



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 116445828 B

(45) 授权公告日 2024.05.14

(21) 申请号 202310244092.7  
 (22) 申请日 2023.03.14  
 (65) 同一申请的已公布的文献号  
 申请公布号 CN 116445828 A  
 (43) 申请公布日 2023.07.18  
 (73) 专利权人 中航上大高温合金材料股份有限公司  
 地址 054801 河北省邢台市清河县挥公大道16号  
 (72) 发明人 李青 王守明 栾吉哲 叶强  
 史咏鑫 钟庆元  
 (74) 专利代理机构 石家庄国为知识产权事务所  
 13120  
 专利代理师 张月  
 (51) Int.Cl.  
 C22C 38/44 (2006.01)

C22C 38/02 (2006.01)  
 C22C 38/04 (2006.01)  
 C22C 38/06 (2006.01)  
 C22C 38/42 (2006.01)  
 C22C 33/04 (2006.01)  
 C21D 8/00 (2006.01)  
 C22B 9/18 (2006.01)  
 C22B 9/20 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 110029203 A, 2019.07.19  
 CN 1233667 A, 1999.11.03  
 CN 114635077 A, 2022.06.17  
 CN 114686781 A, 2022.07.01  
 CN 111876653 A, 2020.11.03  
 JP H07126828 A, 1995.05.16  
 JP H0711378 A, 1995.01.13

审查员 胡彬彬

权利要求书2页 说明书7页 附图2页

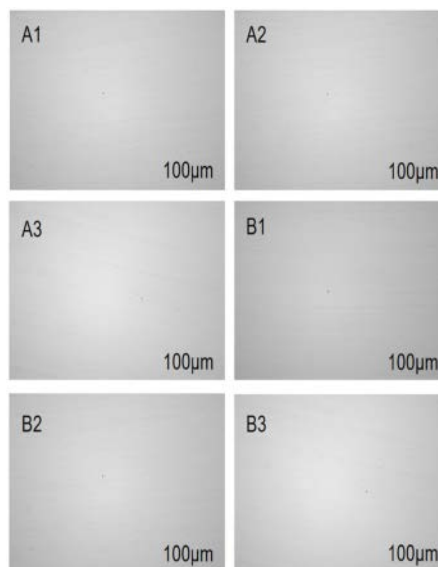
(54) 发明名称

一种超纯奥氏体不锈钢及其制备方法

(57) 摘要

本发明涉及冶金技术领域,具体公开一种超纯奥氏体不锈钢及其制备方法。所述超纯奥氏体不锈钢按重量百分比计包括如下成分:  $C \leq 0.007\%$ ,  $Mn \leq 0.05\%$ ,  $Si \leq 0.30\%$ ,  $S \leq 0.002\%$ ,  $P \leq 0.01\%$ ,  $Ni: 14.5\% \sim 15.0\%$ ,  $Cr: 16.5\% \sim 17.0\%$ ,  $Mo: 2.20\% \sim 2.50\%$ ,  $Al \leq 0.01\%$ ,  $H \leq 0.0002\%$ ,  $O \leq 0.0015\%$ ,  $N \leq 0.015\%$ ,  $Cu \leq 0.10\%$ , 余量为Fe和不可避免的杂质。本发明通过设计合金成分,各成分配比合理,Mo、Ni和Cr元素协同,可以显著提高奥氏体不锈钢的耐腐蚀能力,且适当的Cr/Ni/Mo比例,有利于从根本上减少铁素体的形成及控制其含量;同时,通过严格控制有害元素及残余元素,实现了超纯奥氏体不锈钢铁素体含量 $<1\%$ 的水平,夹杂物含量少,纯度高,同时仍具有良好的延展性、塑性和冲击韧性。

CN 116445828 B



1. 一种超纯奥氏体不锈钢,其特征在于,所述超纯奥氏体不锈钢按重量百分比计包括如下成分: $C \leq 0.007\%$ ,  $Mn \leq 0.05\%$ ,  $Si \leq 0.30\%$ ,  $S \leq 0.002\%$ ,  $P \leq 0.01\%$ ,  $Ni: 14.5\% \sim 15.0\%$ ,  $Cr: 16.5\% \sim 17.0\%$ ,  $Mo: 2.20\% \sim 2.50\%$ ,  $Al \leq 0.01\%$ ,  $H \leq 0.0002\%$ ,  $O \leq 0.0015\%$ ,  $N \leq 0.015\%$ ,  $Cu \leq 0.10\%$ , 余量为Fe和不可避免的杂质;

所述超纯奥氏体不锈钢包括如下步骤:

步骤一、按预设比例将各原料混合,经真空感应炉冶炼、浇铸、电渣重熔和真空自耗重熔,控制各元素的含量达到所述超纯奥氏体不锈钢的要求,得钢锭;

步骤二、将所述钢锭经加热、锻造和热处理,得所述超纯奥氏体不锈钢;

步骤一中,所述真空感应炉冶炼过程具体为:将各原料混合后在真空感应炉中依次进行熔化处理、精炼处理和微调成分处理,然后出钢得合金钢液;

其中,所述熔化处理中,全熔的温度为 $1530^{\circ}\text{C} \sim 1550^{\circ}\text{C}$ ;

所述精炼处理中,真空度 $\leq 3\text{Pa}$ ,精炼温度为 $1540^{\circ}\text{C} \sim 1570^{\circ}\text{C}$ ,精炼时间为 $30\text{min} \sim 70\text{min}$ ;

步骤一中,所述电渣重熔过程中,熔速为 $5.0\text{kg}/\text{min} \sim 6.0\text{kg}/\text{min}$ ,熔炼用渣采用DRZ-1910渣系;

步骤一中,所述真空自耗重熔过程中,真空度 $\leq 0.5\text{Pa}$ ,起弧阶段电流为 $4.0\text{kA} \sim 10.5\text{kA}$ ,熔炼稳定阶段熔速为 $2.5\text{kg}/\text{min} \sim 6.5\text{kg}/\text{min}$ ,补缩阶段电流为 $2.5\text{kA} \sim 6.0\text{kA}$ ;

步骤二中,所述加热过程具体为:将所述钢锭加热至 $600^{\circ}\text{C} \sim 650^{\circ}\text{C}$ ,保温 $1\text{h} \sim 2\text{h}$ ,然后以 $80^{\circ}\text{C}/\text{h} \sim 100^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的升温速率升温至 $800^{\circ}\text{C} \sim 810^{\circ}\text{C}$ ,保温 $1.5\text{h} \sim 2\text{h}$ ,再以 $80^{\circ}\text{C}/\text{h} \sim 100^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的升温速率升温至 $1160^{\circ}\text{C} \sim 1180^{\circ}\text{C}$ ,保温 $3\text{h} \sim 4\text{h}$ 后锻造生产;

步骤二中,所述热处理具体为:将锻造后的钢坯热送至加热炉进行高温固溶热处理,热处理温度为 $1000^{\circ}\text{C} \sim 1020^{\circ}\text{C}$ ,保温时间为 $20\text{min} \sim 30\text{min}$ 。

2. 一种权利要求1所述的超纯奥氏体不锈钢的制备方法,其特征在于,包括如下步骤:

步骤一、按预设比例将各原料混合,经真空感应炉冶炼、浇铸、电渣重熔和真空自耗重熔,控制各元素的含量达到所述超纯奥氏体不锈钢的要求,得钢锭;

步骤二、将所述钢锭经加热、锻造和热处理,得所述超纯奥氏体不锈钢;

步骤一中,所述真空感应炉冶炼过程具体为:将各原料混合后在真空感应炉中依次进行熔化处理、精炼处理和微调成分处理,然后出钢得合金钢液;

其中,所述熔化处理中,全熔的温度为 $1530^{\circ}\text{C} \sim 1550^{\circ}\text{C}$ ;

所述精炼处理中,真空度 $\leq 3\text{Pa}$ ,精炼温度为 $1540^{\circ}\text{C} \sim 1570^{\circ}\text{C}$ ,精炼时间为 $30\text{min} \sim 70\text{min}$ ;

步骤一中,所述电渣重熔过程中,熔速为 $5.0\text{kg}/\text{min} \sim 6.0\text{kg}/\text{min}$ ,熔炼用渣采用DRZ-1910渣系;

步骤一中,所述真空自耗重熔过程中,真空度 $\leq 0.5\text{Pa}$ ,起弧阶段电流为 $4.0\text{kA} \sim 10.5\text{kA}$ ,熔炼稳定阶段熔速为 $2.5\text{kg}/\text{min} \sim 6.5\text{kg}/\text{min}$ ,补缩阶段电流为 $2.5\text{kA} \sim 6.0\text{kA}$ ;

步骤二中,所述加热过程具体为:将所述钢锭加热至 $600^{\circ}\text{C} \sim 650^{\circ}\text{C}$ ,保温 $1\text{h} \sim 2\text{h}$ ,然后以 $80^{\circ}\text{C}/\text{h} \sim 100^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的升温速率升温至 $800^{\circ}\text{C} \sim 810^{\circ}\text{C}$ ,保温 $1.5\text{h} \sim 2\text{h}$ ,再以 $80^{\circ}\text{C}/\text{h} \sim 100^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的升温速率升温至 $1160^{\circ}\text{C} \sim 1180^{\circ}\text{C}$ ,保温 $3\text{h} \sim 4\text{h}$ 后锻造生产;

步骤二中,所述热处理具体为:将锻造后的钢坯热送至加热炉进行高温固溶热处理,热

处理温度为 $1000^{\circ}\text{C} \sim 1020^{\circ}\text{C}$ ,保温时间为 $20\text{min} \sim 30\text{min}$ 。

3.如权利要求2所述的超纯奥氏体不锈钢的制备方法,其特征在于,步骤一中,所述浇铸的温度为 $1540^{\circ}\text{C} \sim 1560^{\circ}\text{C}$ 。

4.如权利要求2所述的超纯奥氏体不锈钢的制备方法,其特征在于,所述DRZ-1910渣系按重量百分比计包括如下成分: $\text{CaF}_2$ : $50\% \sim 70\%$ , $\text{CaO}$ : $5\% \sim 15\%$ , $\text{Al}_2\text{O}_3$ : $15\% \sim 20\%$ , $\text{MgO}$ : $5\% \sim 15\%$ 。

5.如权利要求2所述的超纯奥氏体不锈钢的制备方法,其特征在于,步骤二中,所述锻造过程中,开锻温度 $\geq 1000^{\circ}\text{C}$ ,终锻温度 $\geq 850^{\circ}\text{C}$ ,坯料回炉的加热温度为 $1140^{\circ}\text{C} \sim 1160^{\circ}\text{C}$ ,回炉的时间为 $60\text{min} \sim 90\text{min}$ 。

## 一种超纯奥氏体不锈钢及其制备方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及冶金技术领域,尤其涉及一种超纯奥氏体不锈钢及其制备方法。

### 背景技术

[0002] 奥氏体不锈钢因其具有良好的高温强度、塑韧性、耐腐蚀性和焊接性等综合性能,在各行各业中获得了广泛的应用。随着核工业、海洋工程等行业的快速发展,钢铁材料的服役环境日益复杂,一些精密零部件或特种装备可能要求材料同时具备良好的耐蚀性、抗氧化性以及力学性能,特别是核级奥氏体不锈钢要求非金属夹杂物极低,这需要设计和研发专门的奥氏体不锈钢,以满足更为严格的要求。

[0003] 316系奥氏体不锈钢是一种CrNiMo系不锈钢,可应用于半导体设备、核电项目的管道和堆内屏蔽棒,为提高其抗高温水间应力腐蚀性能,需在钢中添加一定含量的Mo元素,相比其它奥氏体不锈钢而言会更容易形成高温 $\delta$ -铁素体,导致钢的热加工性、热成型性降低,且使钢由韧变脆,影响其高温持久性能进而降低使用寿命;同时,现有冶炼工艺制备的316系奥氏体不锈钢内部夹杂物 $\leq 1.0$ 级,纯净度较低,而半导体及核电用钢要求的纯净度较高,否则在高温使用过程中会在两相的界面处形成裂纹源,造成核泄漏,严重危害人类的生命及财产安全,控制钢中的铁素体含量及夹杂物含量变得尤为重要。因此,研发一种组织致密、塑性好且纯净度高的超纯奥氏体不锈钢具有十分重要的意义。

### 发明内容

[0004] 鉴于此,本发明提供一种超纯奥氏体不锈钢及其制备方法,通过设计合金成分,各成分配比合理,实现了铁素体含量 $< 1\%$ 的水平,夹杂物含量少,纯度高,同时仍具有良好的延展性、塑性和冲击韧性。

[0005] 为达到上述发明目的,本发明实施例采用了如下的技术方案:

[0006] 第一方面,本发明提供一种超纯奥氏体不锈钢,按重量百分比计包括如下成分:C $\leq 0.007\%$ ,Mn $\leq 0.05\%$ ,Si $\leq 0.30\%$ ,S $\leq 0.002\%$ ,P $\leq 0.01\%$ ,Ni:14.5%~15.0%,Cr:16.5%~17.0%,Mo:2.20%~2.50%,Al $\leq 0.01\%$ ,H $\leq 0.0002\%$ ,O $\leq 0.0015\%$ ,N $\leq 0.015\%$ ,Cu $\leq 0.10\%$ ,余量为Fe和不可避免的杂质。

[0007] 相对于现有技术,本发明提供的超纯奥氏体不锈钢,具有以下优势:

[0008] 本发明通过设计合金成分,各成分配比合理,将Cr元素含量控制在16.5%~17.0%,将Mo元素含量控制在2.20%~2.50%,将Ni元素含量控制在14.5%~15.0%,Mo、Ni和Cr元素协同,可以显著提高奥氏体不锈钢的耐腐蚀能力,且适当的Cr/Ni/Mo比例,有利于从根本上减少铁素体的形成及控制其含量;同时,通过严格控制有害元素及残余元素,实现了超纯奥氏体不锈钢铁素体含量 $< 1\%$ 的水平,夹杂物含量少,纯度高,同时仍具有良好的延展性、塑性和冲击韧性。

[0009] 本发明提供的超纯奥氏体不锈钢成分基于以下思路进行设计:

[0010] C:碳是奥氏体元素,能够抑制铁素体生成并提高材料强度,同时易与铬元素结合

形成碳化物,降低钢中固溶铬元素含量,并在碳化物周围形成原电池,进而降低奥氏体不锈钢的耐蚀性。因此,本发明将钢中C元素含量的上限值定为0.007%。

[0011] Mn: 锰是奥氏体元素,可以稳定奥氏体相,扩大奥氏体相区;但是,焊接时在熔化金属表面会产生蒸气压低的有害气体,有害气体凝固后附着在管材内壁,并在焊接热影响区富集Mn,形成氧化物,产生局部腐蚀。因此,本发明将钢中Mn元素含量的上限值定为0.05%。

[0012] Ni: 镍是奥氏体不锈钢中主要的合金元素,可以形成并稳定奥氏体相,提高合金的机加工性能、不锈性和耐腐蚀性能,同时,Ni与Cr组合在严苛性腐蚀环境中对奥氏体不锈钢来说具有协同作用;但是,镍含量的增加会导致奥氏体不锈钢的晶间腐蚀敏感性增加。因此,本发明将钢中Ni元素含量控制为14.5%~15.0%。

[0013] Si元素和Al元素是奥氏体不锈钢的脱氧元素,硅和铝能够协同改善夹杂物形态和减少钢液中气体元素含量,细化晶粒,保证钢的脱氧效果。因此,本发明将钢中Al元素含量的上限值定为0.01%,Si元素含量的上限值定为0.30%。

[0014] S: 硫是钢中有害元素杂质之一,易与钢中的锰元素结合形成硬度较低的A类夹杂物(硫化物),提高钢的开裂风险。因此,本发明将钢中S元素含量的上限值定为0.002%。

[0015] P: 磷是钢中有害元素杂质之一,会增加钢的冷脆性,使焊接性能变坏,降低塑性,并且磷对辐照脆化也特别敏感。因此,本发明将钢中P元素含量的上限值定为0.01%。

[0016] Cr: 铬能够提高不锈钢的耐腐蚀性和强度,然而铬元素是强烈的铁素体形成元素,高铬奥氏体不锈钢中需添加大量镍、锰、氮等奥氏体形成元素。因此,本发明将钢中Cr元素含量控制为16.5%~17.0%。

[0017] Mo: 钼可以提高钢在氯化物环境中的抗点蚀和缝隙腐蚀性能,还可提高钢在盐酸和稀硫酸等还原性环境中的耐蚀性,且在铬元素的作用下,钢中钼的有益作用会显著增加;但是,钼元素参与有害二次相的形成,促进奥氏体不锈钢形成高温 $\delta$ -铁素体,导致钢的热加工性、热成型性降低,而且会形成不稳定的高温氧化物,对耐高温氧化性能产生不利影响。因此,本发明将钢中Mo元素含量控制为2.2%~2.5%。

[0018] 第二方面,本发明还提供上述超纯奥氏体不锈钢的制备方法,包括如下步骤:

[0019] 步骤一、按预设比例将各原料混合,经真空感应炉冶炼、浇铸、电渣重熔和真空自耗重熔,控制各元素的含量达到所述超纯奥氏体不锈钢的要求,得钢锭;

[0020] 步骤二、将所述钢锭经加热、锻造和热处理,得所述超纯奥氏体不锈钢。

[0021] 相对于现有技术,本发明提供的超纯奥氏体不锈钢的制备方法,具有以下优势:

[0022] 本发明通过采用真空感应+电渣重熔+真空自耗三联冶炼工艺,可以有效控制钢中晶粒的形态和分布,大幅度提高合金内部的纯净度,实现合金内部超纯净化的控制。制备得到的超纯奥氏体不锈钢具有组织致密、塑性好、纯净度高及性能优异等优点,非金属夹杂物B、D类细系夹杂0.5级以下,其余类型夹杂物无,晶粒度级别6.5级以上,抗拉强度 $R_m \geq 490\text{MPa}$ ,屈服强度 $R_{p0.2} \geq 220\text{MPa}$ ,断面收缩率 $\Psi \geq 80\%$ ,能够满足高端半导体及核电关键设备的使用需求,具有广阔的市场应用前景。

[0023] 可选的,步骤一中,所述真空感应炉冶炼过程具体为:将各原料混合后在真空感应炉中依次进行熔化处理、精炼处理和微调成分处理,然后出钢得合金钢液;其中,所述熔化处理中,全熔的温度为 $1530^\circ\text{C} \sim 1550^\circ\text{C}$ ;所述精炼处理中,真空度 $\leq 3\text{Pa}$ ,精炼温度为 $1540^\circ\text{C} \sim 1570^\circ\text{C}$ ,精炼时间为 $30\text{min} \sim 70\text{min}$ 。优选的真空感应炉冶炼工艺有利于将钢液中杂质元

素控制在较低水平,减少钢液中夹杂物数量,提高钢液的纯净度,从而有利于不锈钢力学性能的提高。

[0024] 可选的,步骤一中,所述浇铸的温度为1540℃~1560℃。

[0025] 可选的,步骤一中,所述电渣重熔过程中,熔速为5.0kg/min~6.0kg/min,熔炼用渣采用DRZ-1910渣系。

[0026] 可选的,所述DRZ-1910渣系按重量百分比计包括如下成分:CaF<sub>2</sub>:50%~70%,CaO:5%~15%,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:15%~20%,MgO:5%~15%。优选的渣系对夹杂物有很好的吸附作用,能够减少钢水增氧和夹杂物含量,提高电极锭钢水纯净度。

[0027] 可选的,步骤一中,所述真空自耗重熔过程中,真空度≤0.5Pa,起弧阶段电流为4.0kA~10.5kA,熔炼稳定阶段熔速为2.5kg/min~6.5kg/min,补缩阶段电流为2.5kA~6.0kA。

[0028] 可选的,步骤二中,所述加热过程具体为:将所述钢锭加热至600℃~650℃,保温1h~2h,然后以80℃/h~100℃/h的升温速率升温至800℃~810℃,保温1.5h~2h,再以80℃/h~100℃/h的升温速率升温至1160℃~1180℃,保温3h~4h后锻造生产。本发明通过采用三段加热,有利于使钢锭处于最佳的热塑性区,保证温度与组织均匀性,有效控制晶粒度的同时避免锻造开裂问题的出现。

[0029] 可选的,步骤二中,所述锻造过程中,开锻温度≥1000℃,终锻温度≥850℃,坯料回炉的加热温度为1140℃~1160℃,回炉的时间为60min~90min。

[0030] 可选的,步骤二中,所述热处理具体为:将锻造后的钢坯热送至加热炉进行高温固溶热处理,热处理温度为1000℃~1020℃,保温时间为20min~30min。优选的热处理温度和时间,使铁素体充分溶解的同时,可以有效避免边缘位置出现拉长晶现象,保证成品钢材晶粒尺寸在合理范围。

## 附图说明

[0031] 为了更清楚地说明本发明实施例中的技术方案,下面将对实施例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。

[0032] 图1是本发明实施例1提供的超纯奥氏体不锈钢头尾夹杂物分布图;

[0033] 图2是本发明实施例1提供的超纯奥氏体不锈钢头尾铁素体分布图。

## 具体实施方式

[0034] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合实施例,对本发明进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

[0035] 为了更好的说明本发明,下面通过实施例做进一步的举例说明。

[0036] 实施例1

[0037] 本发明实施例提供一种超纯奥氏体不锈钢,按重量百分比计,其化学成分为:

[0038] C:0.007%,Mn:0.04%,Si:0.12%,S:0.0008%,P:0.005%,Ni:14.8%,Cr:

16.76%, Mo:2.35%, Al:0.004%, H:0.0001%, O:0.001%, N:0.0034%, Cu:0.02%, 余量为Fe和不可避免的杂质。

[0039] 上述超纯奥氏体不锈钢的制备步骤如下:

[0040] S1、真空感应炉冶炼:按上述比例主要化学成分配置原料,将各原料混合,在真空感应炉中依次进行熔化处理、精炼处理和微调成分处理,控制全熔的温度为1540℃,控制精炼期真空度为3Pa,精炼温度为1555℃,精炼时间为50min,出钢得合金钢液。

[0041] S2、浇铸:将上述合金钢液进行浇铸,冷却后得到Φ480mm钢锭,浇铸的全程采用氩气保护,控制浇铸温度为1550℃。

[0042] S3、电渣重熔:将上述钢锭表面清理、精整后进行电渣重熔,全程采用氩气保护冶炼,控制熔速为5.5kg/min,熔炼用渣采用DRZ-1910渣系,按重量百分比计,其化学成分为:CaF<sub>2</sub>:60%, CaO:10%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:20%, MgO:10%。

[0043] S4、真空自耗重熔:将上述经电渣重熔后的钢锭进行真空自耗重熔,控制真空自耗炉真空度为0.5Pa,起弧阶段电流为8.0kA,熔炼稳定阶段熔速为4.5kg/min,补缩阶段电流为4.0kA。

[0044] S5、锻造:将上述经真空自耗重熔后的钢锭打磨后加热至620℃,保温1.5h,然后以90℃/h的升温速率升温至805℃,保温1.7h,再以90℃/h的升温速率升温至1170℃,保温3.5h后锻造生产。锻造过程中,控制开锻温度为1000℃,终锻温度为850℃,坯料回炉的加热温度为1150℃,回炉的时间为80min。末火次锻后,将锻造后的钢坯热送至加热炉进行高温固溶热处理,得超纯奥氏体不锈钢,其中,控制热处理温度为1010℃,保温时间为25min。

[0045] 实施例2

[0046] 本发明实施例提供一种超纯奥氏体不锈钢,按重量百分比计,其化学成分为:

[0047] C:0.006%, Mn:0.03%, Si:0.14%, S:0.001%, P:0.006%, Ni:14.75%, Cr:16.78%, Mo:2.32%, Al:0.008%, H:0.00009%, O:0.001%, N:0.004%, Cu:0.02%, 余量为Fe和不可避免的杂质。

[0048] 上述超纯奥氏体不锈钢的制备步骤如下:

[0049] S1、真空感应炉冶炼:按上述比例主要化学成分配置原料,将各原料混合,在真空感应炉中依次进行熔化处理、精炼处理和微调成分处理,控制全熔的温度为1530℃,控制精炼期真空度为3Pa,精炼温度为1540℃,精炼时间为30min,出钢得合金钢液。

[0050] S2、浇铸:将上述合金钢液进行浇铸,冷却后得到Φ480mm钢锭,浇铸的全程采用氩气保护,控制浇铸温度为1540℃。

[0051] S3、电渣重熔:将上述钢锭表面清理、精整后进行电渣重熔,全程采用氩气保护冶炼,控制熔速为5.0kg/min,熔炼用渣采用DRZ-1910渣系,按重量百分比计,其化学成分为:CaF<sub>2</sub>:50%, CaO:15%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:20%, MgO:15%。

[0052] S4、真空自耗重熔:将上述经电渣重熔后的钢锭进行真空自耗重熔,控制真空自耗炉真空度为0.5Pa,起弧阶段电流为4.0kA,熔炼稳定阶段熔速为2.5kg/min,补缩阶段电流为2.5kA。

[0053] S5、锻造:将上述经真空自耗重熔后的钢锭打磨后加热至600℃,保温1h,然后以80℃/h的升温速率升温至800℃,保温1.5h,再以80℃/h的升温速率升温至1160℃,保温3h后锻造生产。锻造过程中,控制开锻温度为1020℃,终锻温度为860℃,坯料回炉的加热温度为

1140℃,回炉的时间为60min。末火次锻后,将锻造后的钢坯热送至加热炉进行高温固溶热处理,得超纯奥氏体不锈钢,其中,控制热处理温度为1000℃,保温时间为20min。

[0054] 实施例3

[0055] 本发明实施例提供一种超纯奥氏体不锈钢,按重量百分比计,其化学成分为:

[0056] C:0.006%,Mn:0.03%,Si:0.13%,S:0.0009%,P:0.005%,Ni:14.78%,Cr:16.71%,Mo:2.30%,Al:0.006%,H:0.0001%,O:0.0009%,N:0.0038%,Cu:0.025%,余量为Fe和不可避免的杂质。

[0057] 上述超纯奥氏体不锈钢的制备步骤如下:

[0058] S1、真空感应炉冶炼:按上述比例主要化学成分配置原料,将各原料混合,在真空感应炉中依次进行熔化处理、精炼处理和微调成分处理,控制全熔的温度为1550℃,控制精炼期真空度为3Pa,精炼温度为1570℃,精炼时间为70min,出钢得合金钢液。

[0059] S2、浇铸:将上述合金钢液进行浇铸,冷却后得到Φ480mm钢锭,浇铸的全程采用氩气保护,控制浇铸温度为1560℃。

[0060] S3、电渣重熔:将上述钢锭表面清理、精整后进行电渣重熔,全程采用氩气保护冶炼,控制熔速为6.0kg/min,熔炼用渣采用DRZ-1910渣系,按重量百分比计,其化学成分为:CaF<sub>2</sub>:70%,CaO:5%,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:15%,MgO:10%。

[0061] S4、真空自耗重熔:将上述经电渣重熔后的钢锭进行真空自耗重熔,控制真空自耗炉真空度为0.5Pa,起弧阶段电流为10.5kA,熔炼稳定阶段熔速为6.5kg/min,补缩阶段电流为6.0kA。

[0062] S5、锻造:将上述经真空自耗重熔后的钢锭打磨后加热至650℃,保温2h,然后以100℃/h的升温速率升温至810℃,保温2h,再以100℃/h的升温速率升温至1180℃,保温4h后锻造生产。锻造过程中,控制开锻温度为1050℃,终锻温度为880℃,坯料回炉的加热温度为1160℃,回炉的时间为90min。末火次锻后,将锻造后的钢坯热送至加热炉进行高温固溶热处理,得超纯奥氏体不锈钢,其中,控制热处理温度为1020℃,保温时间为30min。

[0063] 实施例4

[0064] 本发明实施例提供一种超纯奥氏体不锈钢,按重量百分比计,其化学成分为:

[0065] C:0.005%,Mn:0.05%,Si:0.13%,S:0.001%,P:0.004%,Ni:14.74%,Cr:16.73%,Mo:2.33%,Al:0.005%,H:0.00008%,O:0.001%,N:0.0041%,Cu:0.01%,余量为Fe和不可避免的杂质。

[0066] 上述超纯奥氏体不锈钢的制备步骤与实施例1相同。

[0067] 实施例5

[0068] 本发明实施例提供一种超纯奥氏体不锈钢,按重量百分比计,其化学成分为:

[0069] C:0.006%,Mn:0.04%,Si:0.13%,S:0.001%,P:0.005%,Ni:14.76%,Cr:16.75%,Mo:2.30%,Al:0.004%,H:0.0001%,O:0.0008%,N:0.0038%,Cu:0.015%,余量为Fe和不可避免的杂质。

[0070] 上述超纯奥氏体不锈钢的制备步骤与实施例1相同。

[0071] 将实施例1~5制备的超纯奥氏体不锈钢任意切取试样,检测其非金属夹杂物含量、铁素体含量及晶粒度,检验全截面高倍结果如表1所示;同时进行性能测试,结果如表2所示。

[0072] 图1是实施例1中制备的超纯奥氏体不锈钢的夹杂物在100 $\mu\text{m}$ 标尺下的全截面金相示意图,从图中看出只有极少量的B、D类;图2是实施例1中制备的超级奥氏体不锈钢的铁素体在50 $\mu\text{m}$ 标尺下的全截面金相示意图,各试样均无铁素体。表1非金属夹杂物检测结果

	试样	A 细	A 粗	B 细	B 粗	C 细	C 粗	D 细	D 粗	Ds	铁素体	晶粒度	
[0073]	实施例 1	A1	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	6.5	
		A2	0	0	0.5	0	0	0.5	0	0	0	6.5	
		A3	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	7.0	
		B1	0	0	0.5	0	0	0.5	0	0	0	6.5	
[0074]		B2	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	6.5	
		B3	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	6.5	
	实施例 2	A1	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0.3	6.5
		A2	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	6.5
		A3	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	7.0
		B1	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0.4	7.0
		B2	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	6.5
		B3	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	6.5
	实施例 3	A1	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	7.5
		A2	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	7.0
		A3	0	0	0.5	0	0	0	0.5	0	0	0	7.0
		B1	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	7.0
		B2	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	7.0
		B3	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0.2	6.5
	实施例 4	A1	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	6.5
		A2	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	6.5
		A3	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	7.0
		B1	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	6.5
		B2	0	0	0.5	0	0	0	0.5	0	0	0	6.5
		B3	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	6.5
实施例 5	A1	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0.4	7.0	
	A2	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	6.5	
	A3	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	6.5	
	B1	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	6.5	
	B2	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	7.0	
	B3	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	6.5	

[0075] 表2性能检测结果

		抗拉强度 $R_m$	屈服强度 $R_{p0.2}$	伸长率 A	断面收缩率 $\Psi$	HBW	
		MPa	MPa	%	%		
	标准要求	$\geq 480$	$\geq 175$	$\geq 40$	$\geq 60$	$\leq 187$	
[0076]	实施例 1	纵向	492	221	57.5	82	141
	实施例 2	纵向	495	225	57.0	81	141
	实施例 3	纵向	497	219	56.0	80	145
	实施例 4	纵向	493	220	56.5	84	143
	实施例 5	纵向	492	224	57.0	83	140

[0077] 从表1-2中可以看出,本发明提供的超纯奥氏体不锈钢非金属夹杂物、铁素体含量极低,奥氏体组织稳定,同时在此成分设计下抗拉强度、屈服强度、伸长率和断面收缩率等性能指标均满足ASTM A182/A182M-2020、GB/T1220-2007标准要求。

[0078] 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换或改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

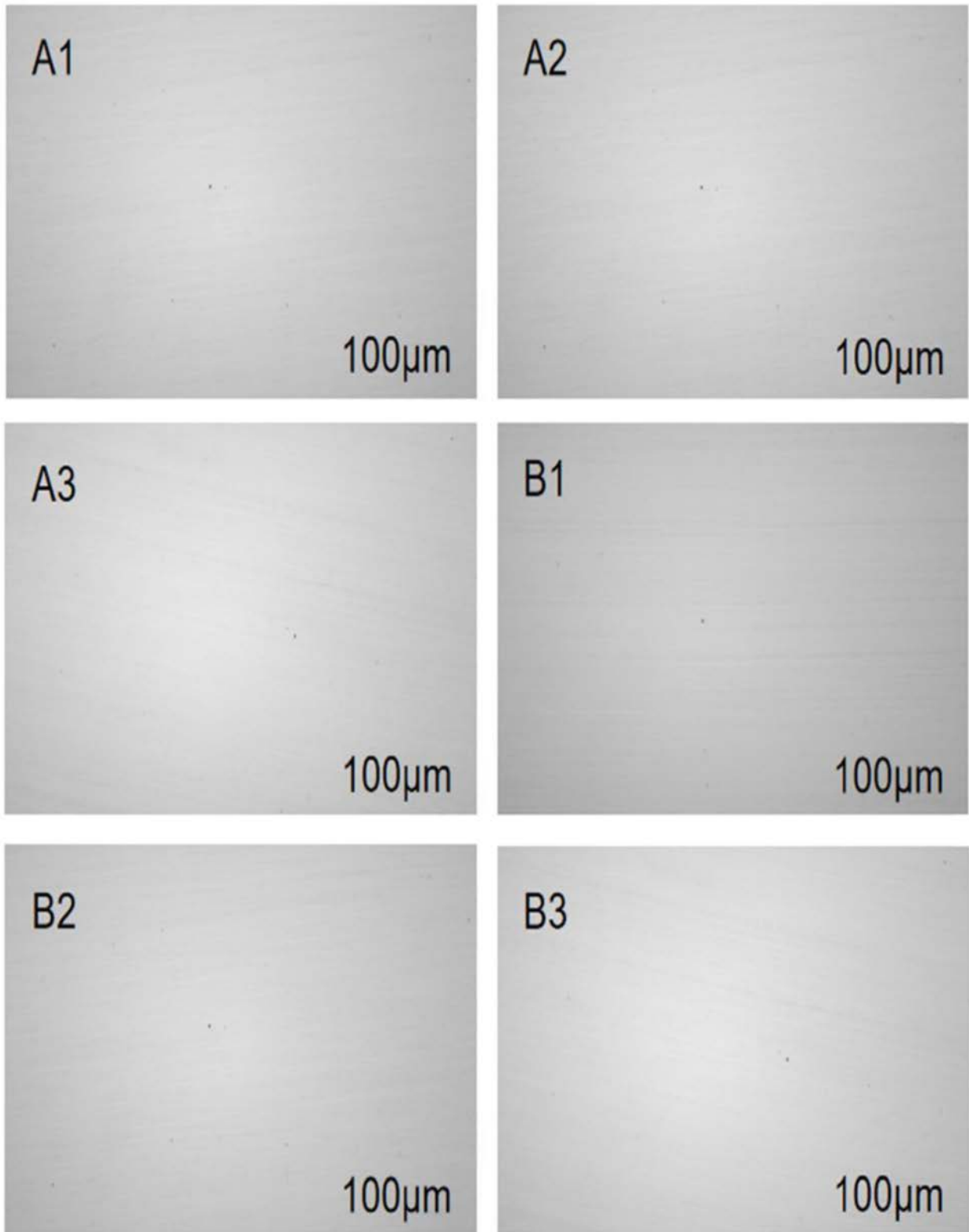


图1

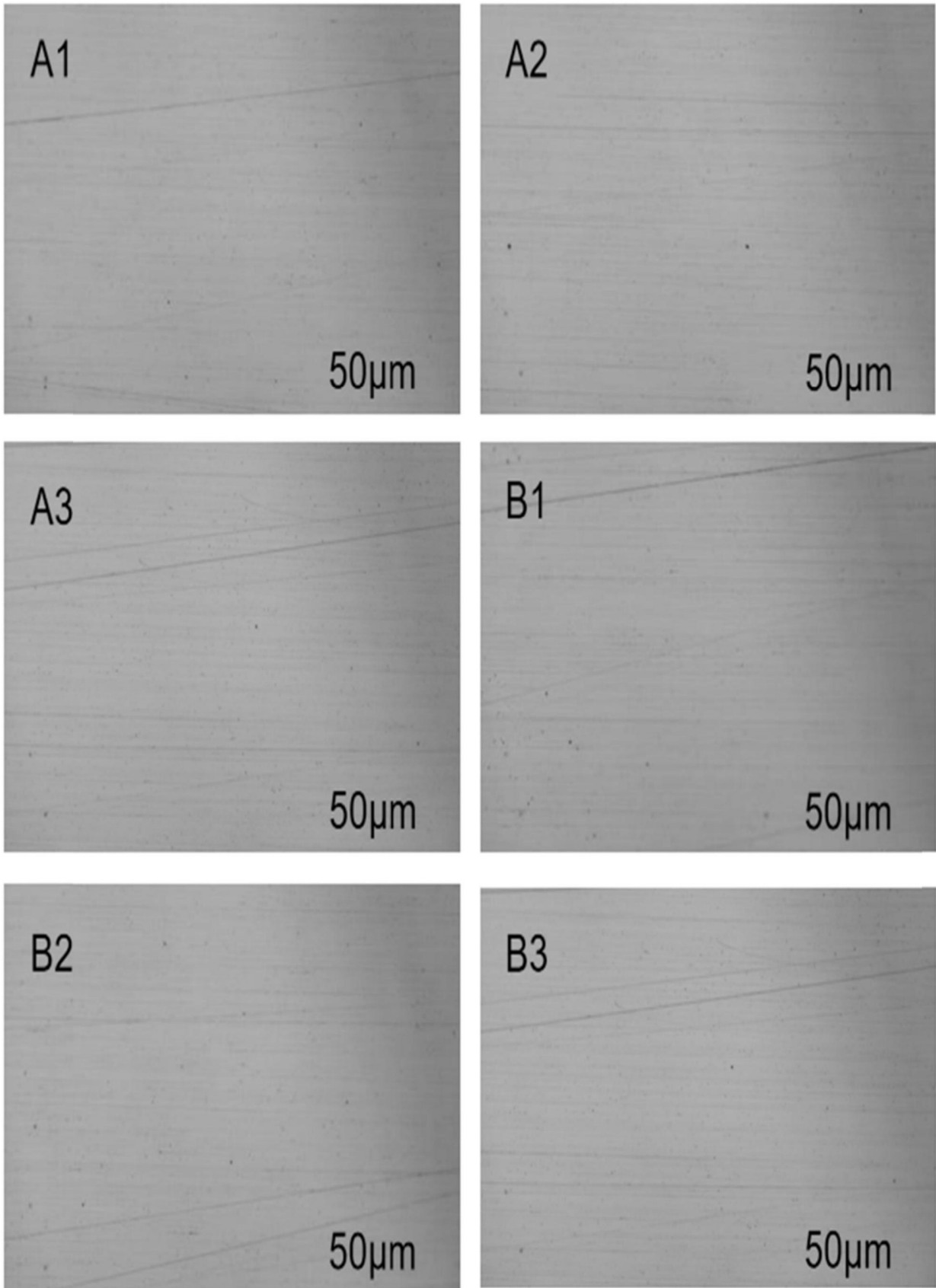


图2