



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104141051 A

(43) 申请公布日 2014. 11. 12

(21) 申请号 201410405556. 9

(22) 申请日 2014. 08. 18

(71) 申请人 洛阳双瑞特种装备有限公司

地址 471000 河南省洛阳市高新开发区滨河  
路 32 号

(72) 发明人 罗利阳 王新鹏 陈帅超 宁天信  
张春林

(74) 专利代理机构 洛阳明律专利代理事务所  
41118

代理人 卢洪方

(51) Int. Cl.

C22B 9/18 (2006. 01)

权利要求书1页 说明书7页

(54) 发明名称

一种镍基合金板坯抽锭电渣重熔用渣系

(57) 摘要

本发明属于特种合金精炼技术领域, 尤其涉及一种镍基合金板坯抽锭电渣重熔用渣系, 所述渣系的组成和重量百分比为:  $\text{CaF}_2$  60% ~ 65%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  15% ~ 20%,  $\text{CaO}$  13% ~ 15%,  $\text{SiO}_2$  6% ~ 10%; 所述渣系熔点为 1100 ~ 1150 °C, 1600 °C 的粘度为 0.04 ~ 0.07 Pa · s, 1600 °C 时渣阻 0.27 ~ 0.3  $\Omega \cdot \text{cm}$ 。采用上述渣系生产的镍基合金抽锭电渣重熔板坯表面质量良好, 没有明显重皮、夹渣等缺陷。根据 GB/T1979-2001 标准对板坯内部质量进行检测, 未发现疏松、偏析、白亮带、皮下气泡、残余缩孔、翻皮、白点、轴心晶间裂纹、内部气泡、非金属夹杂物及夹渣、异金属夹杂物等缺陷, 钢锭内部质量良好。

1. 一种镍基合金板坯抽锭电渣重熔用渣系,所述镍基合金为UNS N06625、UNS N06600、UNS N06690 镍基合金;其特征在于:所述渣系的组成和重量百分比为:CaF<sub>2</sub>60%~65%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>15%~20%, CaO13%~15%, SiO<sub>2</sub>6%~10%;所述渣系熔点为1100~1150℃,1600℃的粘度为0.04~0.07Pa·s,1600℃时渣阻0.27~0.3Ω·cm。

2. 如权利要求1所述的一种镍基合金板坯抽锭电渣重熔用渣系,其特征在于:所述渣系的组成和重量百分比为:CaF<sub>2</sub>63%~65%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>15%~16%, CaO13%~14%, SiO<sub>2</sub>6%~9%;所述渣系熔点为1100~1120℃,1600℃的粘度为0.04~0.06Pa·s,1600℃时渣阻0.27~0.29Ω·cm。

## 一种镍基合金板坯抽锭电渣重熔用渣系

### 技术领域

[0001] 本发明属于特种合金精炼技术领域,尤其涉及一种镍基合金板坯抽锭电渣重熔用渣系。

### 背景技术

[0002] 电渣重熔是将自耗电极插入水冷结晶器的渣池中,渣池逐渐将其加热熔化,形成金属熔滴,然后金属熔滴穿过渣池进入金属熔池,金属熔池在水冷条件下逐渐凝固形成铸锭。电渣重熔工艺技术主要分为:固定式电渣重熔工艺和抽锭式电渣重熔工艺。

[0003] 固定式电渣重熔工艺是整个冶炼过程在封闭的结晶器内进行,铸锭由下而上顺序凝固,不存在漏钢、漏渣的问题,采用  $\text{CaF}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  二元渣系或  $\text{CaF}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$  三元渣系。

[0004] 抽锭电渣重熔工艺是自耗电极一边熔化形成金属熔池,金属熔池一边凝固被连续地拉出结晶器,结晶器与铸锭做相对移动,会出现漏钢、漏渣问题,不容易获得良好的表面质量。为了改善钢锭的表面质量,抽锭电渣重熔渣系采用  $\text{CaF}_2$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{SiO}_2$  五元渣系,加入少量的  $\text{SiO}_2$  是为了降低渣系的熔点,渣中硅氧阴离子聚合程度大,结晶能力差,即使冷却到液相线温度以下仍能保持过冷液体的状态,渣皮塑性强,不容易破裂。渣中加入  $\text{MgO}$ ,使固态渣中高硬度矿相增多,使固态渣的高温强度提高,提高渣皮在抽锭过程中的抗拉破能力。

[0005] 文献“电渣重熔用新渣系的开发研究”公布了一种生产 Q235 钢抽锭电渣重熔用渣系,渣系各组元质量百分比为: $\text{CaF}_2$  30%, $\text{CaO}$  30%, $\text{Al}_2\text{O}_3$  35%, $\text{SiO}_2$  5%;文献“抽锭式结晶器板坯电渣炉漏钢原因探讨”采用抽锭电渣重熔技术生产低合金钢,其采用的渣系各组元的质量百分比为  $\text{CaF}_2$  30%~50%, $\text{Al}_2\text{O}_3$  20%~35%, $\text{CaO}$  15%~25%, $\text{MgO}$  3%~8%, $\text{SiO}_2$  6%~15%。

### 发明内容

[0006] 本发明在抽锭电渣重熔技术的基础上,提供一种镍基合金板坯抽锭电渣重熔用渣系,避免镍基合金板坯抽锭电渣重熔过程中出现的内部夹渣、表面漏钢、漏渣等问题,生产出厚度小于 200 mm,宽度大于 1250mm,重量大于 6 吨的镍基合金板坯,该电渣重熔板坯可直接进入炉卷轧机热轧成卷,节省中间的锻造开坯工序,缩短耐蚀合金板、带、箔材的生产流程,降低生产成本,降低能耗降低。

[0007] 本发明的渣系适用于 UNS N06625、UNS N06600、UNS N06690 等镍基合金,本发明涉及的镍基合金的熔点为  $1290 \sim 1350^\circ\text{C}$ ,抽锭电渣渣系的熔点必须低于镍基合金的熔点,过热的金属熔池在结晶器内上升过程中,将结晶器四周的固态渣皮重新熔化,形成薄而均匀的渣皮,液态金属在渣皮的包裹下凝固,获得光滑的钢锭表面;本发明涉及的镍基合金中的合金元素的含量重量百分比之和超过 90%,其中 UNS N06625 镍基合金的成分范围为: $\text{C} \leq 0.1\%$ , $\text{Si} \leq 0.5\%$ , $\text{Mn} \leq 1.0\%$ , $\text{S} \leq 0.015\%$ , $\text{P} \leq 0.015\%$ , $\text{Cr} 20\% \sim 23\%$ , $\text{Ni} \geq 58\%$ , $\text{Mo} 8\% \sim 10\%$ , $\text{Nb} 3.15\% \sim 4.15\%$ , $\text{Al} \leq 0.4\%$ , $\text{Ti} \leq 0.4\%$ , $\text{Fe} \leq 5.0\%$ ;UNS N06600 镍基合金的成分

范围为： $C \leq 0.15\%$ ， $Si \leq 0.5\%$ ， $Mn \leq 1.0\%$ ， $S \leq 0.015\%$ ， $Cr14\% \sim 17\%$ ， $Ni \geq 72\%$ ， $Fe6\% \sim 10\%$ ；UNS N06690 镍基合金的成分范围为： $C \leq 0.05\%$ ， $Si \leq 0.5\%$ ， $Mn \leq 0.5\%$ ， $S \leq 0.015\%$ ， $Cr27\% \sim 31\%$ ， $Ni \geq 58\%$ ， $Fe7\% \sim 11\%$ ，钢的合金含量越高，液态钢液的粘度值越高，流动性越差，该镍基合金在  $1600^{\circ}\text{C}$  时粘度为  $0.007 \sim 0.008 \text{Pa} \cdot \text{s}$ ，远高于低合金钢在  $1600^{\circ}\text{C}$  时粘度  $0.002 \sim 0.003 \text{Pa} \cdot \text{s}$ 。

[0008] 针对本发明涉及的镍基合金特点，本发明的渣系由  $\text{CaF}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{SiO}_2$  组成，不加入  $\text{MgO}$ ， $\text{MgO}$  会使渣系的高温粘度剧增， $\text{MgO}$  每增加  $1\%$ ，熔渣粘度上升约  $0.02 \text{Pa} \cdot \text{s}$ ，容易在镍基合金板坯抽锭电渣重熔过程中形成夹渣； $\text{CaF}_2$  能降低渣的熔点、粘度和表面张力， $\text{Al}_2\text{O}_3$  能提高渣系渣阻，增加渣系粘度值， $\text{CaO}$  能提高熔渣碱度，提高脱硫效果， $\text{SiO}_2$  可以降低渣的熔点，生成发生塑性变形的矿物、非晶质矿物，提高渣皮的塑性变形能力，防止渣皮拉破。本发明提出的镍基合金抽锭电渣重熔渣系如下：

首先，渣系必须具有合适的渣阻，渣系中的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量控制在  $15\% \sim 20\%$ ，使该渣系  $1600^{\circ}\text{C}$  时渣阻约  $0.27 \sim 0.3 \Omega \cdot \text{cm}$ ，渣阻比较合适，能够产生足够的热量，保证金属熔化；当渣系中  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量低于  $15\%$  时，渣系  $1600^{\circ}\text{C}$  时渣阻  $\leq 0.2 \Omega \cdot \text{cm}$ ，不能有效提高电渣重熔电效率，当渣系中  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量高于  $20\%$  时，可以有效提高渣阻，更经济的利用电能，但是，会使电渣重熔的速度增加，金属熔池加深，镍基合金板坯中心出现疏松或缩孔，因此，镍基合金板坯电渣重熔渣系的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量不能高于  $20\%$ 。

[0009] 第二， $\text{CaF}_2$  在高温下会发生水解反应，生成  $2\% \sim 5\%$  的  $\text{CaO}$ ，因此， $\text{CaO}$  含量选择在  $13\% \sim 15\%$ ，与  $\text{Al}_2\text{O}_3$  形成低熔点的复合化合物，降低渣系的熔点。

[0010] 第三，在所设计渣系  $\text{CaO}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量不变的情况下，加入  $\text{CaF}_2$  是为了调整渣系的高温粘度，当  $\text{CaF}_2$  含量高于  $65\%$  时， $1600^{\circ}\text{C}$  时熔渣粘度小于  $0.04 \text{Pa} \cdot \text{s}$ ，具有非常好的流动性，在抽锭过程中会出现漏渣、漏钢现象，当  $\text{CaF}_2$  含量低于  $60\%$  时， $1600^{\circ}\text{C}$  时熔渣高温粘度高于  $0.07 \text{Pa} \cdot \text{s}$ ，流动性变差，流动性不好的镍基合金熔液与流动性不好的液态渣难以分离，会出现夹渣。因此，镍基合金板坯电渣重熔渣系的  $\text{CaF}_2$  含量选择在  $60\% \sim 65\%$ 。

[0011] 最后，渣系中必须加入  $\text{SiO}_2$ ，生成易发生塑性变形的矿物、非晶质矿物，提高渣皮的塑性，防止抽锭过程中渣皮拉破。抽锭电渣重熔渣系中至少应加入  $6\%$  的  $\text{SiO}_2$ ，才能形成足够的塑性变形矿物和非晶质矿物，提高渣皮的塑性，加入的  $\text{SiO}_2$  量越多，越有利于抽锭电渣重熔，但是， $\text{SiO}_2$  含量超过  $10\%$  后，会使镍基合金中的  $\text{Si}$  增加，影响镍基合金的抗氧化性酸介质的腐蚀性能，抗晶间腐蚀性能。因此，镍基合金板坯电渣重熔渣系的  $\text{SiO}_2$  含量选择在  $6\% \sim 10\%$ 。

[0012] 综上所述，本发明提供了一种用于镍基合金板坯抽锭电渣重熔的四元渣系，所述四元渣系的组成和重量百分比为： $\text{CaF}_2 60\% \sim 65\%$ ， $\text{Al}_2\text{O}_3 15\% \sim 20\%$ ， $\text{CaO} 13\% \sim 15\%$ ， $\text{SiO}_2 6\% \sim 10\%$ 。该渣系熔点为  $1100 \sim 1150^{\circ}\text{C}$ ，低于镍基合金的熔点为  $1290 \sim 1350^{\circ}\text{C}$ ，有利于形成薄而均匀的渣皮，获得良好的表面质量。抽锭电渣重熔低合金钢渣系  $1600^{\circ}\text{C}$  的粘度为  $0.1 \sim 0.12 \text{Pa} \cdot \text{s}$ ，而该渣系  $1600^{\circ}\text{C}$  的粘度为  $0.04 \sim 0.07 \text{Pa} \cdot \text{s}$ ，流动性较好，适合镍基合金板坯抽锭电渣重熔。 $1600^{\circ}\text{C}$  时渣阻  $0.27 \sim 0.3 \Omega \cdot \text{cm}$ ，能够保证电渣重熔进行。本发明渣系的熔点、粘度、渣阻与镍基合金板坯抽锭电渣重熔是匹配的。

[0013] 本发明的内容中，所述四元渣系的组成和重量百分比比较好的为： $\text{CaF}_2 63\% \sim 65\%$ ， $\text{Al}_2\text{O}_3 15\% \sim 16\%$ ， $\text{CaO} 13\% \sim 14\%$ ， $\text{SiO}_2 6\% \sim 9\%$ 。该渣系熔点为  $1100 \sim 1120^{\circ}\text{C}$ ， $1600^{\circ}\text{C}$  的粘

度为  $0.04 \sim 0.06 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ ,  $1600^\circ\text{C}$  时渣阻  $0.27 \sim 0.29 \Omega \cdot \text{cm}$ 。

[0014] 采用本发明渣系进行镍基合金板坯抽锭电渣重熔, 一般可以经如下步骤:

第一步, 采用中频感应炉生产镍基耐蚀合金电极, 电极的厚度、宽度、长度分别为  $220 \sim 270 \text{ mm}$ 、 $1320 \sim 1460 \text{ mm}$ 、 $2800 \sim 3500 \text{ mm}$ , 重量大于 6 吨。将电极焊接在假电极上, 待用;

第二步, 将渣料在  $800 \sim 850^\circ\text{C}$  的温度下烘烤  $7 \sim 8$  小时, 以减少渣料中的水分, 待用;

第三步, 采用石墨电极在化渣包中将准备好的渣料熔化成液态, 液态渣温度控制在  $1650 \sim 1700^\circ\text{C}$ , 保证渣系化开、化清;

第四步, 将引锭装置与底水箱联接牢固, 再将底水箱移至 T 型结晶器下部, 密封好, 电极与结晶器对中后, 抬起至 T 型结晶器上口;

第五步, 关闭引锭装置的冷却水, 将液态渣倒入 T 型结晶器内;

第六步, 将电极插入渣池中, 设定好电压、电流, 电极插入深度控制在  $15 \sim 20 \text{ mm}$ , 电极的熔化速度控制在  $900 \sim 1000 \text{ kg/h}$ , 金属液滴迅速的滴落在引锭装置上, 将引锭装置的冷却水打开, 与其粘接牢固;

第七步, 当金属熔池的液面达到距离下结晶器底边  $320 \sim 380 \text{ mm}$  高度时, 开始抽动底水箱, 将板坯从结晶器中拉出, 抽动的速度为  $1 \sim 10 \text{ mm/min}$ , 一直将电极熔化完毕。上结晶器的冷却水流量控制在  $90 \text{ m}^3/\text{h}$ , 下结晶器的冷却水流量控制在  $150 \text{ m}^3/\text{h}$ , 底水箱冷却水流量控制在  $30 \text{ m}^3/\text{h}$ , 引锭装置的冷却水流量控制在  $20 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

[0015] 第八步, 根据生产需要, 将另外一支电极重新移至渣池中, 实现连续生产。

[0016] 与现有技术相比, 本发明的有益效果是: 在现有的抽锭电渣重熔技术的基础上, 通过调整  $\text{CaF}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{SiO}_2$  等组元的比例, 使渣系具有合适的熔点、粘度、流动性、渣阻, 与镍基合金板坯抽锭电渣重熔工艺相匹配, 成功生产出厚度小于  $200 \text{ mm}$ , 宽度大于  $1250 \text{ mm}$ , 重量大于 6 吨的镍基合金板坯, 该电渣重熔板坯可直接进入炉卷轧机热轧成卷, 节省中间的锻造开坯工序, 缩短耐蚀合金板、带、箔材的生产流程, 降低生产成本, 降低能耗降低, 具有明显的经济效益。

## 具体实施方式

[0017] 实施例 1:

采用本发明的渣系生产镍基合金 UNS N06625 电渣板坯, 包括以下步骤。

[0018] 第一步, 采用中频炉 +AOD 炉冶炼自耗电电极, 电极厚度、宽度、长度分别为  $270 \text{ mm}$ 、 $1320 \text{ mm}$ 、 $2800 \text{ mm}$ , 电极的化学成分符合标准要求, 如表 1 所示;

表 1 电极化学成分(重量%)

元素	C	Si	Mn	S	P	Cr
电极	0.014	0.245	0.141	0.0060	0.0050	22.00
标准	≤ 0.1	≤ 0.50	≤ 0.50	≤ 0.015	≤ 0.015	20~ 23
元素	Ni	Mo	Nb+T a	Ti	Fe	Al
电极	63.30	9.30	3.68	0.137	1.10	0.120
标准	≥ 58	8~ 10	3.15~ 4.15	≤ 0.4	≤ 5	≤ 0.4

第二步,将自耗电电极表面打磨干净;

第三步,制备渣料。渣系采用  $\text{CaF}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{SiO}_2$  四元渣系,各组元的重量百分比分别为 63%、15%、13%、9%,渣量 300kg。将渣料分开置入电炉内,温度控制在  $800^\circ\text{C}$ ,烘烤 7 小时;

第四步,将烘烤好的渣系按照  $\text{CaF}_2$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  的顺序加入到化渣包内,引弧造渣,化渣时间约 90 分钟,渣温控制在  $1650\sim 1700^\circ\text{C}$ ,保证渣系化开、化清;

第五步,将引锭装置与底水箱联接牢固,再将底水箱移动到结晶器内,密封好,自耗电电极与结晶器对中后,抬起至结晶器口;

第六步,关闭引锭装置的冷却水,将液态渣倒入 T 型结晶器内,并将自耗电电极插入 T 型结晶器上部的渣池中,开始电渣重熔,设备的电压设定为 60-62V,电流设定为 16-17KA,电极插入深度控制在 16mm,上结晶器的冷却水流量控制在  $90\text{m}^3/\text{h}$ ,下结晶器的冷却水流量控制在  $150\text{m}^3/\text{h}$ ,底水箱冷却水流量控制在  $30\text{m}^3/\text{h}$ ,引锭装置的冷却水流量控制在  $20\text{m}^3/\text{h}$ 。金属熔池液面采用探测器进行判断,当金属熔池的液面达到距离下结晶器底边 370mm 高时,开始抽动底水箱,将钢锭从结晶器中拉出,刚开始抽锭时抽锭速度为  $1\text{mm}/\text{min}$ ,逐渐提高至电渣重熔稳定的抽速  $8\text{mm}/\text{min}$ ,电极熔化速度为  $900\text{kg}/\text{h}$ ,一直将自耗电电极熔化完毕;

第七步,将抽出的电渣重熔板坯进行二次喷雾冷却,电渣重熔板坯的厚度、宽度、长度分别为 200mm、1250mm、4000mm,重量约 8 吨。

[0019] 对 UNS N06625 镍基合金电渣重熔板坯进行化学成分分析,结果如表 2,成分符合标准要求。

[0020] 表 2 电渣板坯化学成分(重量%)

元素	C	Si	Mn	S	P	Cr
板坯	0.015	0.311	0.117	0.006	0.009	22.00
标准	≤0.1	≤0.50	≤0.50	≤0.015	≤0.015	20~23
元素	Ni	Mo	Nb+Ta	Ti	Fe	Al
板坯	62.64	9.3	3.66	0.087	2.49	0.123
标准	≥58	8~10	3.15~4.15	≤0.4	≤5	≤0.4

UNS N06625 镍基合金抽锭电渣重熔板坯表面质量良好,没有明显重皮、夹渣等缺陷。根据 GB/T 1979-2001 《结构钢低倍组织缺陷评级图》标准,对实施例板坯内部质量进行检测,未发现疏松、偏析、白亮带、皮下气泡、残余缩孔、翻皮、白点、轴心晶间裂纹、内部气泡、非金属夹杂物及夹渣、异金属夹杂物等缺陷,钢锭内部质量良好。

## [0021] 实施例 2：

采用本发明的渣系生产镍基合金 UNS N06600 电渣板坯，包括以下步骤。

[0022] 第一步，采用中频炉 +AOD 炉冶炼自耗电电极，电极厚度、宽度、长度分别为 270mm、1320 mm、2800mm，电极的化学成分符合标准要求，如表 3 所示；

表 3 电极化学成分(重量 %)

元素	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	Fe
电极	0.017	0.218	0.271	0.007	0.006	15.72	76.48	0.03	7.15
标准	≤ 0.15	≤ 0.5	≤ 1.0	≤ 0.015	/	14 ~17	≥ 72	≤ 0.5	6 ~10

第二步，将自耗电电极表面打磨干净；

第三步，制备渣料。渣系采用  $\text{CaF}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{SiO}_2$  四元渣系，各组元的重量百分比分别为 64%、16%、14%、6%，渣量 300kg。将渣料分开置入电炉内，温度控制在  $800^\circ\text{C}$ ，烘烤 7 小时；

第四步，将烘烤好的渣系按照  $\text{CaF}_2$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  的顺序加入到化渣包内，引弧造渣，化渣时间约 90 分钟，渣温控制在  $1650\sim 1700^\circ\text{C}$ ，保证渣系化开、化清；

第五步，将引锭装置与底水箱联接牢固，再将底水箱移动到结晶器内，密封好，自耗电电极与结晶器对中后，抬起至结晶器口；

第六步，关闭引锭装置的冷却水，将液态渣倒入 T 型结晶器内，并将自耗电电极插入 T 型结晶器上部的渣池中，开始电渣重熔，设备的电压设定为 60-62V，电流设定为 16-17KA，电极插入深度控制在 16mm，上结晶器的冷却水流量控制在  $90\text{m}^3/\text{h}$ ，下结晶器的冷却水流量控制在  $150\text{m}^3/\text{h}$ ，底水箱冷却水流量控制在  $30\text{m}^3/\text{h}$ ，引锭装置的冷却水流量控制在  $20\text{m}^3/\text{h}$ 。金属熔池液面采用探测器进行判断，当金属熔池的液面达到距离下结晶器底边 370mm 高时，开始抽动底水箱，将钢锭从结晶器中拉出，刚开始抽锭时抽锭速度为 1 mm/min，逐渐提高至电渣重熔稳定的抽速 8mm/min，电极熔化速度为 900kg/h，一直将自耗电电极熔化完毕；

第七步，将抽出的电渣重熔板坯进行二次喷雾冷却，电渣重熔板坯的厚度、宽度、长度分别为 200mm、1250mm、4000mm，重量约 8 吨。

[0023] 对 UNS N06600 镍基合金电渣重熔板坯进行化学成分分析，抽锭电渣重熔板坯化学成分合格，如下表 4 所示。

[0024] 表 4 电渣板坯化学成分(重量 %)

元素	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	Fe
板坯	0.018	0.232	0.267	<0.005	0.007	15.68	76.43	0.028	7.27
标准	≤ 0.15	≤ 0.5	≤ 1.0	≤ 0.015	/	14 ~17	≥ 72	≤ 0.5	6 ~10

UNS N06600 镍基合金抽锭电渣重熔板坯表面质量良好，没有明显重皮、夹渣等缺陷。根据 GB/T 1979-2001 《结构钢低倍组织缺陷评级图》标准，对实施例板坯内部质量进行检测，

未发现疏松、偏析、白亮带、皮下气泡、残余缩孔、翻皮、白点、轴心晶间裂纹、内部气泡、非金属夹杂物及夹渣、异金属夹杂物等缺陷，钢锭内部质量良好。

[0025] 实施例 3：

采用本发明的渣系生产镍基合金 UNS N06690 电渣板坯，包括以下步骤。

[0026] 第一步，采用中频炉+AOD 炉冶炼自耗电电极，电极厚度、宽度、长度分别为 270mm、1320 mm、2800mm，电极化学成份和重量百分比符合表 5 要求：

表 5 电极化学成分(重量%)

元素	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	Fe
电极	0.015	0.257	0.141	0.008	0.005	29.12	61.91	0.023	8.43
标准	≤ 0.05	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 0.015	/	27 ~31	≥ 58	≤ 0.5	7 ~11

第二步，将自耗电电极表面打磨干净；

第三步，制备渣料。渣系采用  $\text{CaF}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{SiO}_2$  四元渣系，各组元的重量百分比分别为 65%、15%、13%、7%，渣量 300kg，渣料分开置入电炉内，温度控制在  $800^\circ\text{C}$ ，烘烤 7 小时；

第四步，将烘烤好的渣系按照  $\text{CaF}_2$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  的顺序加入到化渣包内，引弧造渣，化渣时间约 90 分钟，渣温控制在  $1650\sim 1700^\circ\text{C}$ ，保证渣系化开、化清；

第五步，将引锭装置与底水箱联接牢固，再将底水箱移动到结晶器内，密封好，自耗电电极与结晶器对中后，抬起至结晶器口；

第六步，关闭引锭装置的冷却水，将液态渣倒入 T 型结晶器内，并将自耗电电极插入 T 型结晶器上部的渣池中，开始电渣重熔，设备的电压设定为 60-62V，电流设定为 16-17KA，电极插入深度控制在 16mm，上结晶器的冷却水流量控制在  $90\text{m}^3/\text{h}$ ，下结晶器的冷却水流量控制在  $150\text{m}^3/\text{h}$ ，底水箱冷却水流量控制在  $30\text{m}^3/\text{h}$ ，引锭装置的冷却水流量控制在  $20\text{m}^3/\text{h}$ 。金属熔池液面采用探测器进行判断，当金属熔池的液面达到距离下结晶器底边 370mm 高时，开始抽动底水箱，将钢锭从结晶器中拉出，刚开始抽锭时抽锭速度为 1 mm/min，逐渐提高至电渣重熔稳定的抽速 8mm/min，电极熔化速度为 900kg/h，一直将自耗电电极熔化完毕；

第七步，将抽出的电渣重熔板坯进行二次喷雾冷却，电渣重熔板坯的厚度、宽度、长度分别为 200mm、1250mm、4000mm，重量约 8 吨。

[0027] 对 UNS N06900 镍基合金电渣重熔板坯进行化学成分分析，如下表 6 所示。

[0028] 表 6 电渣板坯化学成分(重量%)

元素	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	Fe
板坯	0.015	0.260	0.137	<0.005	0.005	29.03	62.04	0.021	8.39
标准	≤ 0.05	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 0.015	/	27 ~31	≥ 58	≤ 0.5	7 ~11

UNS N06900 镍基合金抽锭电渣重熔板坯表面质量良好，没有明显重皮、夹渣等缺陷。根据 GB/T 1979-2001 《结构钢低倍组织缺陷评级图》标准，对实施例板坯内部质量进行检测，



未发现疏松、偏析、白亮带、皮下气泡、残余缩孔、翻皮、白点、轴心晶间裂纹、内部气泡、非金属夹杂物及夹渣、异金属夹杂物等缺陷，钢锭内部质量良好。