



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 115747654 B

(45) 授权公告日 2024.07.09

(21) 申请号 202211478204.7 *G22C 38/04* (2006.01)

(22) 申请日 2022.11.23 *G22C 38/06* (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号 *G22C 38/26* (2006.01)

申请公布号 CN 115747654 A *G22C 38/28* (2006.01)

(43) 申请公布日 2023.03.07 *G21D 1/26* (2006.01)

(73) 专利权人 成都先进金属材料产业技术研究 *G21D 1/74* (2006.01)

院股份有限公司 *G21D 6/00* (2006.01)

地址 610306 四川省成都市中国(四川)自 *G21D 8/02* (2006.01)

由贸易试验区青白江区城厢镇香岛大 *G22C 33/04* (2006.01)

道1509号(铁路港大厦A区13楼A1301- *F01N 13/10* (2010.01)

1311、1319室) *F01N 13/16* (2010.01)

(72) 发明人 刘庭耀 程礼梅 冯远超

(74) 专利代理机构 大连东方专利代理有限责任 *(56) 对比文件*

公司 21212 CN 102459676 A, 2012.05.16

专利代理师 周媛媛 李馨 CN 105506489 A, 2016.04.20

CN 106164315 A, 2016.11.23

审查员 李娇

(51) Int. Cl.

G22C 38/02 (2006.01)

权利要求书1页 说明书6页

(54) 发明名称

器具如汽车排气的净化器,排气歧管,燃烧器等。

一种抗高温氧化铁素体不锈钢及其制造方法和应用

(57) 摘要

一种抗高温氧化铁素体不锈钢及其制造方法和应用,属于冶金技术领域。采用真空感应熔炼、真空感应熔炼+电渣重熔中的任一种冶炼工艺,其化学成分重量百分比为:C \leq 0.01%,Si:0.1~0.3%,Mn:0.1~0.5%,S \leq 0.007%,Cr:16~22%,Al:3~6%,Nb:0.1%~0.5%,Zr:0.01%~0.1%,N \leq 50ppm,[O_T] \leq 20ppm,Re:0.05~0.15%,Mo \leq 5%,Ta \leq 7%,W \leq 8%,余量为Fe和不可避免的杂质。工艺包括冶炼和铸造、开坯、钢材轧制和热处理。本发明提供的抗高温氧化铁素体不锈钢综合性能良好,综合耐高温氧化性能与20Cr-5Al铁素体不锈钢相当,但900℃材料高温强度提高30%以上,通过真空感应熔炼+电渣重熔方法冶炼可以将N,O,S控制在极低水平,保证材料高纯净度,本发明广泛应用于耐热

1. 一种抗高温氧化铁素体不锈钢,其特征在于,化学成分的重量百分比为: $C \leq 0.01\%$, $Si: 0.1 \sim 0.3\%$, $Mn: 0.1 \sim 0.5\%$, $S \leq 0.007\%$, $Nb: 0.1\% \sim 0.5\%$, $Zr: 0.01\% \sim 0.1\%$, $Cr: 16 \sim 22\%$, $Al: 3 \sim 6\%$, $N \leq 50\text{ppm}$, $[O_T] \leq 20\text{ppm}$, $Re: 0.05 \sim 0.15\%$, 余量为Fe和不可避免的杂质;

包括 $Mo \leq 5\%$, $Ta \leq 7\%$, $W \leq 8\%$, Mo, Ta, W 均不为0;

所述的抗高温氧化铁素体不锈钢的制造方法的具体步骤如下:

(1) 冶炼和铸造:采用真空感应熔炼、真空感应熔炼+电渣重熔中任一种冶炼工艺进行冶炼;

(2) 开坯:采用模铸锭或电渣锭中的一种为开坯原料,开坯采用锻造或者连铸连轧方式中的一种;

(3) 热轧:开坯料的加热温度 $1130 \sim 1170^\circ\text{C}$,保温时间 $25 \sim 40\text{min}$,轧制道次 ≥ 8 道,终轧温度控制在 $\geq 850^\circ\text{C}$,热轧后水冷,并在 $800 \sim 850^\circ\text{C}$ 退火,保温不低于2h,后水冷;

(4) 冷轧:先酸洗,后每个轧程的变形量控制在 $50\% \sim 80\%$,中间退火保温气氛为全氢,炉温 $810 \sim 830^\circ\text{C}$,时间 $\geq 2\text{h}$,得到成品抗高温氧化铁素体不锈钢;

所述冷轧前先酸洗,酸洗液为 $18 \sim 25\% \text{H}_2\text{SO}_4$ 和 $28 \sim 33\% \text{NaCl}$,其余为去离子水;酸洗温度为 $75 \sim 85^\circ\text{C}$,冷轧厚度低至 0.05mm ;

所述真空感应熔炼的真空度 $\leq 1\text{Pa}$,氧、氮含量 $< 15\text{ppm}$ 后添加Zr元素,并进行电磁搅拌,当成分均匀后加入Al,出钢前加入Re或者Re-Al合金中的一种,时间控制在 $\leq 1\text{min}$,出钢并浇注成铸锭,出钢温度在 $1575 \sim 1605^\circ\text{C}$;

电渣重熔工序中电渣重熔的渣料采用三元渣系,配比为 $\text{Al}_2\text{O}_3: 5\% \sim 25\%$, $\text{CaF}_2: 30\% \sim 60\%$, $\text{CaO}: 35 \sim 45\%$,并在电渣中添加Re元素,通电起弧后,电压 $37 \sim 41\text{V}$,电流 $8200 \sim 10000\text{A}$,水流量控制为 $600 \sim 800\text{L}/\text{min}$,熔速为 $5.5 \sim 7.5\text{kg}/\text{min}$;

所述步骤(2)中,采用锻造开坯时,装炉温度 $\leq 450^\circ\text{C}$,模铸锭或电渣锭的加热温度 $1140 \sim 1160^\circ\text{C}$,保温时间 $20 \sim 40\text{min}$,开锻温度 $1145 \sim 1155^\circ\text{C}$,终锻温度 $\geq 800^\circ\text{C}$,水冷;

所述不锈钢综合耐高温氧化性能与20Cr-5Al铁素体不锈钢相当,但在 900°C 时材料高温强度提高至少30%,所述 900°C 时抗高温氧化铁素体不锈钢的抗拉伸强度 $\geq 50\text{MPa}$ 。

2. 根据权利要求1所述的抗高温氧化铁素体不锈钢,其特征在于,所述步骤(1)中为采用真空感应熔炼+电渣重熔冶炼工艺进行冶炼。

3. 权利要求1-2任意一项所述的抗高温氧化铁素体不锈钢的应用,其特征在于,作为耐热器具应用于汽车排气的净化器,排气歧管,燃烧器。

一种抗高温氧化铁素体不锈钢及其制造方法和应用

技术领域

[0001] 本发明涉及冶金技术领域,尤其涉及一种抗高温氧化铁素体不锈钢及其制造方法和应用。

背景技术

[0002] 耐热钢是指具有抗氧化性、足够的高温强度和优良的高温耐热质量的钢的一种。耐热钢按其性能分为抗氧化钢和耐热钢。按其组织特征进一步分为奥氏体耐热钢、马氏体耐热钢、铁素体耐热钢和珠光体耐热钢。铁素体耐热钢有较多的铬、铝、硅等铁素体形成元素,有优良的抗氧化性和耐高温气体腐蚀的能力,其主要用于承受负荷较低而要求良好的高温抗氧化和抗腐蚀的部件。如汽车排气净化装置、散热器、燃烧室、喷嘴、退火箱、炉罩等。目前,针对排气净化装置用的铁素体耐热钢普遍采用高Al含量(3%以上),同时在含高Al不锈钢中添加La和Zr,进一步提高抗氧化性。与抗高温氧化铁素体有关的专有技术主要有以下几项:

[0003] (1)CN102392184A一种抗高温氧化铁素体耐热钢棒材及其制备方法

[0004] 一种抗高温氧化铁素体耐热钢棒材及其制备方法,属于耐热钢棒材技术领域。采用真空感应炉冶炼,化学成分组成重量百分比为:C:0.05~0.15%,Si:0.50~1.20%,Mn:0.30~1.10%, $P \leq 0.030\%$, $S \leq 0.020\%$,Cr:16.50~18.50%,Al:0.20~0.50%,(La+Ce):0.005~0.05%,其中氧含量不大于40ppm,余量为Fe和不可避免的杂质。工艺包括真空冶炼、锻造;在工艺中控制的技术参数为:钢锭开坯温度1155~1175℃,开锻温度1140~1160℃,终锻温度:880~920℃,锻后空冷。优点在于,夹杂物少、强度高、抗氧化性能好。

[0005] (2)CN101096741A一种含稀土抗高温氧化铁素体不锈钢及其制备方法

[0006] 本发明涉及一种不锈钢及其制备方法,特别涉及一种含稀土抗高温氧化铁素体不锈钢及其制备方法。解决现有铁素体不锈钢或是耐高温氧化性差、或是冶炼难度大成本高的技术问题。一种含稀土抗高温氧化铁素体不锈钢,其化学成分的重量百分比为:C 0.03~0.05%,Si 0.2~0.5%,Mn 0.4~0.6%,S 0.002~0.007%,P 0.01~0.03%,Cr 16~18%, $N \leq 0.03\%$, $[O_T] \leq 0.015\%$,RE 0.05~0.3%,余量为Fe。可用于制作耐热器具、燃烧器等抗高温氧化性能部件,也可开发应用于汽车排气的净化器,排气歧管,各种燃烧机器的间歇式加热的耐热部件等。

[0007] 与其他公开报道不同,本发明通过添加Mo、Ta、W等元素对材料进行固溶强化,同时采用真空感应熔炼+电渣重熔进行冶炼,并采用热轧+冷轧方式制备成钢带,采用该工艺制得的抗高温氧化铁素体不锈钢箔带,组织致密、无缺陷、成分均匀,高温抗氧化性能佳,无其他缺陷,耐蚀性优良。属于炼钢技术领域。

发明内容

[0008] 本发明的目的是提供一种抗高温氧化铁素体不锈钢高温强度能优于18Cr-Al及20Cr-5Al钢的铁素体不锈钢,其主要用于汽车排气的净化器、热交换器、燃烧器等。相对于

仅含Re、Zr和Al等合金的耐热铁素体不锈钢,在保留其抗高温氧化优异特性下,其耐高温强度得到明显提高。

[0009] 本发明提供一种抗高温氧化铁素体不锈钢,其化学成分的重量百分比为:C \leq 0.01%,Si:0.1~0.3%,Mn:0.1~0.5%,S \leq 0.007%,Nb:0.1%~0.5%,Zr:0.01%~0.1%,Cr:16~22%,Al:3~6%,N \leq 50ppm,[O_T] \leq 20ppm,Re:0.05~0.15%,余量为Fe和不可避免的杂质。

[0010] 进一步地,在上述技术方案中,所述抗高温氧化铁素体不锈钢包括Mo \leq 5%,Ta \leq 7%,W \leq 8%中的至少一种。

[0011] 进一步地,在上述技术方案中,所述不锈钢综合耐高温氧化性能与20Cr-5Al铁素体不锈钢相当,但在900℃时材料高温强度提高30%以上,所述900℃时抗高温氧化铁素体不锈钢的抗拉伸强度 \geq 50Mpa。

[0012] 本发明又提供一种抗高温氧化铁素体不锈钢制造方法,包括步骤如下:

[0013] (1) 冶炼和铸造:采用真空感应熔炼、真空感应熔炼+电渣重熔中任一种冶炼工艺进行冶炼;

[0014] (2) 开坯:采用模铸锭或电渣锭中的一种为开坯原料,开坯可采用锻造或者连铸连轧方式中的一种;

[0015] (3) 热轧:开坯料的加热温度1130~1170℃,保温时间25~40min,轧制道次 \geq 8道,终轧温度控制在 \geq 850℃,热轧后水冷,并在800~850℃退火,保温不低于2h,后水冷;

[0016] (4) 冷轧:先酸洗,后每个轧程的变形量控制在50%~80%,中间退火保温气氛为全氢,炉温810~830℃,时间 \geq 2h,得到所述成品抗高温氧化铁素体不锈钢。

[0017] 进一步地,在上述技术方案中,所述步骤(1)中为采用真空感应熔炼+电渣重熔冶炼工艺进行冶炼。

[0018] 进一步地,在上述技术方案中,所述真空感应熔炼的真空度 \leq 1pa,氧、氮含量 $<$ 15ppm后添加Zr元素,并进行电磁搅拌,当成分均匀后加入Al,出钢前加入Re或者是Re-Al合金中的一种,时间控制在 \leq 1min,出钢并浇注成铸锭,出钢温度在1575~1605℃,浇注成锭。

[0019] 进一步地,在上述技术方案中,所述电渣重熔工序为电渣重熔的渣料采用三元渣系,配比为Al₂O₃:5%~25%、CaF₂:30%~60%,CaO:35~45%,并在电渣中添加Re元素,通电起弧后,电压37~41V,电流8200~10000A,水流量控制为600~800L/min,熔速为5.5~7.5Kg/min。

[0020] 进一步地,在上述技术方案中,所述步骤(2)中,采用锻造开坯时,装炉温度 \leq 450℃,模铸锭或电渣锭的加热温度1140~1160℃,保温时间20~40min,开锻温度1145~1155℃,终锻温度 \geq 800℃,水冷。

[0021] 进一步地,在上述技术方案中,所述冷轧前先酸洗,酸洗液配比为18~25% H₂SO₄和28~33% NaCl,其余为去离子水;酸洗温度为75~85℃,冷轧厚度低至0.05mm。

[0022] 本发明又提供一种抗高温氧化铁素体不锈钢的应用,所述铁素体不锈钢作为耐热器具包括但不限于应用在汽车排气的净化器,排气歧管,燃烧器。

[0023] 在本发明抗高温氧化的铁素体耐热不锈钢的成分设计中:

[0024] Cr是使铁素体不锈钢具有铁素体组织并具有良好的耐腐蚀性的合金元素,Cr能使不锈钢的表面上迅速生成氧化铬(Cr₂O₃)的钝化膜。

[0025] Al是提高合金的抗氧化性能的关键元素,其在高温时表面上形成致密的 Al_2O_3 氧化膜,可减少合金的氧化。

[0026] Re可改变氧化膜的成分、组织结构,提高了氧化膜的强度和塑性,其分布在 Al_2O_3 膜的晶界上,可阻碍合金基体内Al向表面的扩散和外部气氛中氧沿氧化膜晶界向合金基体内部的扩散。

[0027] Zr的加入提高氧化层的粘结性,令氧化铁皮不容易剥落。

[0028] Mo、Ta、W加入主要产生固溶强化,令铁素体高温强度得以升高,本专利中,根据使用情况及成本可将这三种材料可以相互配合加入,亦可以单独加入。

[0029] C、P和S需严格控制,避免导致材料耐蚀性和抗氧化性损失。

[0030] N和 $[O_T]$ 需保持较低水平,防止材料夹杂物产生,避免轧制过程中造成质量缺陷。

[0031] 一种抗高温氧化铁素体不锈钢的具体制备方法,包括如下工艺步骤:冶炼和铸造、铸锭或铸坯开坯、钢材轧制和热处理。具体步骤如下:

[0032] (1) 冶炼和铸造

[0033] 本发明的抗高温氧化铁素体不锈钢可在VIM、VIM+ESR中任一种冶炼工艺进行冶炼。

[0034] VIM:将纯Fe、电解Cr和其他纯净金属除Al、Re、Zr等元素按成分配比装入坩埚,放入真空感应炉后抽真空,真空度需低于1pa,随后通电进行熔化,当原料熔清后测量熔液氧氮含量,当氧氮含量皆低于15ppm后添加Zr元素,并进行电磁搅拌,当成分均匀后加入Al,出钢前加入Re或者是Re-Al合金,时间控制在 $\leq 1\text{min}$,熔炼成分测量合格后即可出钢并浇注成铸锭,出钢温度控制在 $1590 \pm 15^\circ\text{C}$,浇注成锭,如要进行ESR工艺则需要打磨成电极棒。

[0035] ESR:电渣重熔的渣料采用三元渣系,具体配比为 $Al_2O_3:5\% \sim 15\%$, $CaF_2:30\% \sim 60\%$, $CaO:35 \sim 45\%$,并在电渣中适量添加Re元素防止系统烧损,用石墨电极通电后将渣料进行熔化后,切换电渣重熔所需电极棒,通电起弧后,电压调整至 $37 \sim 41\text{V}$,电流 $8200 \sim 10000\text{A}$,水流量控制为 $600 \sim 800\text{L/min}$,熔速为 $5.5 \sim 7.5\text{Kg/min}$,当电极熔化形成熔滴穿过渣层并与其发生反应,将电极棒内多余有害杂质去除,最终熔滴在结晶器冷却作用下结晶凝固,脱模后得到质量合格的电渣锭。

[0036] (2) 铸锭或电渣锭开坯

[0037] 铸锭或电渣锭可采用锻造开坯或连铸连轧,采用锻造开坯时,装炉温度 $\leq 450^\circ\text{C}$,铸锭或电渣锭的加热温度 $1150^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$,保温时间 $20 \sim 40\text{min}$,开锻温度 $1150^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$,终锻温度不低 800°C ,水冷。

[0038] (3) 热轧

[0039] 铸锭或电渣锭开坯后根据用户要求的钢材规格(最薄可轧制1mm),进行铁素体热轧,开坯料的加热温度 $1150 \pm 20^\circ\text{C}$,保温时间 $25 \sim 40\text{min}$,轧制道次不低于8道,最大变形量不高于 30% ,终轧温度控制在 $\geq 850^\circ\text{C}$,热轧后水冷,并在 $800 \sim 850^\circ\text{C}$ 退火,保温不低于2h,后水冷。

[0040] (4) 冷轧

[0041] 冷轧前现酸洗,酸洗液配比: $18 \sim 25\% H_2SO_4$ 和 $28 \sim 33\% NaCl$,其余为去离子水,酸洗温度为 $75 \sim 85^\circ\text{C}$,冷轧厚度低至 0.05mm ,每个轧程的变形量控制在 $50 \sim 80\%$,中间退火保温气氛为全氢,炉温 $820^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$,保温时间大于等于2h。

[0042] 本发明的有益效果是：

[0043] 1、本发明抗高温氧化铁素体不锈钢综合性能良好，工艺可行，综合耐高温氧化性能与20Cr-5Al铁素体不锈钢相当，但900℃材料高温强度提高30%以上。

[0044] 2、通过真空感应熔炼+电渣重熔方法冶炼可以将N, O, S控制在极低水平，保证材料高纯净度，氧含量可下降至20ppm以下，夹杂物A类夹杂0级，B类0级，C类、D类细纲夹杂0级，达到纯净钢的水平。

[0045] 3、本发明可广泛应用于耐热器具如汽车排气的净化器，排气歧管，燃烧器等。

具体实施方式

[0046] 下面结合实施例对本发明进一步说明。

[0047] 本发明冶炼了三炉新型抗高温氧化铁素体不锈钢的实施例的和具体成分及对比例1为材料20Cr-5Al铁素体不锈钢的具体成分如表1所示，其余量为Fe和不可避免的杂质。

[0048] 三炉新型抗高温氧化铁素体不锈钢具体流程为：

[0049] (1) 冶炼和铸造

[0050] 选用精料，采用真空感应熔炼+电渣重熔方式冶炼，将纯Fe、电解Cr和其他纯净金属除Al、Re、Zr等元素按成分配比装入坩埚，放入真空感应炉后抽真空，真空度需低于1pa，随后通电进行熔化，当原料熔清后测量熔液氧氮含量，当氧氮含量皆低于15ppm后添加Zr元素，并进行电磁搅拌，当成分均匀后加入Al，出钢前加入Re或者是Re-Al合金，时间控制在≤1min，熔炼成分测量合格后即可出钢并浇注成铸锭，出钢温度控制在1590℃，浇注成锭，如要进行电渣重熔工艺则需要打磨成电极棒。

[0051] 电渣重熔的渣料采用三元渣系，具体配比为 $Al_2O_3:20\%$ ， $CaF_2:45\%$ ， $CaO:35\%$ ，并在电渣中适量添加Re元素防止系统烧损，用石墨电极通电后将渣料进行熔化后，切换电渣重熔所需电极棒，通电起弧后，电压调整至37~41V，电流8200~10000A，水流量控制为600~800L/min，熔速为5.5~7.5Kg/min，当电极熔化形成熔滴穿过渣层并与其发生反应，将电极棒内多余有害杂质去除，最终熔滴在结晶器冷却作用下结晶凝固，脱模后得到质量合格的电渣锭。

[0052] (2) 铸锭或电渣锭开坯

[0053] 铸锭或电渣锭可采用锻造开坯或连铸连轧，采用锻造开坯时，装炉温度≤450℃，铸锭或电渣锭的加热温度 $1150\pm 10\text{℃}$ ，保温时间20~40min，开锻温度 $1150\pm 5\text{℃}$ ，终锻温度850~900℃，开坯后材料厚度为95mm，水冷。

[0054] (3) 热轧

[0055] 开坯料的加热温度 1150℃ ，轧制道次为12道，最大变形量不高于30%，热轧到1.5mm厚度，终轧温度≥850℃，热轧后水冷，并在800~820℃退火，保温2h，后水冷。

[0056] (4) 冷轧

[0057] 冷轧前先酸洗，酸洗液配比：25% H_2SO_4 、30%NaCl和45%的去离子水，酸洗温度为80℃。酸洗后在二十辊森吉米尔轧机上进行，全油润滑，配合适当的前后张力，分三个轧程轧制，每个轧程的变形量控在60~70%，最终冷轧至0.3mm薄带。中间退火保温气氛为全氢，炉温820℃，保温时间≥2h。

[0058] 本发明实施例1~3和对比例1采用上述步骤制备，具体工艺参数见表2。冷轧后薄

带用于成分分析、夹杂物评级、高温力学检测和抗氧化性能测试。本发明实施例1~3与对比例1材料抗氧化性能和高温强度性能见表3和表4,退火后本发明铁素体的综合耐高温氧化性能与对比例120Cr-5Al铁素体不锈钢相当,但900℃材料高温强度得到明显提高。

[0059] 表1本发明实施例化学成分及对比例材料成分(Wt%) (其余成分为Fe及不可避免杂质)

| | C | Si | Mn | Al | Cr | Mo | Nb | Ta | W | Re | Zr | O _T (ppm) | N(p pm) | S |
|-------------|-------|------|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|------|------|-------------------------|------------|--------|
| 对比例1 | 0.005 | 0.11 | 0.15 | 5.5 | 20.2 | - | - | - | - | 0.08 | 0.04 | 30 | 50 | 0.002 |
| [0060] 实施例1 | 0.005 | 0.10 | 0.13 | 5.3 | 19.7 | 3.1 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.06 | 0.03 | 10 | 15 | 0.0006 |
| 实施例2 | 0.006 | 0.13 | 0.13 | 5.2 | 19.6 | 0.2 | 0.3 | 5.2 | 0.1 | 0.09 | 0.03 | 11 | 17 | 0.0006 |
| 实施例3 | 0.005 | 0.11 | 0.14 | 5.4 | 19.8 | 0.3 | 0.2 | 0.1 | 5.5 | 0.08 | 0.05 | 11 | 20 | 0.0006 |

[0061] 表2制造工艺中工艺控制参数

| | 开坯温度(°C) | 终锻温度(°C) | 终轧温度(°C) | 退火温度(°C) |
|------|----------|----------|----------|----------|
| 对比例1 | 1150 | 861 | 873 | 810 |
| 实施例1 | 1150 | 853 | 871 | 810 |
| 实施例2 | 1150 | 864 | 877 | 810 |
| 实施例3 | 1150 | 855 | 873 | 810 |

[0063] 本发明中实施例1、2、3和对比例1的各种类夹杂物级别如表3所示,本发明中,由于本发明钢中氧含量较低,钢中非金属夹杂物尤其是氧化物级别低于对比例1 20Cr-5Al,表明本发明钢具有较高的纯净度,夹杂物水平较低。

[0064] 表3本发明实施例及对比例夹杂物级别

| | A (硫化物类) | | B (氧化铝类) | | C (硅酸盐类) | | D (球状氧化物类) | |
|-------------|----------|---|----------|-----|----------|-----|------------|-----|
| | 细 | 粗 | 细 | 粗 | 细 | 粗 | 细 | 粗 |
| 对比例1 | 1 | 2 | 1 | 1.5 | 1 | 1 | 2 | 1.5 |
| [0065] 实施例1 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 0.5 | 0 | 0.5 |
| 实施例2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 0.5 |
| 实施例3 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 1 | 0 | 1 |

[0066] 本发明成品的抗氧化性能实验按照GB13303进行,试样大小为60mm×30mm矩形试样,在炉子的气氛中分别保温100h、200h、300h、400h,保温结束后,自然冷却至室温称重,

得到样品重量。其在900°C条件下不同保温时间的样品增重如表4所示。

[0067] 从表4可以看出实施例1~实施例3相比于对比例1添加元素并未影响其抗氧化性能,在400h后与对比例增重结果来看,增重并未发生异常。

[0068] 表4本发明实施例及对比高温氧化增重(900°C)

| [0069] | 100h | 200h | 300h | 400h |
|--------|-------|-------|-------|-------|
| 对比例1 | 4.1mg | 3.3mg | 3.0mg | 2.5mg |
| 实施例1 | 3.9mg | 3.1mg | 2.9mg | 2.4mg |
| 实施例2 | 3.8mg | 3.0mg | 2.8mg | 2.4mg |
| 实施例3 | 4.0mg | 3.2mg | 2.9mg | 2.3mg |

[0070] 对最终热处理后的样板进行取样及高温力学性能的测试。如表5为实施例1、2、3和对比例1在测试温度为900°C下的高温强度数据。测试仪器为UTM5105X电子万能试验机,测试标准为GB-T 4338-2006。

[0071] 本发明的成品抗高温氧化的铁素体耐热不锈钢在900°C时的高温抗拉强度优于对比例1材料20Cr-5Al,并且本发明的抗拉强度最高可达61MPa。

[0072] 表5本发明实施例及对比例高温力学性能(900°C)

| [0073] | 抗拉强度/Mpa |
|--------|----------|
| 对比例1 | 38 |
| 实施例1 | 61 |
| 实施例2 | 56 |
| 实施例3 | 51 |

[0074] 以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非限制。尽管参照较佳实施例对本发明进行了详细说明,本领域的普通技术人员应当理解,可以对发明的技术方案进行修改或者等同替换,而不脱离本发明的精神和技术方案的范围,其均应涵盖在本发明的权利要求范围中。