



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106181131 B

(45)授权公告日 2018.05.29

(21)申请号 201610556354.3

B23K 35/30(2006.01)

(22)申请日 2016.07.15

(56)对比文件

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 106181131 A

- CN 105499844 A, 2016.04.20,
- CN 103949797 A, 2014.07.30,
- CN 103882266 A, 2014.06.25,
- US 2015/0129644 A1, 2015.05.14,
- CN 103966476 A, 2014.08.06,
- CN 105112727 A, 2015.12.02,
- JP 特开2007-332412 A, 2007.12.27,

(43)申请公布日 2016.12.07

(73)专利权人 中国科学院上海应用物理研究所
地址 201800 上海市嘉定区嘉罗公路2019号

审查员 赵锐敏

(72)发明人 黎超文 李志军 梁建平 玉昆
陈双建 蒋力

(74)专利代理机构 北京德崇智捷知识产权代理有限公司 11467

代理人 杨楠

(51)Int.Cl.

B23K 35/40(2006.01)

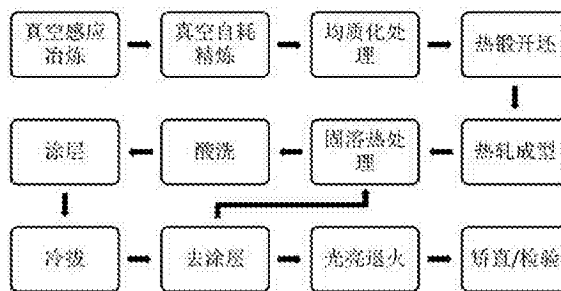
权利要求书2页 说明书7页 附图1页

(54)发明名称

用于抗熔盐腐蚀镍基高温合金焊接的实芯焊丝制备方法

(57)摘要

本发明公开了一种用于抗熔盐腐蚀镍基高温合金焊接的实芯焊丝制备方法,属于金属焊接技术领域。该方法的工艺流程为:真空冶炼—真空自耗重熔—均质化处理—热锻开坯—热轧—固溶处理—酸洗—涂层—冷拉—去涂层—光亮退火。本发明还公开了一种用于抗熔盐腐蚀镍基高温合金焊接的实芯焊丝,使用上述方法制备得到。相比现有技术,本发明方法可以极高的成材率批量生产出高质量、各种直径的用于抗熔盐腐蚀镍基高温合金焊接的实芯焊丝,且所制备出的实芯焊丝可满足熔盐堆结构材料焊接所需的要求。



1. 一种用于抗熔盐腐蚀镍基高温合金焊接的实芯焊丝制备方法,其特征在于,包括以下步骤:

1) 真空冶炼:配置焊料,并经真空感应熔炼,浇注成电极棒;

2) 真空自耗重熔:将上述电极棒表面的氧化层去除后,在真空自耗电弧炉内焊接成二次自耗电电极,进行重熔生产成铸锭;

3) 均质化处理:对铸锭进行均质化处理,均质化处理的工艺条件为:在1160℃保温40小时,然后在1200℃保温70小时;

4) 热锻开坯:将经均质化处理的铸锭表面涂覆高温涂料,放入初始温度 $\leq 500^{\circ}\text{C}$ 的加热炉内进行加热,升温至1180℃~1200℃并保温时间 T_1 后,将其锻造成合金坯,冷却至常温;其中,保温时间 T_1 按照以下公式确定:

$$T_1 = \lambda_1 \times D_1 \times 0.5$$

式中, D_1 表示铸锭的最大尺寸,单位为mm; λ_1 为取值范围2.5~5的系数,其单位为min/mm;

5) 热轧:将合金坯加热至1150℃~1200℃进行热轧,每次轧制压下量为10%,控制轧制速度为61mm/min~91mm/min,经过反复加热+热轧,形成盘元丝材,在空气中冷却到室温;

6) 固溶热处理:采用到温入炉的方式,当炉温达到1000℃,将盘元丝材放进炉内,待炉温达到1177℃开始计时保温,保温结束后水冷;其中,保温时间 T_2 按照以下公式确定:

$$T_2 = \lambda_2 \times D_2 \times 0.5$$

式中, D_2 表示盘元丝材的直径,单位为mm; λ_2 为取值范围2.5~5的系数,其单位为min/mm;

7) 酸洗:对固溶热处理后的盘元丝材,先经含100~160g/L硝酸与20~50g/L氢氟酸的混合酸洗溶液进行酸洗,控制温度 $\leq 50^{\circ}\text{C}$,酸洗时间为10~60分钟;最后清洗表面的残酸;

8) 涂层:在酸洗后的盘元丝材表面涂覆一层水溶性涂层剂,涂层后的盘元丝材自然风干;

9) 冷拔:采用压力模方法拉拔盘元丝材;

10) 去涂层:先将焊丝置于酸液中去除残留润滑膜,然后进行超声清洗,再采用沸腾的消石灰饱和溶液进行中和处理,然后自然晾干;如焊丝达到所需直径,转至11);否则,转至6),进行下一道次的处理:固溶热处理-酸洗-涂层-冷拔-去涂层;

11) 光亮退火:对焊丝进行光亮退火处理。

2. 如权利要求1所述方法,其特征在于,在热锻开坯的锻造过程中,如锻件温度出现低于1000℃的情况,则将锻件重新放入初始温度 $\leq 500^{\circ}\text{C}$ 的加热炉内进行加热,升温至1180℃~1200℃并保温时间 T_1 后,重新锻造。

3. 如权利要求1所述方法,其特征在于,在热锻开坯的锻造过程中,如锻件出现裂纹,则将锻件冷却至室温并将裂纹完全去除后,再将锻件重新放入初始温度 $\leq 500^{\circ}\text{C}$ 的加热炉内进行加热,升温至1180℃~1200℃并保温时间 T_1 后,重新锻造。

4. 如权利要求1所述方法,其特征在于,所述光亮退火处理具体为:在干燥的氢气中加热到1177℃,保温10~15min,随炉冷却。

5. 如权利要求1~4任一项所述方法,其特征在于,所述焊料的组分按重量百分比计为:C:0.03~0.06%,Mn:0.04~0.10%,Si:0.3~0.5%,Cu \leq 0.10%,Co \leq 0.20%,P \leq

0.015%, S \leq 0.015%, 稀土元素:0.01~0.05%, Fe:1.0~5.0%, Cr:6.0~8.0%, Mo:12.0~18.0%, Al \leq 0.3%, Ti \leq 0.2%, Nb:1.0~2.0%, 其中:Ti+Nb+Al \leq 2%, 余量为Ni。

6. 如权利要求5所述方法, 其特征在于, 所述焊料中C的重量百分比为0.05~0.06%, Mn的重量百分比为0.5~0.8%, Mo的重量百分比为16.0~18.0%。

7. 如权利要求5所述方法, 其特征在于, 所述焊料中Cr和Mo的重量百分比之和 \geq 23%。

8. 如权利要求5所述方法, 其特征在于, 所述焊料中S和P的重量百分比之和 \leq 0.02%。

9. 如权利要求5所述方法, 其特征在于, 所述焊料中的稀土元素为镧或铈或钇或其组合。

10. 如权利要求5所述方法, 其特征在于, 在真空冶炼过程中, 先将Fe、Ni、Cr、Mo的混合物加热至全部熔化后, 再将其余元素按照元素活泼性从高到低的次序逐个加入; 在加入其余的每一种元素时, 当前的金属液应达到结膜温度。

11. 一种用于抗熔盐腐蚀镍基高温合金焊接的实芯焊丝, 其特征在于, 使用如权利要求1~10任一项所述方法制备得到。

用于抗熔盐腐蚀镍基高温合金焊接的实芯焊丝制备方法

技术领域

[0001] 本发明涉及金属焊接技术领域,尤其涉及一种用于抗熔盐腐蚀镍基高温合金焊接的实芯焊丝制备方法。

背景技术

[0002] 国际组织所发布的第四代核能系统中,熔盐堆属于六种堆型之一,其具有固有安全性高,灵活的燃料循环特性,钍基燃料的可利用以及防止核扩散等等。中国目前正在全力研发钍基熔盐堆核能系统,包括固态燃料和液态燃料两种形式,但这两种形式的熔盐堆均采用了熔盐作为冷却剂,因此熔盐堆结构材料必须具有耐熔盐腐蚀、耐高温和辐照交互作用。国外抗熔盐腐蚀的合金主要是Hastelloy N合金,我国也研究了对应的国产高温镍基合金——GH3535。此类抗熔盐腐蚀镍基高温合金为奥氏体型镍基合金,属于固溶强化高温耐蚀Ni-Mo-Cr合金。

[0003] 在熔盐堆设备制造过程中,会大量用到焊接连接方式,焊接接头的组织和性能直接影响熔盐堆的安全性和可靠性。为了确保焊接结构具有可靠的高温强度,同时具有耐高温熔盐腐蚀性能,抗熔盐腐蚀镍基高温合金焊接所用焊料的主要组成元素必须和母材保持相同。然而此类焊料对有害元素控制要求高,且由于合金元素多,在焊丝的锻造和拉拔过程中容易出现表面裂纹,且由于加工硬化严重,焊丝冷拉拔过程中容易出现拉断现象,严重影响焊丝成型质量和成材率(尤其是较小直径的焊丝)。因此,现有的镍基合金实芯焊丝制备工艺无法实现用于抗熔盐腐蚀镍基高温合金焊接的实芯焊丝的规模生产。例如中国专利CN201610080609.3所公开的“一种镍基合金焊丝的制备方法”,其所使用的焊料组元主要是Ni,其次是Cr(28.32%,重量百分数,下同)和W(4.81%),Mo(0.09%)含量非常少。而抗熔盐腐蚀镍基高温合金焊接所使用的焊料,其Ni含量更高,Mo元素含量超过12%,Cr元素比较低(6.0%),两者在成份和特性上有明显的差异,导致该方法完全无法使用。

[0004] 综上可知,熔盐堆技术的发展迫切需要一种用于抗熔盐腐蚀镍基高温合金焊接的实芯焊丝制备工艺,可以极高的成材率批量生产出高质量的用于抗熔盐腐蚀镍基高温合金焊接的实芯焊丝。

发明内容

[0005] 本发明所要解决的技术问题在于克服现有技术的不足,提供一种用于抗熔盐腐蚀镍基高温合金焊接的实芯焊丝制备方法,可以极高的成材率批量生产出高质量、各种直径的用于抗熔盐腐蚀镍基高温合金焊接的实芯焊丝。

[0006] 本发明具体采用以下技术方案解决上述技术问题:

[0007] 一种用于抗熔盐腐蚀镍基高温合金焊接的实芯焊丝制备方法,包括以下步骤:

[0008] 1) 真空冶炼:配置焊料,并经真空感应熔炼,浇注成电极棒;

[0009] 2) 真空自耗重熔:将上述电极棒表面的氧化层去除后,在真空自耗电弧炉内焊接成二次自耗电极,进行重熔生产成铸锭;

[0010] 3) 均质化处理:对铸锭进行均质化处理,均质化处理的工艺条件为:在1160℃保温40小时,然后在1200℃保温70小时;

[0011] 4) 热锻开坯:将经均质化处理的铸锭表面涂覆高温涂料,放入初始温度 $\leq 500^{\circ}\text{C}$ 的加热炉内进行加热,升温至1180℃~1200℃并保温时间 T_1 后,将其锻造成合金坯,冷却至常温;其中,保温时间 T_1 按照以下公式确定:

$$[0012] \quad T_1 = \lambda_1 \times D_1 \times 0.5$$

[0013] 式中, D_1 表示铸锭的最大尺寸,单位为mm; λ_1 为取值范围2.5~5的系数,其单位为min/mm;

[0014] 5) 热轧:将合金坯加热至1150℃~1200℃进行热轧,每次轧制压下量为10%,控制轧制速度为61mm/min~91mm/min,经过反复加热+热轧,形成盘元丝材,在空气中冷却到室温;

[0015] 6) 固溶热处理:采用到温入炉的方式,当炉温达到1000℃,将盘元丝材放进炉内,待炉温达到1177℃开始计时保温,保温结束后水冷;其中,保温时间 T_2 按照以下公式确定:

$$[0016] \quad T_2 = \lambda_2 \times D_2 \times 0.5$$

[0017] 式中, D_2 表示盘元丝材的直径,单位为mm; λ_2 为取值范围2.5~5的系数,其单位为min/mm;

[0018] 7) 酸洗:对固溶热处理后的盘元丝材,先经含100~160g/L硝酸与20~50g/L氢氟酸的混合酸洗溶液进行酸洗,控制温度 $\leq 50^{\circ}\text{C}$,酸洗时间为10~60分钟;最后清洗表面的残酸;

[0019] 8) 涂层:在酸洗后的盘元丝材表面涂覆一层水溶性涂层剂,涂层后的盘元丝材自然风干;

[0020] 9) 冷拔:采用压力模方法拉拔盘元丝材;

[0021] 10) 去涂层:先将焊丝置于酸液中去除残留润滑膜,然后进行超声清洗,再采用沸腾的消石灰饱和溶液进行中和处理,然后自然晾干;如焊丝达到所需直径,转至11);否则,转至6),进行下一道次的处理:固溶热处理-酸洗-涂层-冷拔-去涂层;

[0022] 11) 光亮退火:对焊丝进行光亮退火处理。

[0023] 优选地,在热锻开坯的锻造过程中,如锻件温度出现低于1000℃的情况,则将锻件重新放入初始温度 $\leq 500^{\circ}\text{C}$ 的加热炉内进行加热,升温至1180℃~1200℃并保温时间 T_1 后,重新锻造。

[0024] 优选地,在热锻开坯的锻造过程中,如锻件出现裂纹,则将锻件冷却至室温并将裂纹完全去除后,再将锻件重新放入初始温度 $\leq 500^{\circ}\text{C}$ 的加热炉内进行加热,升温至1180℃~1200℃并保温时间 T_1 后,重新锻造。

[0025] 优选地,所述光亮退火处理具体为:在干燥的氢气中加热到1177℃,保温10~15min,随炉冷却。

[0026] 为了提高抗熔盐腐蚀镍基高温合金的焊接质量和性能,在上述实芯焊丝制备方法基础上,本发明进一步对其中的焊料配方进行了优化,具体如下:

[0027] 所述焊料的组分按重量百分比计为:C:0.03~0.06%,Mn:0.04~0.10%,Si:0.3~0.5%,Cu \leq 0.10%,Co \leq 0.20%,P \leq 0.015%,S \leq 0.015%,稀土元素:0.01~0.05%,Fe:1.0~5.0%,Cr:6.0~8.0%,Mo:12.0~18.0%,Al \leq 0.3%,Ti \leq 0.2%,Nb:1.0~2.0%,其

中:Ti+Nb+Al \leq 2%,余量为Ni。

[0028] 优选地,所述焊料中C的重量百分比为0.05~0.06%,Mn的重量百分比为0.5~0.8%,Mo的重量百分比为16.0~18.0%。

[0029] 优选地,所述焊料中Cr和Mo的重量百分比之和 \geq 23%。

[0030] 优选地,所述焊料中S和P的重量百分比之和 \leq 0.02%。

[0031] 优选地,所述焊料中的稀土元素为镧或铈或钇或其组合。

[0032] 使用上述焊料进行实芯焊丝制备时,为了精确控制各组分的含量,减少重要合金元素的损耗,降低有害杂质元素含量,进一步地,在真空冶炼过程中,先将Fe、Ni、Cr、Mo的混合物加热至全部熔化后,再将其余元素按照元素活泼性从高到低的次序逐个加入;在加入其余的每一种元素时,当前的金属液应达到结膜温度。

[0033] 根据相同的发明思路还可以得到以下技术方案:

[0034] 一种用于抗熔盐腐蚀镍基高温合金焊接的实芯焊丝,使用以上任一技术方案所述方法制备得到。

[0035] 相比现有技术,本发明技术方案具有以下有益效果:

[0036] 1、本发明采用真空冶炼+真空感应自耗冶炼方法,以及按照合金活泼性顺序添加工艺,精确控制了各组分的含量,减少重要合金元素的损耗,降低有害杂质元素含量;通过均质化处理,优化了铸锭中碳化物的数量、形态和分布,使合金锭的质量和性能得到改进。

[0037] 2、本发明在锻件表面涂覆合适的耐高温涂料,并严格控制锻造/轧制温度区间,采用合适的锻压/轧制比,适时回火处理,减少锻件高温氧化和锻造/轧制裂纹,大幅提高了焊丝成材率。

[0038] 3、本发明通过严格控制焊丝拉拔量,并适时通过固溶热处理恢复焊丝塑性,有效解决了抗熔盐腐蚀高温镍基合金焊料在拉拔过程表面易产生裂纹和发生脆断问题。

[0039] 4、本发明通过制造工艺以及焊料成分的优化,可以用抗熔盐腐蚀高温镍基合金焊料制备4mm以下各种规格的实芯焊丝;制备出的焊丝表面成型好,批量生产的成材率可达90%以上。

附图说明

[0040] 图1为本发明实芯焊丝制备方法的工艺流程示意图。

具体实施方式

[0041] 下面结合附图对本发明的技术方案进行详细说明:

[0042] 针对现有镍基合金实芯焊丝制备工艺难以生产用于抗熔盐腐蚀镍基高温合金焊接的实芯焊丝的问题,本发明提出了一种用于抗熔盐腐蚀镍基高温合金焊接的实芯焊丝制备方法,可以极高的成材率批量生产出高质量、各种直径的用于抗熔盐腐蚀镍基高温合金焊接的实芯焊丝。该方法包括以下步骤:

[0043] 1) 真空冶炼:配置焊料,并经真空感应熔炼,浇注成电极棒;

[0044] 所述焊料可以采用现有或将有的适用于抗熔盐腐蚀镍基高温合金焊接的配方。为了提高焊接质量,本发明进一步提出了一种优选的焊料配方,其组分按重量百分比计为:C:0.03~0.06%,Mn:0.04~0.10%,Si:0.3~0.5%,Cu \leq 0.10%,Co \leq 0.20%,P \leq 0.015%,S

≤0.015%，稀土元素：0.01~0.05%，Fe：1.0~5.0%，Cr：6.0~8.0%，Mo：12.0~18.0%，Al≤0.3%，Ti≤0.2%，Nb：1.0~2.0%，其中：Ti+Nb+Al≤2%，余量为Ni。该焊料中C的重量百分比优选为0.05~0.06%，Mn的重量百分比优选为0.5~0.8%，Mo的重量百分比优选为16.0~18.0%，Cr和Mo的重量百分比之和最好大于或等于23%，S和P的重量百分比之和最好小于或等于0.02%，稀土元素优选镧或铈或钇或其组合。

[0045] 2) 真空自耗重熔：将上述电极棒表面的氧化层去除后，在真空自耗电弧炉内焊接成二次自耗电极，进行重熔生产成铸锭；

[0046] 3) 均质化处理：对铸锭进行均质化处理，均质化处理的工艺条件为：在1160℃保温40小时，然后在1200℃保温70小时；

[0047] 4) 热锻开坯：将经均质化处理的铸锭表面涂覆高温涂料，放入初始温度≤500℃的加热炉内进行加热，升温至1180℃~1200℃并保温时间 T_1 后，将其锻造成合金坯，冷却至常温；其中，保温时间 T_1 按照以下公式确定：

$$[0048] \quad T_1 = \lambda_1 \times D_1 \times 0.5$$

[0049] 式中， D_1 表示铸锭的最大尺寸，单位为mm； λ_1 为取值范围2.5~5的系数，其单位为min/mm；

[0050] 锻造过程需在加热前涂覆高温涂料防止锻造裂纹产生，终锻温度应不低于1000℃，否则需要重新入炉进行加热再锻造；如果锻造过程出现裂纹，则需要让锻件冷却至室温，将裂纹完全去除后重新加热到锻造温度进行锻造；

[0051] 5) 热轧：将合金坯加热至1150℃~1200℃进行热轧，每次轧制压下量为10%，控制轧制速度为61mm/min~91mm/min，经过反复加热+热轧，形成盘元丝材，在空气中冷却到室温；

[0052] 6) 固溶热处理：采用到温入炉的方式，当炉温达到1000℃，将盘元丝材放进炉内，待炉温达到1177℃开始计时保温，保温结束后水冷；其中，保温时间 T_2 按照以下公式确定：

$$[0053] \quad T_2 = \lambda_2 \times D_2 \times 0.5$$

[0054] 式中， D_2 表示盘元丝材的直径，单位为mm； λ_2 为取值范围2.5~5的系数，其单位为min/mm；

[0055] 7) 酸洗：对固溶热处理后的盘元丝材，先经含100~160g/L硝酸与20~50g/L氢氟酸的混合酸洗溶液进行酸洗，控制温度≤50℃，酸洗时间为10~60分钟；最后清洗表面的残酸；由于用于抗熔盐腐蚀镍基高温合金焊接的焊料的氧化皮成分复杂，用单一酸很难将其彻底去除，因此需要采用混合酸溶液进行去油和酸洗；

[0056] 8) 涂层：在酸洗后的盘元丝材表面涂覆一层水溶性涂层剂，作为拉拔时的润滑载体；涂层后的盘元丝材自然风干；

[0057] 9) 冷拔：采用压力模方法拉拔盘元丝材；拉拔所用压力模内可同时装有两个模具，压力模具孔径稍大于钢丝直径，第二个模具则为正常拉丝模；

[0058] 10) 去涂层：先将焊丝置于酸液中去除残留润滑膜，然后进行超声清洗，再采用沸腾的消石灰饱和溶液进行中和处理，然后自然晾干；如焊丝达到所需直径，转至11)；否则，转至6)，进行下一道次的处理：固溶热处理-酸洗-涂层-冷拔-去涂层；可根据所需焊丝直径按照以下的道次顺序进行拉拔：8mm→7mm→6mm→5.5mm→4.5mm→4.0mm→3.5mm→3.0mm→2.6mm→2.4mm→2.0mm→1.6mm→1.2mm；这样，经过多个道次处理，即可得到所需直径的实

芯焊丝；

[0059] 11) 光亮退火：对焊丝进行光亮退火处理；优选的光亮退火处理工艺为：在干燥的氢气中加热到1177℃，保温10~15min，随炉冷却。

[0060] 为了便于公众理解，下面以四个具体的实施例来对本发明技术方案及其技术效果进行详细说明。

[0061] 实施例1：

[0062] 本实施例中焊料的组分(质量百分比)为：C:0.06%、Mn:0.65%、Fe:4.06%、Si:0.44%、P:0.0028%、S:0.002%、Cu:0.002%、Co:0.14%、Cr:6.89%、Mo:17.2%、Re(稀土元素):0.05%、Al:0.03%、Ti:0.01%、Nb:1.5、其余是Ni。

[0063] 本实施例中实芯焊丝的制备流程如图1所示，其具体步骤如下：

[0064] 1) 真空冶炼：根据焊料组分进行配料，全部采用纯金属，将Fe、Ni、Cr、Mo直接放置到坩埚中；而其余的活泼和易挥发的Mn、Si、C、Re等元素放入加料器中，装料完毕后，开始抽真空，真空度达到10~2托以下时，开始送电加热炉料，由于感应电流的集肤效应，炉料逐层熔化，这样非常有利于去气和去除非金属夹杂物，通常保持高真空度、缓慢的熔化速度。炉料全部熔化，适当提高炉温，通过碳氧反应进行脱氧、去气和易挥发夹杂物部分去除。当金属液中夹杂物含量降低到较低水平时，停电通Ar气再抽真空，按照活泼性从高到低的次序逐个加入其余的活泼元素和微量添加元素，使金属液达到成分要求，加入时金属液的温度要调整到结膜温度。加入后用大功率搅拌2min，加速合金的熔化和分布均匀，由于Mn的挥发性较强，一般在出炉前5min加入，合金化以后，温度和成份合格即可浇注，出炉温度为1480℃~1490℃。浇注成直径为80mm的电极棒。浇注和冷却过程均为真空环境。

[0065] 2) 真空自耗重熔：采用真空自耗电弧炉设备，将上述电极棒表面的氧化层去除后，在真空自耗电弧炉内焊接成二次自耗电极，在无渣及真空条件下，金属电极在直流电弧的高温作用下迅速熔化并在水冷铜结晶器内进行再凝固。熔炼电极与金属熔池之间要保持精确的电弧长度，并且建立可控制的熔化率。这样可以消除不溶气体和挥发性残余杂质，这个过程使合金得到精炼，净化合金，减少微偏析，提高铸锭性能。

[0066] 3) 均质化处理：精炼后的合金铸锭，内部析出的初生碳化物较多，会影响后续加工和成品的性能。为了改善碳化物形貌和尺寸，提高热加工和冷拉拔性能，需要对铸锭进行扩散退火。本实施例所采用的均质化处理工艺为在1160℃保温40小时，然后在1200℃保温70小时。经过该处理后，晶粒尺寸变大，碳化物数量减少，碳化物由层片状转变为球状，且晶粒尺寸和碳化物分布都变得更均匀。

[0067] 4) 热锻开坯：将经均质化处理的铸锭表面涂覆高温涂料，阻止铸锭表面因高温氧化；放入初始温度≤500℃的加热炉内进行加热，升温至1180℃~1200℃，保温200min后进行锻造，锻造成50mm×50mm的合金坯；在锻造过程中需要始终保持锻件温度不低于1000℃，否则需要重新入炉进行加热再锻造；如果锻造过程出现裂纹，则需要让锻件冷却至室温，采用机加的方法去除裂纹，经液体渗透检测确保裂纹完全消除后再重新刷高温涂料并加热到锻造温度进行锻造。最后在空气中冷却至室温，得到合金锭。

[0068] 5) 热轧：将合金坯加热至1150℃~1200℃进行热轧，每次轧制压下量为10%，控制轧制速度为60mm/min~90mm/min，当温度低于950℃时，应停止轧制，必须立即回炉进行再次加热。如果出现轧制裂纹后也应立刻停止，将裂纹去除后方可继续轧制。经过多次轧制，

轧制成直径为8mm的盘元丝材,在空气中冷却到室温。

[0069] 6) 固溶热处理:采用到温入炉的方式,当炉温达到1000℃,将盘元丝材放进炉内,待炉温达到1177℃开始计时,保温时间40min,保温结束后水冷。

[0070] 7) 酸洗:由于合金焊丝氧化皮成分复杂,用单一酸很难将其彻底去除,需要采用混合酸溶液对焊丝进行去油和酸洗。先经含100~160g/L硝酸,20~50g/L氢氟酸的混合酸洗溶液,控制温度 $\leq 50^{\circ}\text{C}$,酸洗时间为10~60分钟后,立即采用超声波清洗表面的残酸及残渣,然后进行涂层处理。

[0071] 8) 涂层:涂层的目的是在钢丝表面形成一层粗糙、多孔、能吸附和携带润滑剂的载体,拉丝时借助这层润滑载体将拉丝粉带入模具中。本实施例中采用了一种水溶性涂层剂,主要包括硼砂和元明粉($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$),添加适量防潮剂、氯系极压剂。配制的涂层液浓度为180~200g/L,温度为90~95℃,PH值为9.0,浸涂时间为10分钟,涂层后自然风干。

[0072] 9) 冷拔:采用压力模技术拉拔焊丝,压力模内同时装有两个模具,压力模具孔径稍大于钢丝直径,第二个模具则为正常拉丝模。

[0073] 10) 去涂层:先将焊丝置于酸液中去除残留润滑膜,然后超声进行清洗,再采用沸腾的消石灰的饱和溶液进行中和处理,然后自然晾干。

[0074] 拉丝过程必须按照逐级顺序拉拔。例如按照丝材直径:8mm→7mm→6mm→5.5mm→4.5mm→4.0mm→3.5mm→3.0mm→2.6mm→2.4mm→2.0mm→1.6mm→1.2mm,依次进行每个道次的拉丝,并且每个道次拉拔完成后,需再次进行6) 固溶热处理消除加工硬化,恢复焊丝的塑性,7) 酸洗,去除焊丝表面的油污和氧化膜,8) 酸洗后的焊丝进行涂层保护,增加拔丝过程的润滑性,9) 冷拔,10) 去涂层;反复经过多个道次的拉拔,直到达到所需的焊丝直径。

[0075] 11) 光亮退火:经以上工序获得最终所需直径焊丝,还需进行光亮退火,将焊丝放置在干燥的氢气中加热到1177℃,保温10~15min,随炉冷却,光亮退火后进行矫直,最后进行成品检验。

[0076] 实施例2:

[0077] 本实施例中焊料的组分(质量百分比)为:C:0.053%、Mn:0.69%、Fe:4.25%、Si:0.35%、P:0.002%、S:0.003%、Cu:0.0022%、Co:0.12%、Cr:6.50%、Mo:16.7%、Re:0.045%、Al:0.003%、Ti:0.02%、Nb:1.5、其余是Ni。

[0078] 本实施例的实芯焊丝制备方法与实施例1相同。

[0079] 实施例3:

[0080] 本实施例中焊料的组分(质量百分比)为:C:0.046%、Mn:0.45%、Fe:4.2%、Si:0.46%、P:0.001%、S:0.006%、Cu:0.0047%、Co:0.10%、Cr:6.96%、Mo:16.5%、Re:0.041%、Al:0.002%、Ti:0.03%、Nb:1.7、其余是Ni。

[0081] 本实施例的实芯焊丝制备方法与实施例1相同。

[0082] 实施例4:

[0083] 本实施例中焊料的组分(质量百分比)为:C:0.036%、Mn:0.71%、Fe:4.3%、Si:0.41%、P:0.002%、S:0.008%、Cu:0.002%、Co:0.05%、Cr:7.05%、Mo:16.8%、Re:0.035%、Al:0.05%、Ti:0.01%、Nb:2.0、其余是Ni。

[0084] 本实施例的实芯焊丝制备方法与实施例1相同。

[0085] 经实际检测,实施例1~实施例4中所制备的实芯焊丝表面光洁,没有划痕、裂纹、

麻点和凹坑,完全满足ASME第Ⅱ卷-C篇SFA 5.14对焊丝表面质量的要求。

[0086] 利用实施例1~实施例4中所制备的实芯焊丝对GH3535合金20mm的板材进行对接焊,焊缝成型美观,没有裂纹产生,电弧也很平稳,满足熔盐堆材料的焊接要求。

[0087] 利用实施例1~实施例4的方法分别制备直径为2.4mm的实芯焊丝,其成材率均达到90%以上。

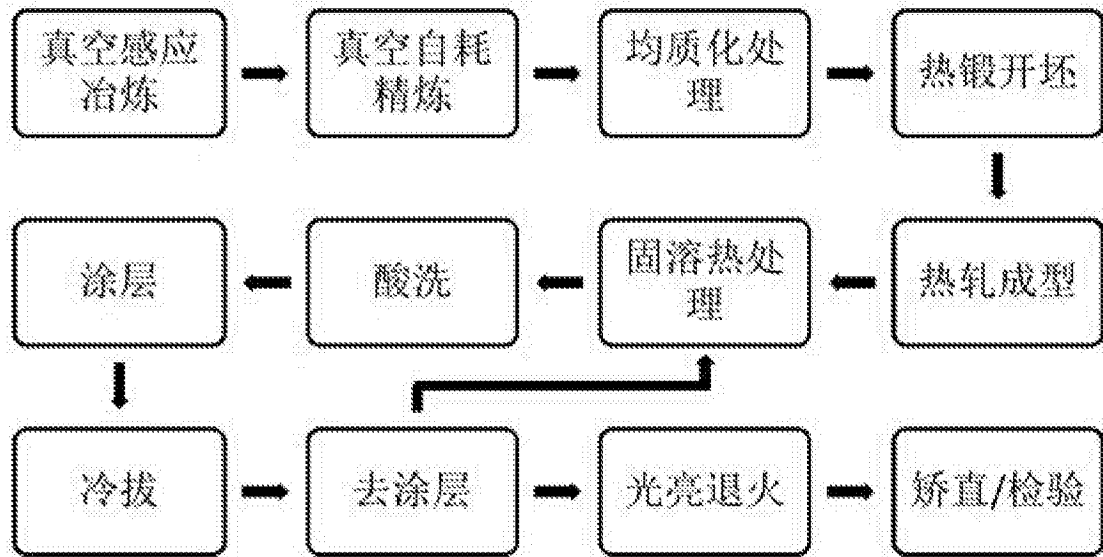


图1