



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116487110 A

(43) 申请公布日 2023.07.25

(21) 申请号 202310741162.X

(22) 申请日 2023.06.21

(71) 申请人 西安聚能超导线材科技有限公司
地址 710075 陕西省西安市西咸新区泾河
新城正阳大道北段2000号

(72) 发明人 郭强 周子敬 王瑞龙 贾文兵
朱燕敏 张凯林 韩路洋 杨逸文
房元昆 蔡永森 刘向宏 冯勇

(74) 专利代理机构 西安鼎迈知识产权代理事务
所(普通合伙) 61263
专利代理师 李振瑞

(51) Int. Cl.

H01B 12/08 (2006.01)

H01B 12/10 (2006.01)

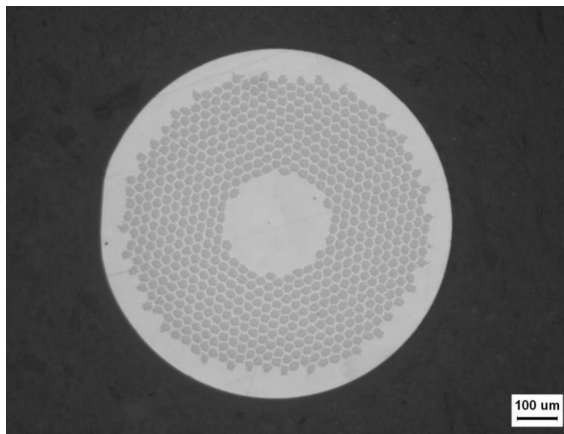
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54) 发明名称

一种高镍含量的NbTi超导开关线及其制备方法

(57) 摘要

本发明公开了一种高镍含量的NbTi超导开关线及其制备方法,其包括以下步骤:S1:将NbTi棒材装入Nb筒,再装入到钻孔CuNi锭中,经过除气体、真空电子束焊接、热等静压以及挤压制备为NbTi/CuNi复合棒坯;S2:将所述NbTi/CuNi复合棒坯进行扒皮、冷拉拔和退火;S3:进行冷连轧,同时与时效热处理交替进行,进行归圆,获得NbTi/CuNi复合线;S4:将所述NbTi/CuNi复合线进行扭绞、拉拔和涂漆,获得NbTi超导开关线。本发明解决了高Ni含量的NbTi超导开关线硬度高,加工硬化严重,在拉拔过程中出现频繁断线,断芯以及性能低下的问题。在磁体励磁过程中,未出现失超的情况。



1. 一种高镍含量的NbTi超导开关线的制备方法,其特征在于,包括以下步骤:S1:将多个NbTi棒材分别装入多个Nb筒,再装入到钻孔CuNi锭中,经过除气体、真空电子束焊接上下盖、热等静压和挤压制备为直径小于90mm的NbTi/CuNi复合棒坯;

S2:将所述NbTi/CuNi复合棒坯进行扒皮去除表面氧化层,然后多次冷拉拔退火;

S3:进行多次冷连轧,所述冷连轧与时效热处理交替进行1~8次,再进行归圆,获得NbTi/CuNi复合线;

S4:将所述NbTi/CuNi复合线进行扭绞、拉拔和涂漆,获得NbTi超导开关线。

2. 根据权利要求1所述的制备方法,其特征在于,所述NbTi棒材和所述钻孔CuNi锭的原料为退火态;

所述钻孔CuNi锭的Ni含量为30wt.%~70wt.%;所述钻孔CuNi锭的直径为100~200mm;

所述NbTi棒材中Nb含量为40wt.%~60wt.%,直径为1~3mm,所述NbTi棒材的数量为500~700支;所述Nb筒的壁厚为0.4~0.8mm。

3. 根据权利要求1所述的制备方法,其特征在于,所述热等静压的温度为600~900℃;

所述挤压的温度为800~1100℃。

4. 根据权利要求1所述的制备方法,其特征在于,所述多次冷拉拔退火包括:进行多次冷拉拔,每次冷拉拔的加工率为10~30%;每累积加工率达到100%时,便进行一次退火,使得硬度低于HV200;

退火温度为700~900℃。

5. 根据权利要求1所述的制备方法,其特征在于,所述冷连轧的道次间加工率为10~15%。

6. 根据权利要求1所述的制备方法,其特征在于,所述扭绞的节距为35~60mm。

7. 根据权利要求1所述的制备方法,其特征在于,所述S4中的所述拉拔为冷拉拔,所述拉拔过程中进行加热;

所述加热的温度为500~700℃,所述加热时走线的速度为10~30m/min。

8. 根据权利要求1所述的制备方法,其特征在于,所述涂漆后得到漆膜厚度为0.5~0.7mm。

9. 一种NbTi超导开关线,其特征在于采用权利要求1~8任一项所述的制备方法制得。

一种高镍含量的NbTi超导开关线及其制备方法

技术领域

[0001] 本发明属于超导材料制备技术领域,涉及一种高镍含量的NbTi超导开关线及其制备方法。

背景技术

[0002] 超导开关是超导磁体中的关键部件,其作用主要有:第一、超导磁体完成励磁后,超导开关闭合,切断电源,超导开关与磁体间形成无损耗的闭合回路;第二、在磁体的运行过程中,一旦失超,超导开关便会自动断开,防止磁体损毁。

[0003] 在Cu基二元合金中,Ni与Cu同为面心立方结构,原子半径相近,能形成置换固溶体,因此CuNi合金具有较为优良的冷加工性能,同时其高电阻特性能满足超导开关线材的性能要求,因此被用于NbTi超导开关线材的基体。但是,随着Ni含量的增加,高硬度的CuNi合金不但会增加挤压过程中的“闷车”风险,而且在扒皮工序中,表面会出现撕裂形貌,严重影响物料的表面状态,同时在多道次的冷拉拔过程中更容易导致线材断线,给超导开关线材的研发带来挑战。国际上通常采用CuNi作为NbTi超导开关线的基体,是因为Cu与Ni为面心立方结构,原子半径相近,能形成置换固溶体,具备较好的冷加工性能。目前,高Ni含量的NbTi超导开关线在磁体励磁过程中,多次出现失超的情况。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于解决高Ni含量的NbTi超导开关线在磁体励磁过程中,多次出现失超的情况。

[0005] 本发明申请人发现在线材直径不变的情况下,增加芯丝数量,减少芯丝直径能有效解决这一问题,但伴随芯数的增加,超导线材的加工难度增大,对加工过程中多芯丝的协同变形能力要求更高。而由于高Ni含量的NbTi超导线材硬度高,加工硬化严重,使用常规的制备工艺在拉拔过程中出现频繁断线,断芯以及性能低下的问题。

[0006] 由此,本发明提供了一种高镍含量的NbTi超导开关线及其制备方法来满足本领域内的这种需要。

[0007] 一方面,本发明涉及一种高镍含量的NbTi超导开关线的制备方法,其包括以下步骤:S1:将多个NbTi棒材分别装入多个Nb筒,再装入到钻孔CuNi锭中,经过除气体、真空电子束焊接上下盖、热等静压和挤压制备为直径小于90mm的NbTi/CuNi复合棒坯;

S2:将所述NbTi/CuNi复合棒坯进行扒皮去除表面氧化层,然后多次冷拉拔退火;

S3:进行多次冷连轧,所述冷连轧与时效热处理交替进行1~8次,进行归圆,获得NbTi/CuNi复合线;

S4:将所述NbTi/CuNi复合线进行扭绞、拉拔和涂漆,获得NbTi超导开关线。

[0008] 进一步地,本发明提供的高镍含量的NbTi超导开关线的制备方法中,所述NbTi棒材和所述钻孔CuNi锭的原料为退火态;

所述钻孔CuNi锭的Ni含量为30wt.%~70wt.%;所述钻孔CuNi锭的直径为100~

200mm;

所述NbTi棒材的Nb含量为40wt.%~60wt.%,直径为1~3mm,所述NbTi棒材的数量为500~700支;

所述Nb筒的壁厚为0.4~0.8mm。

[0009] 进一步地,本发明提供的高镍含量的NbTi超导开关线的制备方法中,所述热等静压的温度为600~900℃;

所述挤压的温度为800~1100℃。

[0010] 进一步地,本发明提供的高镍含量的NbTi超导开关线的制备方法中,所述多次冷拉拔退火包括:进行多次冷拉拔,每次冷拉拔的加工率为10~30%;每累积加工率达到100%时,便进行一次退火,使得硬度低于HV200;

退火温度为700~900℃。

[0011] 进一步地,本发明提供的高镍含量的NbTi超导开关线的制备方法中,所述冷连轧的道次间加工率为10~15%。

[0012] 进一步地,本发明提供的高镍含量的NbTi超导开关线的制备方法中,所述扭绞的节距为35~60mm。

[0013] 进一步地,本发明提供的高镍含量的NbTi超导开关线的制备方法中,所述S4中的所述拉拔为冷拉拔,所述拉拔过程中进行加热;

所述加热的温度为500~700℃,所述加热时走线的速度为10~30m/min。

[0014] 进一步地,本发明提供的高镍含量的NbTi超导开关线的制备方法中,所述涂漆后得到漆膜厚度为0.5~0.7mm。

[0015] 另一方面,本发明涉及一种NbTi超导开关线,其采用上述的制备方法制得。

[0016] 与现有技术相比,本发明提供的技术方案至少具备下述的有益效果或优点:

本发明选用NbTi棒和钻孔CuNi锭原料均为退火态,进一步限定NbTi棒、钻孔CuNi锭、Nb筒的规格,配合特定的挤压温度和热等静压温度,用于优化芯丝的变形情况。本发明的步骤S3中,一旦开始时效热处理,便不能进行退火,目的是高温退火过程中析出的 ω 相对超导线材性能的影响非常大;选择冷连轧是因为该工艺在对物料进行减径时,物料所受的压应力大,拉应力小,在减径的过程中不会发生缩颈而引发断线;由于冷连轧后的物料形状不规则,因此在冷连轧后还需采用辊模拉丝及对物料进行归圆。本发明的步骤S2~4中,解决了物料加工硬化,断线和缩颈的问题;扭绞的节距限定目的是保证所有的芯丝充分换位,减弱超导线材的涡流损耗。

附图说明

[0017] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术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。

[0018] 图1是本发明的实施例1制备得到的高镍含量的NbTi超导开关线的横截面示意图。

具体实施方式

[0019] 下面,结合实施例对本发明的技术方案进行说明,但是,本发明并不限于下述的实施例。

[0020] 下述各实施例中所述实验方法和检测方法,如无特殊说明,均为常规方法;所述试剂和材料,如无特殊说明,均可在市场上购买得到。

实施例1

[0021] 本实施例提供了高镍含量的NbTi超导开关线的具体实施过程。

[0022] 首先,采用Ni含量为30wt.%,直径为100mm的钻孔CuNi锭,孔数为500个,直径为1mm的小规格NbTi棒材500支,壁厚为0.4mm的加厚Nb筒作为原材料,其中钻孔CuNi锭和NbTi棒材均为退火态。随后将NbTi棒材装入Nb筒中,然后装入到钻孔CuNi锭,后经过除气体、真空电子束焊接、热等静压以及挤压制备为NbTi/CuNi复合棒坯,其中挤压温度为800℃,热等静压温度为600℃。之后将获得的NbTi/CuNi复合棒坯进行扒皮、冷拉拔和退火,其中冷加工变形率为10%,退火温度为700℃,当累积加工率每达到100%时,便需要进行一次退火,以保证整支物料的硬度低于HV200。接下来将NbTi/CuNi复合棒坯进行冷连轧,同时与时效热处理交替进行1次,冷连轧的道次间加工率为10%,由于冷连轧后的物料形状不规则,因此在冷连轧后还需采用辊模拉丝及对物料进行归圆,获得NbTi/CuNi复合线。再对NbTi/CuNi复合线进行扭绞,扭绞的节距为35mm,之后进行最终拉拔,在拉拔时加装感应加热炉,加热温度控制在500℃,线材在感应加热炉中的走线速度控制在10m/min。最后对线材进行绝缘涂漆,漆膜厚度为0.5mm,获得NbTi超导开关线。在整个制备过程中未出现断线,以及断芯问题,经测试,线材在0.5T,4.2K下的 $J_c \geq 3900A/mm^2$,在磁体励磁过程中,未出现失超的情况。

实施例2

[0023] 本实施例提供了高镍含量的NbTi超导开关线的具体实施过程。

[0024] 首先,采用Ni含量在40wt.%,直径为120mm的钻孔CuNi锭,孔数为630个,直径为1.5mm的小规格NbTi棒材630支,壁厚为0.5mm的加厚Nb筒作为原材料,其中钻孔CuNi锭和NbTi棒材均为退火态。随后将NbTi棒材装入Nb筒中,然后装入到钻孔CuNi锭,后经过除气体、真空电子束焊接、热等静压以及挤压制备为NbTi/CuNi复合棒坯,其中挤压温度为900℃,热等静压温度为700℃。之后将获得的NbTi/CuNi复合棒坯进行扒皮、冷拉拔和退火,其中冷加工变形率为15%,退火温度为800℃,当累积加工率每达到100%时,便需要进行一次退火,以保证整支物料的硬度低于HV200。接下来将NbTi/CuNi复合棒坯进行冷连轧,同时与时效热处理交替进行3次,冷连轧的道次间加工率为12%,由于冷连轧后的物料形状不规则,因此在冷连轧后还需采用辊模拉丝及对物料进行归圆,获得NbTi/CuNi复合线。再对NbTi/CuNi复合线进行扭绞,扭绞的节距为40mm,之后进行最终拉拔,在拉拔时加装感应加热炉,加热温度控制在600℃,线材在感应加热炉中的走线速度控制在20m/min。最后对线材进行绝缘涂漆,漆膜厚度为0.6mm,获得NbTi超导开关线。在整个制备过程中未出现断线,以及断芯问题,经测试,线材在0.5T,4.2K下的 $J_c \geq 3900A/mm^2$,在磁体励磁过程中,未出现失超的情况。

实施例3

[0025] 本实施例提供了高镍含量的NbTi超导开关线的具体实施过程。

[0026] 首先,采用Ni含量为60wt.%,直径为150mm的钻孔CuNi锭,孔数为650个,直径为2mm的小规格NbTi棒材650支,壁厚为0.7mm的加厚Nb筒作为原材料,其中钻孔CuNi锭和NbTi棒材均为退火态。随后将NbTi棒材装入Nb筒中,然后装入到钻孔CuNi锭,后经过除气体、真空电子束焊接、热等静压以及挤压制备为NbTi/CuNi复合棒坯,其中挤压温度为1000℃,热等静压温度为800℃。之后将获得的NbTi/CuNi复合棒坯进行扒皮、冷拉拔和退火,其中冷加工变形率为20%,退火温度为800℃,当累积加工率每达到100%时,便需要进行一次退火,以保证整支物料的硬度低于HV200。接下来将NbTi/CuNi复合棒坯进行冷连轧,同时与时效热处理交替进行6次,冷连轧的道次间加工率为15%,由于冷连轧后的物料形状不规则,因此在冷连轧后还需采用辊模拉丝及对物料进行归圆,获得NbTi/CuNi复合线。再对NbTi/CuNi复合线进行扭绞,扭绞的节距为50mm,之后进行最终拉拔,在拉拔时加装感应加热炉,加热温度控制在650℃,线材在感应加热炉中的走线速度控制在25m/min。最后对线材进行绝缘涂漆,漆膜厚度为0.6mm,获得NbTi超导开关线。在整个制备过程中未出现断线,以及断芯问题,经测试,线材在0.5T,4.2K下的 $J_c \geq 3900A/mm^2$,在磁体励磁过程中,未出现失超的情况。

实施例4

[0027] 本实施例提供了高镍含量的NbTi超导开关线的具体实施过程。

[0028] 首先,采用Ni含量为70wt.%,直径为2000mm的钻孔CuNi锭,孔数为700个,直径为3mm的小规格NbTi棒材700支,壁厚为0.8mm的加厚Nb筒作为原材料,其中钻孔CuNi锭和NbTi棒材均为退火态。随后将NbTi棒材装入Nb筒中,然后装入到钻孔CuNi锭,后经过除气体、真空电子束焊接、热等静压以及挤压制备为NbTi/CuNi复合棒坯,其中挤压温度为1100℃,热等静压温度为900℃。之后将获得的NbTi/CuNi复合棒坯进行扒皮、冷拉拔和退火,其中冷加工变形率为30%,退火温度为900℃,当累积加工率每达到100%时,便需要进行一次退火,以保证整支物料的硬度低于HV200。接下来将NbTi/CuNi复合棒坯进行冷连轧,同时与时效热处理交替进行8次,冷连轧的道次间加工率为15%,由于冷连轧后的物料形状不规则,因此在冷连轧后还需采用辊模拉丝及对物料进行归圆,获得NbTi/CuNi复合线。再对NbTi/CuNi复合线进行扭绞,扭绞的节距为60mm,之后进行最终拉拔,在拉拔时加装感应加热炉,加热温度控制在700℃,线材在感应加热炉中的走线速度控制在30m/min。最后对线材进行绝缘涂漆,漆膜厚度为0.7mm,获得NbTi超导开关线。在整个制备过程中未出现断线,以及断芯问题,经测试,线材在0.5T,4.2K下的 $J_c \geq 3900A/mm^2$,在磁体励磁过程中,未出现失超的情况。

[0029] 如上所述,较好的描述了本发明的基本原理、主要特征和优点。上述实施例和说明书仅仅是对本发明的优选实施方式进行了描述,本发明不受上述实施例的限制,在不脱离本发明精神和范围的前提下,本领域普通技术人员对本发明的技术方案做出的各种改变和改进,均应落入本发明确定的保护范围内。

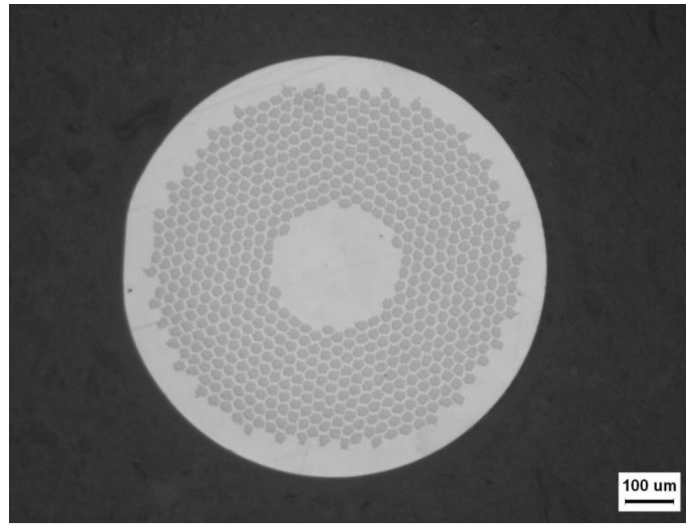


图1