



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113234958 A

(43) 申请公布日 2021.08.10

(21) 申请号 202110449066.9 *C22F 1/08* (2006.01)
(22) 申请日 2021.04.25 *C21D 1/26* (2006.01)
(71) 申请人 江苏青益金属科技股份有限公司 *C21D 8/06* (2006.01)
地址 223800 江苏省宿迁市泗洪县双沟镇 *B21B 1/46* (2006.01)
工业园区B8栋 *B21B 3/00* (2006.01)
申请人 西安理工大学 *F16L 53/38* (2018.01)

(72) 发明人 徐春杰 张凯军 路瑶涵 郭灿
张青山

(74) 专利代理机构 西安弘理专利事务所 61214
代理人 王丹

(51) Int. Cl.
G22C 9/06 (2006.01)
G22C 9/02 (2006.01)
G22C 1/03 (2006.01)
B22D 11/00 (2006.01)

权利要求书1页 说明书6页

(54) 发明名称

适用于石油输送管道恒温包套的合金线材及其制备方法

(57) 摘要

本发明公开了适用于石油输送管道恒温包套的合金线材及其制备方法,对电解铜进行熔化得到铜液,待铜液温度升至预设温度后,按照质量百分数0.5-0.8%Ni、0.10-0.15%Mn、0.15-0.20%Si将Cu-50%Ni、Cu-30%Mn、Cu-30%Si中间合金加入铜液中继续熔化;待达到预设温度后,按照质量百分数0.4-0.6%Sn向混合液中加入纯Sn锭继续熔化;待达到预设温度后,使熔体从坩埚底部流入轮盘式连铸机进行结晶凝固后得到U型截面的锭坯,锭坯通过导流槽进入轧机,经过多道次轧制模具制成线材;对线材进行拉拔成形与时效退火得到合金线材。能保证电阻率和米电阻及铜合金的塑形可加工性能。

1. 适用于石油输送管道恒温包套的合金线材,其特征在於,按照质量百分数包括以下组分:

0.5-0.8%Ni、0.4-0.6%Sn、0.10-0.15%Mn、0.15-0.20%Si,余量为Cu和其他杂质元素,且所述其他杂质元素的含量均小于0.03%。

2. 根据权利要求1所述的适用于石油输送管道恒温包套的合金线材,其特征在於,所述合金线材直径为0.22-0.28mm,电阻率为0.05-0.06 $\Omega \cdot m$,米电阻为1.0-1.1 Ω 。

3. 适用于石油输送管道恒温包套的合金线材的制备方法,采用微合金化装置,所述微合金化装置包括石墨坩埚、轮盘式连铸机及轧机,所述轮盘式连铸机位于石墨坩埚出料口处,轮盘式连铸机通过导流槽与轧机连接,所述导流槽位于轮盘式连铸机的轮盘下部切线方向,其特征在於,包括以下步骤:

步骤1、将放置有电解铜的坩埚放入加热炉中加热,对电解铜进行熔化得到铜液,待铜液温度升至预设温度后,按照质量百分数0.5-0.8%Ni、0.10-0.15%Mn、0.15-0.20%Si将Cu-50%Ni、Cu-30%Mn、Cu-30%Si中间合金加入铜液中继续熔化,得到微合金化铜液A;待所述微合金化铜液A的温度达到预设温度后,按照质量百分数0.4-0.6%Sn向混合液中加入纯Sn锭继续熔化,得到微合金化铜液B;待所述微合金化铜液B的温度达到预设温度后,使所述微合金化铜液B从坩埚底部流入轮盘式连铸机的轮盘U型槽,所述微合金化铜液B在轮盘式连铸机的轮盘U型槽内结晶凝固后得到U型截面的锭坯,所述锭坯通过导流槽进入轧机,经过多道次轧制模具制成线材;

步骤2、对所述线材进行拉拔成形与时效退火得到合金线材。

4. 根据权利要求3所述的适用于石油输送管道恒温包套的合金线材的制备方法,其特征在於,步骤1中所述预设温度均为1180~1200℃。

5. 根据权利要求3所述的适用于石油输送管道恒温包套的合金线材的制备方法,其特征在於,步骤2的具体过程为:对所述线材在室温下进行多道次的拉拔,道次变形量为5-10%,每道次拉拔后丝材进入管式炉中在800-900℃的氢气保护气氛中进行中间时效退火,时效退火时间1-3min,得到合金线材。

6. 根据权利要求3所述的适用于石油输送管道恒温包套的合金线材的制备方法,其特征在於,所述轮盘式连铸机的轮盘直径为2m,材质为纯铜,轮盘支架为45钢,转速为2rpm;所述轮盘式连铸机的U型槽底部半径为20mm。

7. 根据权利要求3所述的适用于石油输送管道恒温包套的合金线材的制备方法,其特征在於,所述电解铜的质量纯度不低于99.9%,Sn的质量纯度不低于99.9%。

适用于石油输送管道恒温包套的合金线材及其制备方法

技术领域

[0001] 本发明属于合金材料技术领域,涉及一种适用于石油输送管道恒温包套的合金线材,还涉及上述合金线材的制备方法。

背景技术

[0002] 随着经济发展,石油输送距离越来越长,绵延数千公里,跨地域传输过程中由于气温变化可能较大,直接影响管道温度。为了防冻、提高原油的流动性、降低黏度,确保稳定输送的效率,工程上需要维持控制石油管道的温度 65°C - 105°C 。因此,目前采用的方法是在石油输送管道外壁包裹电加热的恒温包套,包套内植入具有一定电阻值的加热丝材,以精准控制埋入地下的石油输送管道具有相对恒定的温度。

[0003] 过去,蒸汽伴热是一种主要的保温方式。其工作原理是通过蒸汽伴热管道散热以补充被保温管道的热损失。由于蒸汽的散热量不易控制,其保温效率始终处于一个较低的水平。20世纪70年代,美国能源行业就提出用电伴热方案来替代蒸汽伴热的设想。70年代末80年代初,包括能源业在内的很多工业部门已广泛推广了电伴热技术,以电伴热全面代替蒸汽伴热。

[0004] 目前的通常做法是采用恒温包套电伴热带散发的热量,间接或直接的热交换补偿被伴热管道的热损失,能够自动限温加热时的温度,并随被加热体系的温度自动调节输出功率而无任何附加设备。电伴热技术发展至今,仍是比较传统和廉价的主流伴热技术。电伴热技术有两类,一类是电阻丝,一类是以导电塑料为核心的自控温电伴热。伴热带种类繁多,期望发热元件的电阻率具有很高的正温度系数“PTC”且相互并联。可以任意截短或在一定长度范围内接长使用,并允许多次交叉重叠而无高温过热点及烧毁之虑。以达到防冻保温的要求,保证消防管道在严寒的冬季正常使用。当温度升高时,导电塑料产生微分子的膨胀,碳粒渐渐分开,引起电路中断,电阻上升,伴热带会自动减少功率输出。电伴热带由纳米导电碳粒和两根平行母线外加绝缘层构成,由于这种平行结构,所有自限温电伴均可以在现场被切割成任何长度,采用两通或三通接线盒连接。然而,导电塑料成本较高,使用面有限。

[0005] 恒温包套电伴热带可能的应用范围:石油管线防凝、解蜡和工艺、防冻伴热;油田井口采油的伴热防凝;化工管道、罐体、仪表管线、取样管的伴热保温;海上石油平台输油管线伴热和水管防冻;油轮和船舶管线、容器的伴热保温;发电厂重油管道的伴热保温和水管的防冻。

[0006] 电伴热产品可广泛用于石油、化工、电力、医药、机械、食品、船舶等行业的管道、泵体、阀门、槽池和罐体容积的伴热保温、防冻和防凝,是输液管道、储液介质罐体维持工艺温度最科学、最有效的方法。电伴热不但适用于蒸汽伴热的各种场所,而且能解决蒸汽伴热难以解决的问题,如:长输管道的伴热,窄小空间的伴热;无规则外型的设备(如泵)伴热;无蒸汽热源或边远地区管道和设备的伴热;塑料与非金属管道的伴热,等等。

[0007] 众所周知,电阻丝是一种一般将电能转化为内能的电气元件。然而,市场上的电阻

丝一般是镍基的丝材,电阻值大,丝材制备困难。从现有技术来看,直接使用镍铬电阻丝已经不能满足实际技术需要,尤其是地电阻的特性。另外,镍铬电阻丝直径越细小,拉拔成型越困难,电阻率和米电阻值精确控制越困难,均不能够解决如何提高生产效率、降低生产成本问题,如何提升电阻丝的精密电阻率和米电阻值的控制是关键问题。因此,市场上仍期望廉价的低电阻丝材作为核心的恒温包套用加热带铜基丝材,以满足实际生产需要,迫切需要低成本、制备工艺简单、微合金化的石油输送管道恒温包套专用加热带铜基丝材。

发明内容

[0008] 本发明的目的是提供一种适用于石油输送管道恒温包套的合金线材,解决了现有技术中存在的无法精确控制线材电阻率和米电阻的问题。

[0009] 本发明所采用的技术方案是,适用于石油输送管道恒温包套的合金线材,按照质量百分数包括以下组分:

[0010] 0.5-0.8%Ni、0.4-0.6%Sn、0.10-0.15%Mn、0.15-0.20%Si,余量为Cu和其他杂质元素,且其他杂质元素的含量均小于0.03%。

[0011] 本发明的特点还在于:

[0012] 合金线材直径为0.22-0.28mm,电阻率为0.05-0.06 $\Omega \cdot m$,米电阻为1.0-1.1 Ω 。

[0013] 本发明的另一目的是提供一种适用于石油输送管道恒温包套的合金线材的制备方法。

[0014] 本发明所采用另一的技术方案是,适用于石油输送管道恒温包套的合金线材的制备方法,采用微合金化装置,微合金化装置包括石墨坩埚、轮盘式连铸机及轧机,轮盘式连铸机位于石墨坩埚出料口处,轮盘式连铸机通过导流槽与轧机连接,导流槽位于轮盘式连铸机的轮盘下部切线方向,包括以下步骤:

[0015] 步骤1、将放置有电解铜的坩埚放入加热炉中加热,对电解铜进行熔化得到铜液,待铜液温度升至预设温度后,按照质量百分数0.5-0.8%Ni、0.10-0.15%Mn、0.15-0.20%Si,将Cu-50%Ni、Cu-30%Mn、Cu-30%Si中间合金加入铜液中继续熔化,得到微合金化铜液A;待微合金化铜液A的温度达到预设温度后,按照质量百分数0.4-0.6%Sn向混合液中加入纯Sn锭继续熔化,得到微合金化铜液B;待微合金化铜液B的温度达到预设温度后,使微合金化铜液B从坩埚底部流入轮盘式连铸机的轮盘U型槽,微合金化铜液B在轮盘式连铸机的轮盘U型槽内结晶凝固后得到U型截面的锭坯,锭坯通过导流槽进入轧机,经过多道次连续轧制制成线材;

[0016] 步骤2、对线材进行拉拔成形与时效退火得到合金线材。

[0017] 步骤1中预设温度均为1180~1200℃。

[0018] 步骤2的具体过程为:对线材在室温下进行多道次的拉拔,道次变形量为5-10%,每道次拉拔后丝材进入管式炉中在800-900℃的氢气保护气氛中进行中间时效退火,时效退火时间1-3min,得到合金线材。

[0019] 轮盘式连铸机的轮盘直径为2m,材质为纯铜,轮盘支架为45钢,转速为2rpm;轮盘式连铸机的U型槽底部半径为20mm。

[0020] 电解铜的质量纯度不低于99.9%,Sn的质量纯度不低于99.9%。

[0021] 本发明的有益效果是:

[0022] 本发明适用于石油输送管道恒温包套的合金线材,通过加入微量的Ni,Sn,Mn和Si进行微合金化,以改善铜合金的力学性能,同时调整铜合金的成分,以保证电阻率和米电阻及铜合金的塑形可加工性能。本发明适用于石油输送管道恒温包套的合金线材的制备方法,通过增加微合金化、中频感应真空+充氩熔炼、连铸连轧和大变形量,能提高CuNiSnMnSi合金的力学性能,并利用微合金化和中间时效退火工艺,确保铜合金的大塑性变形能力而获得大变形量,通过丝材直径精准控制和基体中析出物相以保证电阻率和米电阻。

具体实施方式

[0023] 下面结合具体实施方式对本发明进行详细说明。

[0024] 适用于石油输送管道恒温包套的合金线材,按照质量百分数包括以下组分:

[0025] 0.5-0.8%Ni、0.4-0.6%Sn、0.10-0.15%Mn、0.15-0.20%Si,余量为Cu和其他杂质元素,且其他杂质元素的含量均小于0.03%。

[0026] 优选的,本发明适用于石油输送管道恒温包套的合金线材,按照质量百分数包括以下组分:

[0027] 0.55-0.70%Ni,0.45-0.52%Sn,0.12-0.15%Mn,0.16-0.19%Si,余量为Cu和其他不可避免的单个杂质元素,且其他杂质元素的含量均小于0.03%。

[0028] 合金线材直径为0.22-0.28mm,电阻率为0.05-0.06 $\Omega \cdot m$,米电阻为1.0-1.1 Ω 。

[0029] 本发明适用于石油输送管道恒温包套的合金线材的制备方法,采用微合金化装置,微合金化装置包括石墨坩埚、轮盘式连铸机及轧机,轮盘式连铸机位于石墨坩埚出料口处,轮盘式连铸机通过导流槽与轧机连接,轮盘式连铸机包括轮盘,轮盘上设置有U型槽,导流槽位于轮盘下部切线方向,特征在于,包括以下步骤:

[0030] 步骤1、采用真空氩气保护中频感应熔炼炉,将放置有质量纯度不低于99.9%电解铜的坩埚放入中频感应熔炼炉中加热,对电解铜进行熔化(利用中频感应熔炼炉自身电磁感应搅拌功能进行熔化和搅拌)得到铜液,待铜液温度升至1180~1200 $^{\circ}C$ 后,按照质量百分数0.5-0.8%Ni、0.10-0.15%Mn、0.15-0.20%Si将Cu-50%Ni、Cu-30%Mn、Cu-30%Si中间合金加入铜液中继续熔化,得到微合金化铜液A;待微合金化铜液A的温度达到1180~1200 $^{\circ}C$ 后,按照质量百分数0.4-0.6%Sn向混合液中加入质量纯度不低于99.9%的纯Sn锭继续熔化(利用中频感应熔炼炉自身电磁感应搅拌功能进行熔化和搅拌),得到微合金化铜液B;待微合金化铜液B的温度达到1180~1200 $^{\circ}C$ 后,启动轮盘式连铸机,打开坩埚底部的柱塞式密封杆,使微合金化铜液B从坩埚底部流入轮盘式连铸机的U型槽,随着轮盘转动,微合金化铜液B在U型槽内结晶凝固,并随着轮盘的旋转从轮盘的下部与U型槽脱离,连铸形成U型截面的锭坯;为了保证微合金化成分的稳定,连铸过程一次进行完毕,将坩埚内的金属液全部用完,中途不再加入任何合金补充熔化,连铸过程坩埚内金属液面始终处于氩气保护之中。锭坯通过导流槽进入轧机,经过多道次连续轧制模具制成线材;

[0031] 轮盘式连铸机的轮盘直径为2m,材质为纯铜,轮盘支架为45钢,转速为2rpm;U型槽内有石墨涂料,能避免铜液热烧蚀U型槽内表面,U型槽背部始终喷水冷却;U型槽底部半径为20mm。

[0032] 步骤2、对线材在室温下进行多道次的拉拔,道次变形量为5-10%,每道次拉拔后丝材进入管式炉中在800-900 $^{\circ}C$ 的氢气保护气氛中进行中间时效退火,时效退火时间1-

3min,得到直径为 $\Phi 0.22-0.28\text{mm}$ 、抗拉强度为350-420MPa的合金线材。拉拔完成后,对合金线材进行盘圆,获得光亮表面的线材盘。

[0033] 通过以上方式,本发明适用于石油输送管道恒温包套的合金线材,通过加入微量的Ni,Sn,Mn和Si进行微合金化,以改善铜合金的力学性能,同时调整铜合金的成分,以保证电阻率和米电阻及铜合金的塑形可加工性能。本发明适用于石油输送管道恒温包套的合金线材的制备方法,通过真空氩气保护+电磁搅拌熔铸工艺,使熔体成分均匀,使微量元素均匀分布于铜基体或固溶于基体,有利于提高组织的均匀性、以改善合金的加工性能;连铸连轧工艺过程中发挥了连铸和连轧的高效特性,合金在高温传导性的纯铜转盘的U型槽内迅速冷却,轮盘U型槽背部始终喷水冷却,实际上U型槽的铜合金是在准快速凝固条件下结晶凝固,铜基体晶粒细小,均匀,微量的合金元素大量固溶在基体中,起到固溶强化效果和调节导电率的作用。连轧过程中材料发生大的变形,不仅可以进一步细化晶粒,而且可以使连铸铸坯中的微小疏松或孔洞闭合,为后续的拉拔加工处理提供致密线材。利用微合金化、固溶合金和丝材直径的精确控制而精准控制电阻率和米电阻。利用微合金化效果达到改善铜合金的综合力学性能的能力。另外,由于加入的合金元素含量很低,对铜合金的大塑性变形加工能力影响较小,可以保证后续拉拔加工成型。

[0034] 实施例1

[0035] 步骤1、采用真空氩气保护中频感应熔炼炉,将放置有电解铜的坩埚放入中频感应熔炼炉中加热,对电解铜进行熔化得到铜液,待铜液温度升至1180℃后,按照质量百分数0.5%Ni、0.10%Mn、0.15%Si将Cu-50%Ni、Cu-30%Mn、Cu-30%Si中间合金加入铜液中继续熔化,得到微合金化铜液A;待微合金化铜液A的温度达到1180℃后,按照质量百分数0.4%Sn向混合液中加入纯Sn锭继续熔化,得到微合金化铜液B;待微合金化铜液B的温度达到1180℃后,启动轮盘式连铸机,打开坩埚底部的柱塞式密封杆,使微合金化铜液B从坩埚底部流入轮盘式连铸机的U型槽,随着轮盘转动,微合金化铜液B在U型槽内结晶凝固,并随着轮盘的旋转从轮盘的下部与U型槽脱离,连铸形成35mm U型截面的锭坯;锭坯通过导流槽进入轧机,经过6道次轧制模具制成直径为8mm的线材;

[0036] 轮盘式连铸机的轮盘直径为2m,材质为纯铜,轮盘支架为45钢,转速为2rpm;U型槽内有石墨涂料,能避免铜液热烧蚀U型槽内表面,U型槽背部始终喷水冷却;U型槽底部半径为20mm。

[0037] 步骤2、对线材在室温下进行多道次的拉拔,道次变形量为5%,每道次拉拔后丝材进入管式炉中在800℃的氢气保护气氛中进行中间时效退火,时效退火时间1min,得到CuNiSnMnSi合金线材。

[0038] 本实施例得到CuNiSnMnSi合金线材直径为 $\Phi 0.22\text{mm}$,电阻率为 $0.05\ \Omega \cdot \text{m}$,米电阻控制在 $1.0\ \Omega$,抗拉强度为400MPa。

[0039] 实施例2

[0040] 步骤1、采用真空氩气保护中频感应熔炼炉,将放置有电解铜的坩埚放入中频感应熔炼炉中加热,对电解铜进行熔化得到铜液,待铜液温度升至1185℃后,按照质量百分数0.8%Ni、0.15%Mn、0.2%Si将Cu-50%Ni、Cu-30%Mn、Cu-30%Si加入铜液中继续熔化,得到微合金化铜液A;待微合金化铜液A的温度达到1185℃后,按照质量百分数0.6%Sn向混合液中加入纯Sn锭继续熔化,得到微合金化铜液B;待微合金化铜液B的温度达到1185℃后,启

动轮盘式连铸机,打开坩埚底部的柱塞式密封杆,使微合金化铜液B从坩埚底部流入轮盘式连铸机的U型槽,随着轮盘转动,微合金化铜液B在U型槽内结晶凝固,并随着轮盘的旋转从轮盘的下部与U型槽脱离,连铸形成U型截面的锭坯;锭坯通过导流槽进入轧机,经过多道次轧制模具制成直径为8mm的线材;

[0041] 步骤2、对线材在室温下进行多道次的拉拔,道次变形量为10%,每道次拉拔后丝材进入管式炉中在900℃的氢气保护气氛中进行中间时效退火,时效退火时间3min,得到CuNiSnMnSi合金线材。

[0042] 本实施例得到CuNiSnMnSi合金线材直径为 $\Phi 0.28\text{mm}$,电阻率为 $0.06\ \Omega \cdot \text{m}$,米电阻控制在 $1.1\ \Omega$,抗拉强度为380MPa。

[0043] 实施例3

[0044] 步骤1、采用真空氩气保护中频感应熔炼炉,将放置有电解铜的坩埚放入中频感应熔炼炉中加热,对电解铜进行熔化得到铜液,待铜液温度升至1190℃后,按照质量百分数0.55%Ni、0.12%Mn、0.18%Si将Cu-50%Ni、Cu-30%Mn、Cu-30%Si中间合金加入铜液中继续熔化,得到微合金化铜液A;待微合金化铜液A的温度达到1190℃后,按照质量百分数0.6%Sn向混合液中加入纯Sn锭继续熔化,得到微合金化铜液B;待微合金化铜液B的温度达到1190℃后,启动轮盘式连铸机,打开坩埚底部的柱塞式密封杆,使微合金化铜液B从坩埚底部流入轮盘式连铸机的U型槽,随着轮盘转动,微合金化铜液B在U型槽内结晶凝固,并随着轮盘的旋转从轮盘的下部与U型槽脱离,连铸形成U型截面的锭坯;锭坯通过导流槽进入轧机,经过多道次轧制模具制成直径为8mm的线材;

[0045] 步骤2、对线材在室温下进行多道次的拉拔,道次变形量为8%,每道次拉拔后丝材进入管式炉中在800℃的氢气保护气氛中进行中间时效退火,时效退火时间2min,得到CuNiSnMnSi合金线材。

[0046] 本实施例得到CuNiSnMnSi合金线材直径为 $\Phi 0.25\text{mm}$,电阻率为 $0.055\ \Omega \cdot \text{m}$,米电阻控制在 $1.05\ \Omega$,抗拉强度为360MPa。

[0047] 实施例4

[0048] 步骤1、采用真空氩气保护中频感应熔炼炉,将放置有电解铜的坩埚放入中频感应熔炼炉中加热,对电解铜进行熔化得到铜液,待铜液温度升至1192℃后,按照质量百分数0.65%Ni、0.14%Mn、0.19%Si将Cu-50%Ni、Cu-30%Mn、Cu-30%Si中间合金加入铜液中继续熔化,得到微合金化铜液A;待微合金化铜液A的温度达到1192℃后,按照质量百分数0.45%Sn向混合液中加入纯Sn锭继续熔化,得到微合金化铜液B;待微合金化铜液B的温度达到1192℃后,启动轮盘式连铸机,打开坩埚底部的柱塞式密封杆,使微合金化铜液B从坩埚底部流入轮盘式连铸机的U型槽,随着轮盘转动,微合金化铜液B在U型槽内结晶凝固,并随着轮盘的旋转从轮盘的下部与U型槽脱离,连铸形成U型截面的锭坯;锭坯通过导流槽进入轧机,经过多道次轧制模具制成直径为8mm的线材;

[0049] 步骤2、对线材在室温下进行多道次的拉拔,道次变形量为7.5%,每道次拉拔后丝材进入管式炉中在850℃的氢气保护气氛中进行中间时效退火,时效退火时间1.8min,得到CuNiSnMnSi合金线材。

[0050] 本实施例得到CuNiSnMnSi合金线材直径为 $\Phi 0.26\text{mm}$,电阻率为 $0.058\ \Omega \cdot \text{m}$,米电阻控制在 $1.06\ \Omega$,抗拉强度为380MPa。

[0051] 实施例5

[0052] 步骤1、采用真空氩气保护中频感应熔炼炉,将放置有电解铜的坩埚放入中频感应熔炼炉中加热,对电解铜进行熔化得到铜液,待铜液温度升至1200℃后,按照质量百分数0.75%Ni、0.13%Mn、0.18%Si将Cu-50%Ni、Cu-30%Mn、Cu-30%Si中间合金加入铜液中继续熔化,得到微合金化铜液A;待微合金化铜液A的温度达到1200℃后,按照质量百分数0.55%Sn向混合液中加入纯Sn锭继续熔化,得到微合金化铜液B;待微合金化铜液B的温度达到1200℃后,启动轮盘式连铸机,打开坩埚底部的柱塞式密封杆,使微合金化铜液B从坩埚底部流入轮盘式连铸机的U型槽,随着轮盘转动,微合金化铜液B在U型槽内结晶凝固,并随着轮盘的旋转从轮盘的下部与U型槽脱离,连铸形成U型截面的锭坯;锭坯通过导流槽进入轧机,经过多道次轧制模具制成直径为8mm的线材;

[0053] 步骤2、对线材在室温下进行多道次的拉拔,道次变形量为9%,每道次拉拔后丝材进入管式炉中在880℃的氢气保护气氛中进行中间时效退火,时效退火时间2.5min,得到CuNiSnMnSi合金线材。

[0054] 本实施例得到CuNiSnMnSi合金线材直径为 $\Phi 0.25\text{mm}$,电阻率为 $0.055\ \Omega \cdot \text{m}$,米电阻控制在 $1.05\ \Omega$,抗拉强度为420MPa。