



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107513641 A

(43)申请公布日 2017. 12. 26

(21)申请号 201710686098.4

(22)申请日 2017.08.11

(71)申请人 东北大学

地址 110819 辽宁省沈阳市和平区文化路
三巷11号

(72)发明人 耿鑫 姜周华 牛增辉 李花兵
师帅 李星

(74)专利代理机构 北京易捷胜知识产权代理事
务所(普通合伙) 11613

代理人 齐胜杰

(51)Int.Cl.

G22C 19/05(2006.01)

G22C 30/00(2006.01)

G22C 1/02(2006.01)

权利要求书1页 说明书8页

(54)发明名称

一种制备先进超超临界耐热合金的工艺

(57)摘要

本发明涉及一种制备先进超超临界耐热合金的工艺,其根据先进超超临界耐热合金的目标成分配置冶炼原料,其中,在目标碳含量基础上多加0.01~0.04%重量百分比的碳,在目标铝含量的基础上多加0.3~0.5%重量百分比的铝,利用真空感应炉在保护气氛下熔炼将所述合金原料冶炼成合金锭,将所述合金锭作为自耗电极母材,经过保护气氛电渣重熔获得先进超超临界耐热合金。本发明提供的工艺实现了较为精准的合金元素的控制,降低耐热合金中的氧含量,经过后续的保护气氛下的电渣重熔有效减小P和S等有害元素,改善偏析使合金均匀、提高了致密性,获得非金属夹杂物少、硫含量低、组织结构致密、表面质量高的先进超超临界耐热合金。

1. 一种制备先进超超临界耐热合金的工艺, 其特征在于, 根据先进超超临界耐热合金的目标成分配置冶炼原料, 其中, 在目标碳含量基础上多加0.01~0.04%重量百分比的碳, 在目标铝含量的基础上多加0.3~0.5%重量百分比的铝, 利用真空感应炉在保护气氛下熔炼将所述合金原料冶炼成合金锭, 将所述合金锭作为自耗电极母材, 经过保护气氛电渣重熔获得先进超超临界耐热合金。

2. 如权利要求1所述的工艺, 其特征在于, 所述真空感应炉熔炼包括如下步骤:

S101、配料及装料: 配置冶炼原料, 所述冶炼原料包括: 金属镍、钴、钼、铬、铌、锰或电解锰、碳、铝、硅、海绵钛; 将所述金属镍、钴、钼、铬、铌按顺序放入真空感应炉中, 将所述碳、铝、硅、海绵钛和锰或电解锰加入料仓中;

S102、炉料熔化: 抽真空, 加热使所述真空感应炉的炉料完全熔化;

S103、精炼期: 待炉内原料熔清后, 向所述真空感应炉的炉内通入氩气, 加入碳脱氧, 待反应平稳后, 抽真空保持5~15min后, 加入部分铝脱氧, 降温, 保持真空条件下5~10min;

S104、合金化: 加热使温度达1480~1550℃, 加入合剩余铝, 熔清后加Si、Ti, 充氩气, 加入锰或电解锰进行合金化;

S105、浇铸: 降温至1430~1460℃, 浇铸制备合金锭。

3. 如权利要求2所述的工艺, 其特征在于, 所述步骤S102中, 抽真空至真空度小于3pa; 开始加热采用低功率至炉料发红, 之后用最大功率加热, 熔化后继续加热使温度达1500~1530℃。

4. 如权利要求2所述的工艺, 其特征在于, 所述步骤S103中, 所述氩气的大小为8~15Kpa, 所述抽真空的真空度小于3pa, 所述降温至1350~1400℃。

5. 如权利要求2所述的工艺, 其特征在于, 所述步骤S104中, 所述氩气的大小为20Kpa, 合金化后1500℃以上保温5~10min。

6. 如权利要求1所述的工艺, 其特征在于, 所述保护气氛电渣重熔包括如下步骤:

S201、自耗电极的制备: 将所述合金锭焊接到假电极上, 并与电极夹持器连接;

S202、预熔渣的准备及烘烤: 选用预熔渣, 并将预熔渣放入电阻炉内, 在600℃~800℃下烘烤5小时~8小时;

S203、加热化渣: 将所述S202烘烤后的预熔渣加入到氩气保护电渣炉结晶器中, 进行加热化渣;

S204、重熔: 所述步骤S203中渣料熔化后, 在氩气保护电渣炉内重熔所述自耗电极;

S205、出模: 电渣重熔结束后, 镍基合金缓慢冷却出模, 模冷时间至少1小时。

7. 如权利要求6所述的工艺, 所述保护气氛电渣重熔采用铜制水冷结晶器。

8. 如权利要求6所述的工艺, 其特征在于, 在步骤S203中, 所述氩气的流量为5~8NL/min, 所述化渣的电压为33~38V, 所述化渣的电流为3500~5000A。

9. 如权利要求6所述的工艺, 其特征在于, 在步骤S204中, 所述氩气的流量为5~8NL/min, 重熔电压为40~45V, 重熔电流为5500~6000A。

10. 如权利要求1-9中任一项所述的工艺, 其特征在于, 所述先进超超临界耐热合金的目标成分按重量百分比计为: Cr: 23.5%~25.5%, Co: 20%~22%, Mo: <0.6%, Nb: 1.4%~2%, Ti: 1%~2%, Al: 0.9%~1.5%, Si: <0.5%, Mn: <0.3%, Fe: <0.7%, C: <0.05%, Ni: 余量。

一种制备先进超超临界耐热合金的工艺

技术领域

[0001] 本发明涉及耐热合金冶炼技术领域,具体涉及一种制备先进超超临界耐热合金的工艺。

背景技术

[0002] 先进超超临界发电技术的发展可以提高发电厂火机组的热效率,

[0003] 降低CO₂的排放量。面对先进超超临界下对材料要求的持久、高温耐蚀和耐疲劳等性能,传统的铁素体耐热钢和奥氏体耐热钢已经不能满足这些条件。镍基耐热合金因其更长的蠕变疲劳周期和更好的耐蚀能力,是新一代先进超超临界电站的重要候选材料。

[0004] 耐热合金冶炼的纯净度是材料良好性能的保障。国外研究人员制备先进超超临界耐热合金采用的是真空感应炉和真空自耗双联工艺,该工艺的特点是严格控制了冶炼环境中的氧含量,避免了合金中易氧化元素(如Al和Ti)的烧损;但是其制备的耐热合金产品易存在渣沟褶皱等表面质量问题,同时,合金中有害元素(如P、S)不能得到有效消除。

发明内容

[0005] (一)要解决的技术问题

[0006] 为了解决现有技术的上述问题,本发明提供一种制备先进超超临界耐热合金的工艺,其采用真空感应炉和保护气氛电渣重熔双联工艺,通过控制冶炼气氛、有效降低耐热合金中的氧含量,经过后续的保护气氛下的电渣重熔有效减小P和S等有害元素,改善偏析;制备的耐热合金具有成分均匀、金属纯净、组织致密、夹杂物细小且弥散分布等优点。

[0007] (二)技术方案

[0008] 为了达到上述目的,本发明采用的主要技术方案包括:

[0009] 一种制备先进超超临界耐热合金的工艺,根据先进超超临界耐热合金的目标成分配置冶炼原料,其中,在目标碳含量基础上多加0.01~0.04%重量百分比的碳用于脱氧,在目标铝含量的基础上多加0.3~0.5%重量百分比的铝用于深度脱氧,利用真空感应炉在保护气氛下熔炼将所述合金原料冶炼成合金锭,将所述合金锭作为自耗电极母材,经过保护气氛电渣重熔获得先进超超临界耐热合金。

[0010] 作为如上所述工艺的一种优选方案,所述真空感应炉熔炼包括如下步骤:

[0011] S101、配料及装料:配置冶炼原料,所述冶炼原料包括:金属镍、钴、钼、铬、铌、锰或电解锰、碳、铝、硅、海绵钛;将所述金属镍、钴、钼、铬、铌按顺序放入真空感应炉中,将所述碳、铝、硅、海绵钛和锰或电解锰加入料仓中;

[0012] S102、炉料熔化:抽真空,加热使所述真空感应炉的炉料完全熔化;

[0013] S103、精炼期:待炉内原料熔清后,向所述真空感应炉的炉内通入氩气,加入碳脱氧,待反应平稳后,抽真空保持5~15min后,加入部分铝脱氧,降温,保持真空条件下5~10min;

[0014] S104、合金化:加热使温度达1480~1550℃,加入合剩余铝,熔清后加Si、Ti,充氩

气,加入锰或电解锰进行合金化;

[0015] S105、浇铸:降温至1430~1460℃,浇铸制备合金锭。

[0016] 作为如上所述工艺的一种优选方案,所述步骤S102中,抽真空至真空度小于3pa;开始加热采用低功率至炉料发红,之后用最大功率加热,熔化后继续加热使温度达1500~1530℃。

[0017] 作为如上所述工艺的一种优选方案,所述步骤S103中,所述氩气的大小为8~15Kpa,所述抽真空的真空度小于3pa,所述降温至1350~1400℃。

[0018] 作为如上所述工艺的一种优选方案,所述步骤S104中,所述氩气的大小为20Kpa,合金化后1500℃以上保温5~10min。

[0019] 作为如上所述工艺的一种优选方案,所述保护气氛电渣重熔包括如下步骤:

[0020] S201、自耗电电极的制备:将所述合金锭焊接到假电极上,并与电极夹持器连接;

[0021] S202、预熔渣的准备及烘烤:选用预熔渣,并将预熔渣放入电阻炉内,在600℃~800℃下烘烤5小时~8小时;

[0022] S203、加热化渣:将所述S202烘烤后的预熔渣加入到氩气保护电渣炉结晶器中,进行加热化渣;

[0023] S204、重熔:所述步骤S203中渣料熔化后,在氩气保护电渣炉内重熔所述自耗电电极;

[0024] S205、出模:电渣重熔结束后,镍基合金缓慢冷却出模,模冷时间至少1小时。

[0025] 作为如上所述工艺的一种优选方案,所述保护气氛电渣重熔采用铜制水冷结晶器。

[0026] 作为如上所述工艺的一种优选方案,在步骤S203中,所述氩气的流量为5~8NL/min,所述化渣的电压为33~38V,所述化渣的电流为 3500~5000A。

[0027] 作为如上所述工艺的一种优选方案,在步骤S204中,所述氩气的流量为5~8NL/min,重熔电压为40~45V,重熔电流为5500~6000A。

[0028] 作为如上所述工艺的一种优选方案,所述先进超超临界耐热合金的目标成分按重量百分比计为:Cr:23.5%~25.5%,Co:20%~22%,Mo:<0.6%,Nb:1.4%~2%,Ti:1%~2%,Al:0.9%~1.5%,Si:<0.5%,Mn:<0.3%,Fe:<0.7%,C:<0.05%,Ni:余量。

[0029] (三)有益效果

[0030] 本发明的有益效果是:本发明提供了一种制备先进超超临界耐热合金的新工艺,主要是采用真空感应炉和保护气氛电渣重熔双联工艺,通过控制冶炼气氛,降低氧含量,减少合金元素的烧损,同时有效降低耐热合金中的氧含量;电渣重熔的渣系有效降低合金中的有害元素(如P和S)。在一些实施例中利用铜制水冷结晶器使熔融金属快速强制水冷,减小成分偏析和促进夹杂物重新分配;而且电渣重熔过程中,合金表面因强制水冷结成的薄而均匀的渣皮,使得电渣锭十分光洁。本发明工艺制备的耐热合金具有成分均匀、金属纯净、组织致密、夹杂物细小且弥散分布等优点。

具体实施方式

[0031] 为了更好的解释本发明,以便于理解,通过具体实施方式,对本发明作详细描述。

[0032] 实施例1

[0033] 鉴于先进超超临界条件对耐热合金对材料纯净度的要求,本发明人经大量实验证实,利用真空感应炉熔炼实现较为精准的合金元素的控制,并利用氩气的保护气氛,隔绝氧气防止冶炼中易氧化元素烧损,通过添加有过量的碳和铝,有效降低耐热合金中的氧含量,经过后续的保护气氛下的电渣重熔有效减小P和S等有害元素,改善偏析使合金均匀、提高了致密性,从而建立了一种先进超超临界耐热合金的新工艺。

[0034] 其主要是采用真空感应炉和保护气氛电渣重熔双联冶炼先进超超临界用耐热合金,首先,根据先进超超临界耐热合金目标成分,按易烧损元素中上限配置合金料,利用真空感应炉冶炼合金锭作为自耗电极母材,锻造成合适电渣炉电渣重熔尺寸的自耗电极;然后,在保护气氛电渣重熔时,采用水冷铜制结晶器,在氩气保护下,利用电渣的渣阻热熔化精炼自耗电极形成合金液,合金液与渣液反应,有效降低夹杂和合金中P、S元素的含量。而且,采用水冷铜制结晶器改善了凝固环境,减小合金成分偏析,促进夹杂物再分配,提高耐热合金的致密均匀性、纯净度。

[0035] 该工艺适用于冶炼按重量百分比计:铬(Cr):23.5%~25.5%,钴(Co):20%~22%,钼(Mo):<0.6%,铌(Nb):1.4%~2%,钛(Ti):1%~2%,铝(Al):0.9%~1.5%,硅(Si):<0.5%,锰(Mn):<0.3%,铁(Fe):<0.7%,碳(C):<0.05%,剩余(Bal)为镍(Ni)的先进超超临界耐热合金,具体分为真空感应炉熔炼和保护气氛下电渣重熔两个阶段。

[0036] 其中,1)、真空感应炉冶炼的具体步骤如下:

[0037] (1) 配料及装料:依据目标合金的元素成分结合合金原料的成分及目标合金锭的质量,计算并配置冶炼原料。原料包括:金属镍、金属钴、金属钼、金属铬、金属铌、金属锰或电解锰、碳、铝、硅、海绵钛等。本发明针对该先进超超临界耐热合金,采用碳和铝复合脱氧的方法,在目标碳含量基础上多加0.01~0.04%的碳用于脱氧,在目标铝含量的基础上多加0.3~0.5%的铝用于深度脱氧;针对本发明中所用的真空感应炉的冶炼特性,选定电解锰收得率93%,海绵钛收得率95%计算所用的电解锰和海绵钛原料的用量。将备好的金属镍、钴、钼、铬、铌放入感应炉的坩埚中,碳、铝、硅、钛,如原料中有硼铁时,加入硼铁和金属锰或电解锰等加入料仓中。

[0038] (2) 炉料熔化:将真空感应炉的炉内进行抽真空,维持炉内高真空度环境,通水通电控制功率,开始时以较低功率加热炉料至发红,然后保证在一定真空度下,用最大功率尽快加热熔化炉料,高功率继续以保证炉料充分熔化,继续加热使温度达1500~1530℃,其中较低功率采用20~25kW,高功率指30kW~35kW。

[0039] (3) 精炼期:待炉内原料熔清后,向炉内通入纯度>99.999%的高纯氩气至8~15Kpa。精炼前期,加碳脱氧,待反应平稳后,开启真空泵,提高真空度3pa以下;降功率抽真空保持5~15min后,进入精炼后期,加入部分铝粒作为脱氧剂的铝粒脱氧,降温至1350~1400℃,保持真空度3pa以下,促进夹杂物 Al_2O_3 上浮,5~10min后进行合金化。

[0040] (4) 合金化:调节功率控温1480~1550℃。加入合剩余铝粒作为金化铝,熔清后加Si、Ti,充氩气至20kPa,如果原料中有硼铁,加入硼铁和锰或电解锰。合金化结束后,在1500℃以上保温5~10min,以保证合金元素在合金液中均匀分布。

[0041] (5) 浇铸:调整功率控温在1430~1460℃,即可浇铸。为了防止喷溅和“冲模”,开始浇铸时速度要慢,待铸锭内形成熔池后,则可快速注入,至冒口处,再改细流填注。待冷却成型后泄压,开炉盖取铸模,脱出合金锭。

[0042] 2)、保护气氛下电渣重熔步骤如下:

[0043] (1) 自耗电电极的制备:将上述真空感应炉冶炼的合金锭,锻造成适合电渣炉电渣重熔尺寸的自耗电电极,焊接到假电极上,并与电极夹持器连接。

[0044] (2) 预熔渣的准备及烘烤:选用特定成分的预熔渣,并将预熔渣放入电阻炉内,在 $600^{\circ}\text{C}\sim 800^{\circ}\text{C}$ 下烘烤5小时 $\sim$ 8小时,以去除渣中的水分。需要注意的是由于冶炼的合金成分不同,所用预熔渣的成分及其含量也不同,本发明的实施例中采用 CaF_2 、 Al_2O_3 、 CaO 、 MgO 、 TiO_2 。

[0045] (3) 加热化渣:将保温烘烤好的渣料通过加料器均匀加入到氩气保护电渣炉结晶器中进行加热化渣操作,其中:氩气流量为 $5\sim 8\text{NL}/\text{min}$,化渣电压为 $33\sim 38\text{V}$,化渣电流为 $3500\sim 5000\text{A}$ 。

[0046] (4) 重熔:渣料熔化后,在氩气保护电渣炉内重熔步骤1) 制备的合金锭即自耗电电极,氩气流量为 $5\sim 8\text{NL}/\text{min}$,重熔电压为 $40\sim 45\text{V}$,重熔电流为 $5500\sim 6000\text{A}$;熔速由电渣炉结晶器尺寸确定: $v = (0.7\sim 0.8) \cdot D$,其中: v ——熔速, kg/h ; D ——电渣炉结晶器直径, mm 。

[0047] (5) 出模:电渣重熔结束后,镍基合金缓慢冷却出模,模冷时间至少 1 小时。

[0048] 本发明的一种真空感应和保护气氛电渣重熔双联冶炼先进超超临界耐热合金的方法,通过真空感应和保护气氛电渣重熔双联工艺,对合金成分具有较为精准的控制。而且,电渣重熔过程,电极端头熔化形成的金属液滴通过渣池,渣金充分反应至平衡,提高了合金的纯净度。水冷铜质结晶器改善了凝固条件,减小了合金偏析,提高组织致密性。凝固过程中,结晶器周围形成薄而均匀的渣皮,使得合金铸锭更为光滑,提高表面质量。

[0049] 实施例2

[0050] 在本实施例中采用的冶炼设备为 30kg 真空感应炉以及 50kg 保护气氛电渣重熔炉。其中真空感应炉极限真空度为 0.1Pa ,电源额定功率为 50kW ,装炉量为 $20.0\text{kg}\sim 21.5\text{kg}$;保护气氛电渣重熔炉电源额定功率为 500kW ,铜制水冷结晶器内径 D 为 125mm ,自耗电电极重量为 $25\text{kg}\sim 50\text{kg}$ 。

[0051] 本实施例中所用的冶炼原料的主要成分见表1。

[0052] 表1冶炼原料主要成分/ $\text{wt}\%$

[0053]

	Fe	Al	Si	O	Ni	P	C
硼铁	80.115	0.102	0.430	-	-	0.028	0.395
硅	0.200	0.200	99.58	-	-	-	-
铬	0.210	0.190	0.150	0.070	-	-	0.006
镍	0.010	-	0.002	-	99.957	0.001	0.010
电解锰	0.025	-	0.010	-	-	0.004	0.030
钼	0.002	0.001	0.004	0.003	0.004	0.001	0.001
钴	0.006	0.002	0.003	-	0.010	0.001	0.005
铌	0.007	-	0.002	0.097	-	-	0.010
铝粒	0.200	99.70	0.100	-	-	-	-
海绵钛	0.038	-	0.020	0.058	-	0.010	0.009
碳	-	-	-	-	-	-	100.0
	Mo	Nb	Ti	Co	B	Cr	Mn
硼铁	-	-	-	-	18.93	-	-
硅	-	-	-	-	-	-	-
铬	-	-	-	-	-	99.260	-
镍	-	-	-	-	-	-	0.005
电解锰	-	-	-	-	-	-	99.80
钼	99.90	-	-	-	-	-	-
钴	-	-	-	99.95	-	-	0.005
铌	0.003	99.70	0.005	-	-	-	-
铝粒	-	-	-	-	-	-	-
[0054]							
海绵钛	-	-	99.813	-	-	-	-
碳	-	-	-	-	-	-	-

[0055] 采用真空感应炉和保护气氛电渣重熔双联冶炼先进超超临界用耐热合金 Inconel740H,合金成分控制范围及目标如表2,表中为重量百分比含量。

[0056] 表2Inconel740H合金成分控制范围及目标/wt. %

[0057]

元素	Cr	Co	Al	Ti	Nb	Fe	C	Mn
目标	25	20	1.35	1.35	1.5	0.7	0.03	0.3
元素	Mo	Si	Cu	P	S	B	Ni	
目标	0.5	0.15	-	-	-	-	Bal	

[0058] 具体步骤如下:

[0059] 1)、真空感应炉冶炼阶段:

[0060] (1) 配料及装料: 据合金要求配料, 冶炼原料及其质量为镍11226.8g、铬5541g、钴4402.2g、钼110.1g、铌331g、电解锰70.3g、硅24g、碳8.4g、铝330g、硼铁1.3g、海绵钛348.1g。其中碳和铝粒分别在目标成分基础上多加0.02%和0.3%, 用于脱氧。随炉金属有: 镍、钴、钼、铬、铌, 按照合金加入顺序; 依次加入料斗的合金有: 碳、脱氧剂铝、合金化铝、硅和钛、硼铁和电解锰。(2) 熔化: 打开电源、真空阀, 抽真空至小于2.6Pa (以减少炉料加热时的吸气)。通水后通电, 开始进入熔化期, 熔化期无具体时间要求, 必须保证炉料充分熔化。开始时以较低功率加热炉料至发红, 然后保证在一定真空度下, 用最大功率35KW尽快加热熔化炉料, 熔化后高功率继续, 测温, 使温度达到要求的1500℃~ 1530℃。

[0061] (3) 精炼: 调节功率控温1500℃左右, 冲入氩气10kPa。精炼前期, 加碳脱氧, 待反应平稳后, 开启真空泵, 提高真空度3pa以下并保持15min; 精炼后期, 将料仓中Al粒投入钢液中, 保持高真空度15min, 降低功率使温度降低, 以促进生成的Al₂O₃夹杂物上浮, 10min后进行合金化。

[0062] (4) 合金化: 调节功率控温1500℃左右; 加入合金化Al, 熔清后加Si、Ti; 充氩气至20kPa, 加入硼铁和电解锰。

[0063] (5) 浇铸出合金: 调节功率控制温度在1430℃~1460℃, 即可浇铸。合金锭冷却凝固后, 取出锭模脱锭。

[0064] 冶炼所得的先进超超临界耐热合金Inconel740H成分符合目标范围内, 检测结果如表3。

[0065] 表3. 冶炼所得的先进超超临界耐热合金的成分含量

[0066]

	Al	Si	Ni	C	Mo	Nb	Ti
配入值	1.521	0.147	50.113	0.045	0.491	1.474	1.551
检测值	1.22	0.12	49.50	0.04	0.52	1.45	1.57
	Co	Mn	O	S	P	Fe	Cr
配入值	19.648	0.245	0.317	0.020	0.016	0.004	24.9
检测值	20.50	0.24	0.05	0.018	0.015	0.003	24.78

[0067] 2)、保护气氛下的电渣重熔阶段:

[0068] (1) 自耗电极的制备: 将步骤1) 真空感应炉冶炼的合金锭锻造成适合电渣炉电渣

重熔尺寸的自耗电电极,焊接到假电极上,并与电极夹持器连接。

[0069] (2) 预熔渣的准备及烘烤:配置冶炼Inconel740H用的电渣重熔渣系,其中渣系成分为:CaF₂:50%;Al₂O₃:22%;CaO:20%;MgO:5%;TiO₂:3%。将配好的渣料充分混合搅拌后放入烘烤炉内加热至750℃,保温烘烤6h,随用随取。

[0070] (3) 加热化渣:将上述(2)保温烘烤好的渣料通过加料器均匀加入到氩气保护电渣炉结晶器中,氩气流量为5NL/min,化渣电压为33V,化渣电流为5000A。

[0071] (4) 重熔:渣料熔化后,在氩气保护电渣炉内重熔步骤1)制备的 Inconel740H合金也就是自耗电电极,使熔化的合金电极液滴经过渣池,与电渣充分反应。其中,氩气流量为5NL/min,重熔电压为43V,重熔电流为6000A。

[0072] (5) 出模:待电渣重熔结束后,制备的先进超超临界耐热合金 Inconel740H合金缓慢冷却出模,模冷时间2小时,检测结果如表4,未列出的部分为杂质。可见合金成分符合要求,合金锭结构致密,无明显渣沟褶皱。

[0073] 表4.制备的先进超超临界耐热合金Inconel740H的成分

[0074]

	Al	Si	Ni	C	Mo	Nb	Ti
检测值	1.20	0.12	50	0.03	0.48	1.45	1.53
	Cr	Co	O	S	P	Fe	Mn
检测值	20.32	24.60	0.01	0.004	0.003	0.003	0.23

[0075] 实施例3

[0076] 本实施例是在实施例2的基础上制备的先进超超临界用耐热合金 GH4700,其目标成分控制如表5。

[0077] 表5GH4700合金目标成分控制/wt. %

[0078]

元素	Cr	Co	Al	Ti	Nb	Fe	C	Mn
成分	25	20	1.4	1.66	1.65	0.7	0.03	0.3
元素	Mo	Si	Ni					
成分	0.5	0.05	Bal					

[0079] 1) 真空感应炉熔炼阶段:

[0080] (1) 配料及装料:根据合金要求配料,冶炼原料及其质量具体为镍 10206.18g、铬 5037.27g、钴4002.00g、钼100.09g、铌300.91g、电解锰 63.91g、硅2.11g、碳7.91g、铝309.09g、海绵钛316.45g。其中碳和铝粒分别在目标成分基础上多加0.03%和0.3%,用于脱氧。随炉金属按顺序加入:镍、钴、钼、铬、铌;依次加入料斗的合金有:碳、脱氧剂铝、合金化铝、硅、钛和电解锰。

[0081] (2) 熔化:打开电源、真空阀,抽真空至小于3Pa。通水后通电,开始进入熔化期,开始时以较低功率加热炉料至发红,然后保证在一定真空度下,用最大功率尽快加热熔化炉

料,熔化后高功率继续。

[0082] (3) 精炼:调节功率控温1500℃左右,冲入氩气10kPa。精炼前期,加碳脱氧,待反应平稳后,开启真空泵,提高真空度3pa以下并保持15min;精炼后期,将料仓中0.8%的Al粒投入钢液中,保持高真空度15min,降低功率使温度降低1400℃左右,以促进生成的Al₂O₃夹杂物上浮。

[0083] (4) 合金化:调节功率控温1500℃左右;加入剩余99.2%的Al粒作为合金化Al,熔清后加Si、Ti;充氩气至20kPa,加入电解锰。

[0084] (5) 浇铸出合金:调节功率控制温度在1450℃左右,即可浇铸。合金锭冷却凝固后,取出锭模脱锭。

[0085] 2) 保护气氛下的电渣重熔阶段:

[0086] (1) 自耗电电极的制备:同实施例2。

[0087] (2) 预熔渣的准备及烘烤:采用原材料精料按照CaF₂:53%;Al₂O₃:20%;CaO:20%;MgO:3%;TiO₂:4%的渣料成分进行配料;将配好的渣料充分混合搅拌后放入烘烤炉内加热至700℃,保温烘烤8h,随用随取。

[0088] (3) 加热化渣:将保温烘烤好的渣料通过加料器均匀加入到氩气保护电渣炉结晶器中,氩气流量为6NL/min,化渣电压为35V,化渣电流为4800A。

[0089] (4) 重熔:渣料熔化后,在氩气保护电渣炉内重熔步骤1)制备GH4700合金即自耗电电极。其中,氩气流量为6NL/min,重熔电压为43V,重熔电流为5800A。

[0090] (5) 出模:电渣重熔结束后,GH4700合金缓慢冷却出模,模冷时间2小时,检测结果如表6。

[0091] 表6.制备的先进超超临界耐热合金GH4700的成分

[0092]

	Al	Si	Ni	C	Mo	Nb	Ti
检测值	1.43	0.07	Bal.	0.04	0.57	1.68	1.56
	Cr	Mn	O	S	P	Fe	Co

[0093]

检测值	24.82	0.27	0.01	0.007	0.003	0.003	20.4
-----	-------	------	------	-------	-------	-------	------

[0094] 由表可知,经过电渣重熔后的合金S含量较低,且合金元素符合要求。该工艺得到较为致密、纯净和高表面质量的合金。

[0095] 以上所述,仅是本发明的较佳实施例而已,并非是对本发明做其它形式的限制,任何熟悉本专业的技术人员可能利用上述揭示的技术内容加以变更或改型为等同变化的等效实施例。但是凡是未脱离本发明技术方案内容,依据本发明的技术实质对以上实施例所作的任何简单修改、等同变化与改型,仍属于本发明技术方案的保护范围。