的条件下保温2h~6h。

[0015] 上述的一种Nb-Zr合金/Cu多芯复合线材的制备方法,其特征在于,步骤三中所述拉拔的道次加工率为5%~20%。

[0016] 上述的一种Nb-Zr合金/Cu多芯复合线材的制备方法,其特征在于,步骤六中所述拉拔的过程中对Nb-Zr合金/Cu二次复合棒材进行中间热处理,具体过程为:当拉拔的总加工率达到90%和95%时,将Nb-Zr合金/Cu二次复合棒材置于真空退火炉中,在真空度不大于 1×10^{-3} Pa,温度为500℃~700℃的条件下保温2h~6h。

[0017] 上述的一种Nb-Zr合金/Cu多芯复合线材的制备方法,其特征在于,步骤六中所述拉拔的道次加工率为2%~15%。

[0018] 上述的一种Nb-Zr合金/Cu多芯复合线材的制备方法,其特征在于,步骤六中所述Nb-Zr合金/Cu多芯复合线材的横截面形状为圆形,所述Nb-Zr合金/Cu多芯复合线材的横截面直径为1.0mm~3.0mm。

[0019] 本发明与现有技术相比具有以下优点:

[0020] 1、本发明通过电弧熔炼并结合集束拉拔技术成功实现了一种芯丝均匀分布、组织结构稳定的多芯复合线材的制备。本发明制备出的线材不仅具有高强度、高导电性,而且具有极好的耐腐蚀能力和良好的抗氧化能力。

[0021] 2、本发明通过Nb与Zr电弧熔炼成合金固溶体,集束拉拔后Nb-Zr合金芯丝硬化效果比纯Nb棒更加明显,而且塑性形变过程中芯丝不易扭曲和滑动,致密性很好,减少了复合次数,降低了成本,克服了Cu-Nb材料性能无法再提高的缺点。

[0022] 3、本发明通过在Nb/Cu体系中添加Zr,采用电弧熔炼并结合集束拉拔技术,制备出

的材料兼具了高强度,高导电性,极好的耐腐蚀性和抗氧化性为一体,其应用领域得到了很大程度的拓展,除了脉冲磁体领域,能够广泛应用于航空传输及海军电磁武器等领域。

[0023] 下面结合实施例对本发明作进一步详细说明。

具体实施方式

[0024] 实施例1

[0025] 本实施例Nb-Zr合金/Cu多芯复合线材的制备方法包括以下步骤:

[0026] 步骤一、熔炼浇注:将Nb和Zr按质量比100:4混合均匀后置于电弧感应炉的坩埚中,在温度为2500℃的条件下熔炼3h,二者充分熔融后在水浴冷却条件下浇注成型,得到横截面直径为120mm的Nb-Zr合金铸锭;所述Nb和Zr均为固体原料,本实施例中所述Nb优选以Nb块、Nb颗粒或Nb粉末的形态配入,所述Zr优选以Zr块、Zr颗粒或Zr粉末的形态配入,所述浇注成型的时间为40s;

[0027] 步骤二、热挤压:将步骤一中所述Nb-Zr合金铸锭在温度为800℃的条件下保温4h,然后在挤压比为9的条件下进行挤压加工,得到横截面直径为40mm的Nb-Zr合金棒材;

[0028] 步骤三、拉拔:对步骤二中所述Nb-Zr合金棒材进行多道次拉拔,得到横截面形状为正六边形的Nb-Zr合金线材;所述正六边形的对边距为4.0mm,所述拉拔的具体过程为:先以20%的道次加工率拉拔10道次,再以10%的道次加工率拉拔10道次,然后以8%的道次加工率拉拔8道次,之后以5%的道次加工率拉拔至目标尺寸;在拉拔的总加工率达到90%和95%时分别对棒材进行中间热处理,所述中间热处理的真空度为 5×10^{-4} Pa,温度为550℃,保温时间为3h;

[0029] 步骤四、预处理:将步骤三中所述Nb-Zr合金线材依次进行矫直、定尺、截断、酸洗和烘干,得到预处理后的Nb-Zr合金线材;

[0030] 步骤五、一次复合:将999根步骤四中预处理后的Nb-Zr合金线材集束组装于外径为120mm、内径为115mm、高为130mm的第一铜包套中,得到一次复合包套,再对一次复合包套重复步骤二中所述的热挤压加工工艺,得到一次复合棒材,然后对一次复合棒材重复步骤三中所述的拉拔加工工艺,得到横截面形状为正六边形且对边距为4.0mm的Nb-Zr合金/Cu一次复合线材;之后对一次复合线材重复步骤四中所述的预处理加工工艺,得到预处理后的Nb-Zr合金/Cu一次复合线材;

[0031] 步骤六、二次复合:将999根步骤五中所述预处理后的Nb-Zr合金/Cu一次复合线材集束组装于外径为120mm、内径为115mm、高为130mm的第二铜包套中,得到二次复合包套,再对二次复合包套重复步骤二中所述的热挤压加工工艺,得到二次复合棒材,然后对二次复合棒材进行多道次拉拔,最终得到横截面为圆形且直径为3.0mm的Nb-Zr合金/Cu多芯复合线材;所述拉拔的具体过程为:先以15%的道次加工率拉拔10道次,再以8%的道次加工率拉拔10道次,然后以5%的道次加工率拉拔10道次,之后以2%的道次加工率拉拔至目标尺寸;在拉拔的总加工率达到90%和95%时分别对棒材进行中间热处理,所述中间热处理的真空度为 5×10^{-4} Pa,温度为550℃,保温时间为3h。

[0032] 本实施例制备的Nb-Zr合金/Cu多芯复合线材的芯数为999²芯,经检测:材料的抗拉强度为988MPa,相比传统方法制备的同尺寸线材的强度提高了10%,电导为80% IACS,相比传统方法制备的同尺寸线材的电导提高了6%,而且线材的耐腐蚀性得到了提高,经计

算:线材的总加工率达到99.4%。

[0033] 实施例2

[0034] 本实施例Nb-Zr合金/Cu多芯复合线材的制备方法包括以下步骤:

[0035] 步骤一、熔炼浇注:将Nb和Zr按质量比100:5混合均匀后置于电弧感应炉的坩埚中,在温度为2500℃的条件下熔炼2.5h,二者充分熔融后在水浴冷却条件下浇注成型,得到横截面直径为100mm的Nb-Zr合金铸锭;所述Nb和Zr均为固体原料,本实施例中所述Nb优选以Nb块、Nb颗粒或Nb粉末的形态配入,所述Zr优选以Zr块、Zr颗粒或Zr粉末的形态配入,所述浇注成型的时间为35s;

[0036] 步骤二、热挤压:将步骤一中所述Nb-Zr合金铸锭在温度为700℃的条件下保温3.5h,然后在挤压比为9.8的条件下进行挤压加工,得到横截面直径为32mm的Nb-Zr合金棒材;

[0037] 步骤三、拉拔:对步骤二中所述Nb-Zr合金棒材进行多道次拉拔,得到横截面形状为正六边形的Nb-Zr合金线材;所述正六边形的对边距为3.5mm,所述拉拔的具体过程为:先以20%的道次加工率拉拔10道次,再以10%的道次加工率拉拔10道次,然后以8%的道次加工率拉拔8道次,之后以5%的道次加工率拉拔至目标尺寸;在拉拔的总加工率达到90%和95%时分别对棒材进行中间热处理,所述中间热处理的真空度为 5×10^{-4} Pa,温度为550℃,保温时间为3h;

[0038] 步骤四、预处理:将步骤三中所述Nb-Zr合金线材依次进行矫直、定尺、截断、酸洗和烘干,得到预处理后的Nb-Zr合金线材;

[0039] 步骤五、一次复合:将890根步骤四中预处理后的Nb-Zr合金线材集束组装于外径为100mm、内径为95mm、高为130mm的第一铜包套中,得到一次复合包套,再对一次复合包套重复步骤二中所述的热挤压加工工艺,得到一次复合棒材,然后对一次复合棒材重复步骤三中所述的拉拔加工工艺,得到横截面形状为正六边形且对边距为3.5mm的Nb-Zr合金/Cu一次复合线材;之后对一次复合线材重复步骤四中所述的预处理加工工艺,得到预处理后的Nb-Zr合金/Cu一次复合线材;

[0040] 步骤六、二次复合:将890根步骤五中所述预处理后的Nb-Zr合金/Cu一次复合线材集束组装于外径为100mm、内径为95mm、高为130mm的第二铜包套中,得到二次复合包套,再对二次复合包套重复步骤二中所述的热挤压加工工艺,得到二次复合棒材,然后对二次复合棒材进行多道次拉拔,最终得到横截面为圆形且直径为2.5mm的Nb-Zr合金/Cu多芯复合线材;所述拉拔的具体过程为:先以15%的道次加工率拉拔10道次,再以8%的道次加工率拉拔10道次,然后以5%的道次加工率拉拔10道次,之后以2%的道次加工率拉拔至目标尺寸;在拉拔的总加工率达到90%和95%时分别对棒材进行中间热处理,所述中间热处理的真空度为 5×10^{-4} Pa,温度为550℃,保温时间为3h。

[0041] 本实施例制备的Nb-Zr合金/Cu多芯复合线材的芯数为890²芯,经检测:材料的抗拉强度为908MPa,相比传统方法制备的同尺寸线材的强度提高了15%,电导为75% IACS,相比传统方法制备的同尺寸线材的电导提高了10%,而且线材的耐腐蚀性得到了提高,经计算:线材的总加工率达到99.3%。

[0042] 实施例3

[0043] 本实施例Nb-Zr合金/Cu多芯复合线材的制备方法包括以下步骤:

[0044] 步骤一、熔炼浇注:将Nb和Zr按质量比100:6混合均匀后置于电弧感应炉的坩埚中,在温度为2500℃的条件下熔炼2h,二者充分熔融后在水浴冷却条件下浇注成型,得到横截面直径为80mm的Nb-Zr合金铸锭;所述Nb和Zr均为固体原料,本实施例中所述Nb优选以Nb块、Nb颗粒或Nb粉末的形态配入,所述Zr优选以Zr块、Zr颗粒或Zr粉末的形态配入,所述浇注成型的时间为50s;

[0045] 步骤二、热挤压:将步骤一中所述Nb-Zr合金铸锭在温度为700℃的条件下保温6h,然后在挤压比为8.4的条件下进行挤压加工,得到横截面直径为28mm的Nb-Zr合金棒材;

[0046] 步骤三、拉拔:对步骤二中所述Nb-Zr合金棒材进行多道次拉拔,得到横截面形状为正六边形的Nb-Zr合金线材;所述正六边形的对边距为3.0mm,所述拉拔的具体过程为:先以20%的道次加工率拉拔10道次,再以10%的道次加工率拉拔10道次,然后以8%的道次加工率拉拔8道次,之后以5%的道次加工率拉拔至目标尺寸;在拉拔的总加工率达到90%和95%时分别对棒材进行中间热处理,所述中间热处理的真空度为 5×10^{-4} Pa,温度为550℃,保温时间为3h;

[0047] 步骤四、预处理:将步骤三中所述Nb-Zr合金线材依次进行矫直、定尺、截断、酸洗和烘干,得到预处理后的Nb-Zr合金线材;

[0048] 步骤五、一次复合:将755根步骤四中预处理后的Nb-Zr合金线材集束组装于外径为80mm、内径为75mm、高为130mm的第一铜包套中,得到一次复合包套,再对一次复合包套重复步骤二中所述的热挤压加工工艺,得到一次复合棒材,然后对一次复合棒材重复步骤三中所述的拉拔加工工艺,得到横截面形状为正六边形且对边距为3.0mm的Nb-Zr合金/Cu一次复合线材;之后对一次复合线材重复步骤四中所述的预处理加工工艺,得到预处理后的Nb-Zr合金/Cu一次复合线材;

[0049] 步骤六、二次复合:将755根步骤五中所述预处理后的Nb-Zr合金/Cu一次复合线材集束组装于外径为80mm、内径为75mm、高为130mm的第二铜包套中,得到二次复合包套,再对二次复合包套重复步骤二中所述的热挤压加工工艺,得到二次复合棒材,然后对二次复合棒材进行多道次拉拔,最终得到横截面为圆形且直径为2.0mm的Nb-Zr合金/Cu多芯复合线材;所述拉拔的具体过程为:先以15%的道次加工率拉拔10道次,再以8%的道次加工率拉拔10道次,然后以5%的道次加工率拉拔10道次,之后以2%的道次加工率拉拔至目标尺寸;在拉拔的总加工率达到90%和95%时分别对棒材进行中间热处理,所述中间热处理的真空度为 5×10^{-4} Pa,温度为550℃,保温时间为3h。

[0050] 本实施例制备的Nb-Zr合金/Cu多芯复合线材的芯数为755²芯,经检测:材料的抗拉强度为880MPa,相比传统方法制备的同尺寸线材的强度提高了18%,电导为72%IACS,相比传统方法制备的同尺寸线材的电导提高了8%,而且线材的耐腐蚀性得到了提高,经计算:线材的总加工率达到99.5%。

[0051] 实施例4

[0052] 本实施例Nb-Zr合金/Cu多芯复合线材的制备方法包括以下步骤:

[0053] 步骤一、熔炼浇注:将Nb和Zr按质量比100:3混合均匀后置于电弧感应炉的坩埚中,在温度为2500℃的条件下熔炼1.5h,二者充分熔融后在水浴冷却条件下浇注成型,得到横截面直径为65mm的Nb-Zr合金铸锭;所述Nb和Zr均为固体原料,本实施例中所述Nb优选以Nb块、Nb颗粒或Nb粉末的形态配入,所述Zr优选以Zr块、Zr颗粒或Zr粉末的形态配入,所述

浇注成型的时间为10s;

[0054] 步骤二、热挤压:将步骤一中所述Nb-Zr合金铸锭在温度为650℃的条件下保温2.5h,然后在挤压比为10.6的条件下进行挤压加工,得到横截面直径为20mm的Nb-Zr合金棒材;

[0055] 步骤三、拉拔:对步骤二中所述Nb-Zr合金棒材进行多道次拉拔,得到横截面形状为正六边形的Nb-Zr合金线材;所述正六边形的对边距为2.5mm,所述拉拔的具体过程为:先以20%的道次加工率拉拔10道次,再以10%的道次加工率拉拔10道次,然后以8%的道次加工率拉拔8道次,之后以5%的道次加工率拉拔至目标尺寸;在拉拔的总加工率达到90%和95%时分别对棒材进行中间热处理,所述中间热处理的真空度为 5×10^{-4} Pa,温度为550℃,保温时间为3h;

[0056] 步骤四、预处理:将步骤三中所述Nb-Zr合金线材依次进行矫直、定尺、截断、酸洗和烘干,得到预处理后的Nb-Zr合金线材;

[0057] 步骤五、一次复合:将696根步骤四中预处理后的Nb-Zr合金线材集束组装于外径为65mm、内径为60mm、高为130mm的第一铜包套中,得到一次复合包套,再对一次复合包套重复步骤二中所述的热挤压加工工艺,得到一次复合棒材,然后对一次复合棒材重复步骤三中所述的拉拔加工工艺,得到横截面形状为正六边形且对边距为2.5mm的Nb-Zr合金/Cu一次复合线材;之后对一次复合线材重复步骤四中所述的预处理加工工艺,得到预处理后的Nb-Zr合金/Cu一次复合线材;

[0058] 步骤六、二次复合:将696根步骤五中所述预处理后的Nb-Zr合金/Cu一次复合线材集束组装于外径为65mm、内径为60mm、高为130mm的第二铜包套中,得到二次复合包套,再对二次复合包套重复步骤二中所述的热挤压加工工艺,得到二次复合棒材,然后对二次复合棒材进行多道次拉拔,最终得到横截面为圆形且直径为1.5mm的Nb-Zr合金/Cu多芯复合线材;所述拉拔的具体过程为:先以15%的道次加工率拉拔10道次,再以8%的道次加工率拉拔10道次,然后以5%的道次加工率拉拔10道次,之后以2%的道次加工率拉拔至目标尺寸;在拉拔的总加工率达到90%和95%时分别对棒材进行中间热处理,所述中间热处理的真空度为 1×10^{-3} Pa,温度为700℃,保温时间为2h。

[0059] 本实施例制备的Nb-Zr合金/Cu多芯复合线材的芯数为696²芯,经检测:材料的抗拉强度为805MPa,相比传统方法制备的同尺寸线材的强度提高了20%,电导为70%IACS,相比传统方法制备的同尺寸线材的电导提高了12%,而且线材的耐腐蚀性得到了提高,经计算:线材的总加工率达到99.4%。

[0060] 实施例5

[0061] 本实施例Nb-Zr合金/Cu多芯复合线材的制备方法包括以下步骤:

[0062] 步骤一、熔炼浇注:将Nb和Zr按质量比100:8混合均匀后置于电弧感应炉的坩埚中,在温度为2500℃的条件下熔炼1h,二者充分熔融后在水浴冷却条件下浇注成型,得到横截面直径为45mm的Nb-Zr合金铸锭;所述Nb和Zr均为固体原料,本实施例中所述Nb优选以Nb块、Nb颗粒或Nb粉末的形态配入,所述Zr优选以Zr块、Zr颗粒或Zr粉末的形态配入,所述浇注成型的时间为20s;

[0063] 步骤二、热挤压:将步骤一中所述Nb-Zr合金铸锭在温度为600℃的条件下保温2h,然后在挤压比为9的条件下进行挤压加工,得到横截面直径为15mm的Nb-Zr合金棒材;

[0064] 步骤三、拉拔：对步骤二中所述Nb-Zr合金棒材进行多道次拉拔，得到横截面形状为正六边形的Nb-Zr合金线材；所述正六边形的对边距为2.0mm，所述拉拔的具体过程为：先以20%的道次加工率拉拔10道次，再以10%的道次加工率拉拔10道次，然后以8%的道次加工率拉拔8道次，之后以5%的道次加工率拉拔至目标尺寸；在拉拔的总加工率达到90%和95%时分别对棒材进行中间热处理，所述中间热处理的真空度为 5×10^{-4} Pa，温度为500℃，保温时间为6h；

[0065] 步骤四、预处理：将步骤三中所述Nb-Zr合金线材依次进行矫直、定尺、截断、酸洗和烘干，得到预处理后的Nb-Zr合金线材；

[0066] 步骤五、一次复合：将483根步骤四中预处理后的Nb-Zr合金线材集束组装于外径为45mm、内径为40mm、高为130mm的第一铜包套中，得到一次复合包套，再对一次复合包套重复步骤二中所述的热挤压加工工艺，得到一次复合棒材，然后对一次复合棒材重复步骤三中所述的拉拔加工工艺，得到横截面形状为正六边形且对边距为2.0mm的Nb-Zr合金/Cu一次复合线材；之后对一次复合线材重复步骤四中所述的预处理加工工艺，得到预处理后的Nb-Zr合金/Cu一次复合线材；

[0067] 步骤六、二次复合：将483根步骤五中所述预处理后的Nb-Zr合金/Cu一次复合线材集束组装于外径为45mm、内径为40mm、高为130mm的第二铜包套中，得到二次复合包套，再对二次复合包套重复步骤二中所述的热挤压加工工艺，得到二次复合棒材，然后对二次复合棒材进行多道次拉拔，最终得到横截面为圆形且直径为1.0mm的Nb-Zr合金/Cu多芯复合线材；所述拉拔的具体过程为：先以15%的道次加工率拉拔10道次，再以8%的道次加工率拉拔10道次，然后以5%的道次加工率拉拔10道次，之后以2%的道次加工率拉拔至目标尺寸；在拉拔的总加工率达到90%和95%时分别对棒材进行中间热处理，所述中间热处理的真空度为 5×10^{-4} Pa，温度为550℃，保温时间为3h。

[0068] 本实施例制备的Nb-Zr合金/Cu多芯复合线材的芯数为483²芯，经检测：材料的抗拉强度为768MPa，相比传统方法制备的同尺寸线材的强度提高了15%，电导为68%IACS，相比传统方法制备的同尺寸线材的电导提高了8%，而且线材的耐腐蚀性得到了很大的提高，经计算：线材的总加工率达到99.6%。

[0069] 以上所述，仅是本发明的较佳实施例，并非对本发明作任何限制。凡是根据发明技术实质对以上实施例所作的任何简单修改、变更以及等效变化，均仍属于本发明技术方案的保护范围内。