



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108546878 A

(43)申请公布日 2018.09.18

(21)申请号 201810446691.6 *G22C 38/46*(2006.01)

(22)申请日 2018.05.11 *G22C 38/06*(2006.01)

(71)申请人 鞍钢股份有限公司 *G22C 33/04*(2006.01)

地址 114000 辽宁省鞍山市铁西区环钢路1 *G21D 8/02*(2006.01)

号 *G21D 1/18*(2006.01)

(72)发明人 王爽 胡海洋 颜秉宇 孙殿东
段江涛 李黎明 王勇 李叶忠
隋松言 欧阳鑫

(74)专利代理机构 鞍山嘉讯科技专利事务所
21224

代理人 张群

(51)Int.Cl.

G22C 38/02(2006.01)

G22C 38/04(2006.01)

G22C 38/44(2006.01)

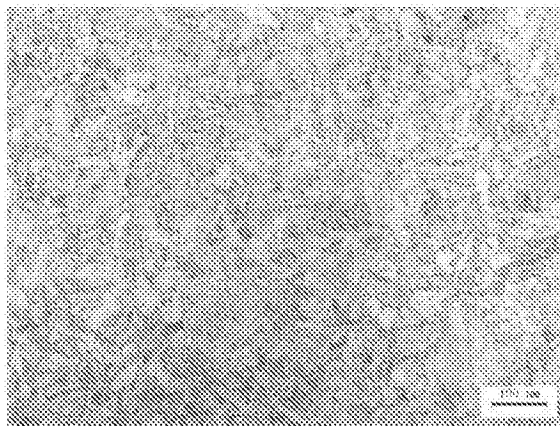
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54)发明名称

一种厚规格核电蒸汽发生器支承用钢及生
产方法

(57)摘要

本发明涉及一种厚规格核电蒸汽发生器支
承用钢及生产方法,按重量百分比包含如下化学
成分:C 0.14%~0.20%,Si 0.25%~0.40%,
Mn 0.30%~0.40%, $P \leq 0.008\%$, $S \leq 0.002\%$,
Mo 0.30%~0.60%,Ni 1.20%~2.00%,Cr
0.80%~1.50%,V 0.01%~0.03%,Al 0.015%
~0.030%,其余为Fe和不可避免的杂质。优点是:
本发明钢种经调质后,具有较高的强度水平;
本发明钢种在调质状态下的系列温度冲击吸收
能量和断面纤维率同样保持在较高的水平。



1. 一种厚规格核电蒸汽发生器支承用钢,其特征就在于,按重量百分比包含如下化学成分:

C 0.14%~0.20%,Si 0.25%~0.40%,Mn 0.30%~0.40%, $P \leq 0.008\%$, $S \leq 0.002\%$,Mo 0.30%~0.60%,Ni 1.20%~2.00%,Cr 0.80%~1.50%,V 0.01%~0.03%,Al 0.015%~0.030%,其余为Fe和不可避免的杂质。

2. 一种根据权利要求1所述的厚规格核电蒸汽发生器支承用钢的生产方法,其特征就在于,包括以下步骤:

1) 冶炼:

厚度80-120mm的钢板,采用转炉连铸:选用低P、低S铁水,铁水中 $P \leq 0.07\%$ $S \leq 0.03\%$;LF炉造白渣精炼钢液,确保钢中 $[S] \leq 0.003\%$;采用VD炉进行真空处理,钢中气体含量按 $[H] \leq 2.0\text{ppm}$ 、 $[O] \leq 20\text{ppm}$ 、 $[N] \leq 50\text{ppm}$ 控制;

厚度120-150mm的钢板,不包括厚度120mm的钢板,采用电炉模铸:铁水深脱硫处理,电弧炉冶炼,温度在 $1650 \pm 10^\circ\text{C}$ 出钢,然后进行LF精炼炉精炼,温度在 $1640 \pm 10^\circ\text{C}$ 时,进行VD真空处理,真空度 $\leq 67\text{Pa}$,真空保持时间 $\geq 20\text{min}$,温度在 $1570 \pm 10^\circ\text{C}$ 时出钢,浇注温度 $1540 \pm 10^\circ\text{C}$;

2) 锻造:

厚度80~120mm的钢板采用连铸坯锻造,连铸坯保温温度: 1200°C - 1250°C ,保温时间: $\geq 24\text{h}$;

厚度120-150mm的钢板,不包括厚度120mm的钢板,直接进行轧制;

3) 轧制:

钢锭加热温度 1150°C ~ 1350°C ,保温时间 $> 2\text{h}$;开轧温度 $\geq 1100^\circ\text{C}$,终轧温度 $\geq 900^\circ\text{C}$,轧后自然堆垛缓冷;

4) 调质处理:

淬火温度控制在 $850^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$,保温时间 $2\text{min}/\text{mm}$ - $4\text{min}/\text{mm}$,钢板在入水前保持淬火机组水温 $\leq 25^\circ\text{C}$;回火温度 $640^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$,保温时间 $3\text{min}/\text{mm}$ - $7\text{min}/\text{mm}$ 。

一种厚规格核电蒸汽发生器支承用钢及生产方法

技术领域

[0001] 本发明属于钢板生产技术领域,尤其涉及一种厚规格核电蒸汽发生器支承用钢及生产方法。

背景技术

[0002] 核电是高效、低碳、清洁的优质能源,是战略性的高技术产业。核电也是调整能源结构、保证能源供给、应对气候变化的主要措施。经过30年的发展,中国核电发展取得较大成绩。中国核电运行的规模不断扩大,现有36台运行核电机组、20台在建核电机组,在建核电机组数量世界第一。

[0003] 核电蒸汽发生器是核电站最为关键的主要设备之一,蒸汽发生器与反应堆压力容器相连,不仅直接影响电站的功率与效率,而且在进行热量交换时,还起到阻隔放射性载热剂的作用,对核电站安全至关重要。由于核电设备长年在高温、高压、中子辐射等恶劣环境中服役,因此要求钢板具有抗辐射能力强、韧性较高、脆性转变温度低、强度适宜的综合性要求。限于钢板单重及压缩比要求,国内外核岛设备压力容器支承用钢的制造方法均采用电炉模铸的生产方式,将钢水先浇铸成钢锭,钢锭再进行开坯轧制,但利用模铸生产的成本较高、生产周期较长。

[0004] 核电蒸汽发生器支承用钢主要采用80~150mm厚规格钢板,国内外对核电用钢已形成较多专利技术,如:

[0005] 申请号为200810033762.6,公开了一种压力容器用厚钢板、其制造方法及应用,该发明采用钢坯加热、轧制、淬火+高温回火热处理工艺,制得的钢板屈服强度 $\geq 485\text{MPa}$,抗拉强度620~795MPa, -20°C 冲击功 $\geq 100\text{J}$ 。上述专利采用连铸坯加热直接轧制,实施例中最大厚度为100mm,没有更厚的钢板规格记载,不能够完全满足压力容器制造压缩比 ≥ 3 的要求。

[0006] 申请号为201210064306.4,公开了一种核电压力容器用钢及其制造方法,钢板厚度在2.5~16mm,具有晶粒细小的铁素体+珠光体组织,屈服强度大于265MPa,抗拉强度处于410~590MPa,延伸率超过22%,并拥有优良低温(-20°C)冲击韧性和 300°C 瞬时拉伸性能及模拟焊后热处理后稳定的机械性能。但从该发明的实施例中看出适用钢板的强度偏低,且厚度上限为16mm,更厚的钢板没有记载。

[0007] 申请号为201210528862.2,公开了一种锻轧结合的钢材生产工艺,其工艺流程为:钢锭或连铸坯加热→锻造→再加热→轧制→切头尾和分段→冷却→精整→检验→标记→包装称重→入库;钢锭或连铸坯加热工序:加热温度为 1150°C ,终锻温度 1000°C ;轧制工序:采用两辊可逆轧机得到所需的形状和尺寸。但该发明只提及了锻轧结合的生产方法工艺,没有涉及到钢锭锻后的轧制工艺和生产出的钢板的性能是否能够满足要求。

发明内容

[0008] 为克服现有技术的不足,本发明的目的是提供一种厚规格核电蒸汽发生器支承用钢及生产方法,采用连铸坯锻轧工艺,解决压缩比的问题,降低生产成本;优化的热处理工

艺使钢板在调质热处理状态及200℃高温状态的力学性能均保持较高水平,得到良好的强度和韧性匹配,完全能够满足核电站压力容器支承用钢的要求。

[0009] 为实现上述目的,本发明通过以下技术方案实现:

[0010] 一种厚规格核电蒸汽发生器支承用钢,按重量百分比包含如下化学成分:

[0011] C 0.14%~0.20%,Si 0.25%~0.40%,Mn 0.30%~0.40%, $P \leq 0.008\%$, $S \leq 0.002\%$,Mo 0.30%~0.60%,Ni 1.20%~2.00%,Cr 0.80%~1.50%,V 0.01%~0.03%,Al 0.015%~0.030%,其余为Fe和不可避免的杂质。

[0012] 采用上述成分设计理由如下:

[0013] C:是提高钢的强度最有效的元素,可以有效地提高淬透性,C含量偏低,难以获得淬火所需的马氏体组织,强度可能满足不了要求,C含量过高,钢的韧塑性会变差,而且钢的焊接热影响区还会出现淬硬现象,导致焊接冷裂纹的产生,因此本发明要求C含量为0.14~0.20%。

[0014] Si:是钢中强化元素之一,在镇静钢中具有一定含量可以起到脱氧作用,但Si含量过高会损害钢板的冲击韧性,出现脆性,也会恶化焊接性,因此本发明要求Si含量为0.25~0.40%。

[0015] Mn:是钢中重要的合金化元素,起到固溶强化作用,能有效提高钢板的强度和硬度,提高钢板的淬透性,而且成本低廉,Mn含量在一定范围内增加钢强度的同时几乎不降低钢的塑性和韧性,但Mn含量过高会恶化钢的焊接型和热影响区韧性,因此本发明要求钢中Mn含量控制在0.30~0.40%。

[0016] P和S:是钢中有害元素,P会降低钢的冲击韧性,S形成的硫化物夹杂对钢的塑性和韧性很不利,因此,需要它们的含量越低越好。本发明设计P含量为 $\leq 0.008\%$,S含量为 $\leq 0.002\%$ 。

[0017] Mo:能大大提高钢的淬透性,使厚板淬火时钢板心部在冷速相对较慢的情况下也能淬透,还能起到析出强化的作用,与Cr、Mn共同作用减少或抑制回火脆性,因此本发明将Mo的重量控制在0.30~0.60%。

[0018] Ni:在钢种不形成碳化物,主要通过固溶起到强化作用,能够明显改善钢的低温韧性,降低钢的韧脆转变温度,使钢板在具有足够强度的同时还会具有较高的韧性,满足指标的要求,本发明要求钢中Ni含量控制为1.20~2.00%。

[0019] Cr:是提高钢的淬透性的元素,可以提高钢的强度和硬度,在低碳合金钢中,能够提高碳化物的热力学稳定性。但Cr还会显著提高钢的脆性转变温度,促进回火脆性,因此本发明要求钢中Cr含量控制为0.80~1.50%。

[0020] V:钒与碳、氮都有很强的结合力,在钢种易形成细小的颗粒碳化物和氮化物,起到细化晶粒、提高晶粒粗化温度的作用,而且可以通过沉淀析出和细化晶粒起到显著的强化效果。因此钢中加入V的范围为0.01~0.03%。

[0021] Al:是钢中的主要脱氧元素还有利于细化晶粒,但是Al含量过高,不仅作用效果不明显,而且还会增加成本,此外还会容易导致钢中夹杂物增多,对钢的韧性不利。因此本发明要求钢中Al含量控制为0.015~0.030%。

[0022] 一种厚规格核电蒸汽发生器支承用钢的生产方法,包括以下步骤:

[0023] 1) 冶炼:

[0024] 厚度80-120mm的钢板,采用转炉连铸:选用低P、低S铁水,铁水中 $P \leq 0.07\%$ 、 $S \leq 0.03\%$;LF炉造白渣精炼钢液,确保钢中 $[S] \leq 0.003\%$;采用VD炉进行真空处理,钢中气体含量按 $[H] \leq 2.0\text{ppm}$ 、 $[O] \leq 20\text{ppm}$ 、 $[N] \leq 50\text{ppm}$ 控制;

[0025] 厚度120-150mm的钢板,不包括厚度120mm的钢板,采用电炉模铸:铁水深脱硫处理,电弧炉冶炼,温度在 $1650 \pm 10^\circ\text{C}$ 出钢,然后进行LF精炼炉精炼,温度在 $1640 \pm 10^\circ\text{C}$ 时,进行VD真空处理,真空度 $\leq 67\text{Pa}$,真空保持时间 $\geq 20\text{min}$,温度在 $1570 \pm 10^\circ\text{C}$ 时出钢,浇注温度 $1540 \pm 10^\circ\text{C}$;

[0026] 2) 锻造:

[0027] 厚度80~120mm的钢板采用连铸坯锻造,连铸坯保温温度: 1200°C - 1250°C ,保温时间: $\geq 24\text{h}$;

[0028] 厚度120-150mm的钢板,不包括厚度120mm的钢板,直接进行轧制;

[0029] 3) 轧制:

[0030] 钢锭加热温度 1150°C ~ 1350°C ,保温时间 $> 2\text{h}$;开轧温度 $\geq 1100^\circ\text{C}$,终轧温度 $\geq 900^\circ\text{C}$,轧后自然堆垛缓冷;

[0031] 4) 调质处理:

[0032] 淬火温度控制在 $850^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$,保温时间 $2\text{min}/\text{mm}$ - $4\text{min}/\text{mm}$,钢板在入水前保持淬火机组水温 $\leq 25^\circ\text{C}$;回火温度 $640^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$,保温时间 $3\text{min}/\text{mm}$ - $7\text{min}/\text{mm}$ 。

[0033] 随着回火的充分,合金元素在渗碳体和 α 相之间重新分配,碳化物形成元素不断向渗碳体中扩散,而非碳化物形成元素逐渐向 α 相中富集,从而发生由更稳定的碳化物逐渐替代原先不稳定的碳化物,使得钢板具有良好的回火稳定性。

[0034] 与现有技术相比,本发明的有益效果是:

[0035] 厚规格核电蒸汽发生器支承用钢及生产方法,生产的钢板厚度为80~150mm,有益效果如下:

[0036] (1) 本发明的钢板80~150mm厚规格采用连铸坯生产,替代了国内特厚压力容器支承用钢的模铸生产模式,大幅降低了生产成本,锻轧工艺生产使连铸坯的心部裂纹在高温锻造过程有效的焊合,并且对心部偏析和夹杂物级别的降低都有一定的改善。

[0037] (2) 本发明钢种经调质后,具有较高的强度水平。120mm厚规格钢板经调质处理后屈服强度和抗拉强度分别为739MPa和850MPa;(指标要求屈服强度 $\geq 600\text{MPa}$ 、抗拉强度750~900MPa), 200°C 高温拉伸的屈服强度和抗拉强度分别为718MPa和792MPa(指标要求屈服强度 $\geq 554\text{MPa}$ 、抗拉强度 $\geq 682\text{MPa}$)从结果来看,钢板强度完全可以满足指标要求,且具有较大富余量,较其他钢种有了较大地改进。

[0038] (3) 本发明钢种在调质状态下的系列温度冲击吸收能量和断面纤维率同样保持在较高的水平。120mm钢板经调质处理后的 0°C 冲击吸收能量为100J以上,断面纤维率可达到100%。不仅满足指标的要求,而且具有较大的余量。

[0039] (4) 本发明通过选用低P、低S铁水,且要进行铁水深脱硫处理,脱硫渣扒净,全铁冶炼,转炉冶炼、炉外精炼、真空处理和连铸工艺进行生产,所以保证了钢水的洁净度较高,锻造过程也能对钢板中夹杂达到一定破碎作用,使钢中夹杂物达到:A类 ≤ 0.5 级、B类 ≤ 0.5 级、C类 ≤ 0.5 级、D类 ≤ 0.5 级。

附图说明

[0040] 图1是实施例的金相组织图(回火贝氏体)。

具体实施方式

[0041] 下面结合说明书附图对本发明进行详细地描述,但是应该指出本发明的实施不限于以下的实施方式。

[0042] 厚规格核电蒸汽发生器支承用钢,按重量百分比包含如下化学成分:

[0043] C 0.14%~0.20%,Si 0.25%~0.40%,Mn 0.30%~0.40%, $P \leq 0.008\%$, $S \leq 0.002\%$,Mo 0.30%~0.60%,Ni 1.20%~2.00%,Cr 0.80%~1.50%,V 0.01%~0.03%,Al 0.015%~0.030%,其余为Fe和不可避免的杂质。

[0044] 厚规格核电蒸汽发生器支承用钢的生产方法,包括以下步骤:

[0045] 1) 冶炼:

[0046] 厚度80-120mm的钢板,采用转炉连铸:选用低P、低S铁水,铁水中 $P \leq 0.07\%$ $S \leq 0.03\%$;LF炉造白渣精炼钢液,确保钢中 $[S] \leq 0.003\%$;采用VD炉进行真空处理,钢中气体含量按 $[H] \leq 2.0\text{ppm}$ 、 $[O] \leq 20\text{ppm}$ 、 $[N] \leq 50\text{ppm}$ 控制;

[0047] 厚度120-150mm的钢板,不包括厚度120mm的钢板,采用电炉模铸:铁水深脱硫处理,电弧炉冶炼,温度在 $1650 \pm 10^\circ\text{C}$ 出钢,然后进行LF精炼炉精炼,温度在 $1640 \pm 10^\circ\text{C}$ 时,进行VD真空处理,真空度 $\leq 67\text{Pa}$,真空保持时间 $\geq 20\text{min}$,温度在 $1570 \pm 10^\circ\text{C}$ 时出钢,浇注温度 $1540 \pm 10^\circ\text{C}$;

[0048] 2) 锻造:

[0049] 厚度80~120mm的钢板采用连铸坯锻造,连铸坯保温温度: 1200°C - 1250°C ,保温时间: $\geq 24\text{h}$;

[0050] 厚度120-150mm的钢板,不包括厚度120mm的钢板,直接进行轧制;

[0051] 3) 轧制:

[0052] 钢锭加热温度 1150°C ~ 1350°C ,保温时间 $> 2\text{h}$;开轧温度 $\geq 1100^\circ\text{C}$,终轧温度 $\geq 900^\circ\text{C}$,轧后自然堆垛缓冷;

[0053] 4) 调质处理:

[0054] 淬火温度控制在 $850^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$,保温时间 $2\text{min}/\text{mm}$ - $4\text{min}/\text{mm}$,钢板在入水前保持淬火机组水温 $\leq 25^\circ\text{C}$;回火温度 $640^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$,保温时间 $3\text{min}/\text{mm}$ - $7\text{min}/\text{mm}$ 。

[0055] 见图1,厚规格核电蒸汽发生器支承用钢的生产方法,具体实施方式如下:

[0056] 各实施例化学成分如表1所示。

[0057] 表1各实施例钢冶炼化学成分(%)

[0058]

实施例	C	Si	Mn	P	S	Mo	Ni	Cr	V	Al
1	0.15	0.25	0.30	0.006	0.001	0.30	1.20	0.80	0.010	0.015
2	0.16	0.28	0.32	0.008	0.0007	0.35	1.45	1.00	0.015	0.018
3	0.18	0.30	0.35	0.005	0.0009	0.45	1.65	1.20	0.020	0.020
4	0.20	0.35	0.38	0.007	0.001	0.50	1.80	1.40	0.025	0.025

5	0.20	0.40	0.40	0.005	0.0009	0.60	2.00	1.50	0.030	0.030
---	------	------	------	-------	--------	------	------	------	-------	-------

[0059] 本实施例的生产方法,钢水经转炉冶炼、炉外精炼、真空处理,浇铸成连铸坯,连铸坯规格均为300mm×1680mm×L,连铸坯锻造成锻造坯,锻造工艺见表2,轧制成品钢板规格为80~120mm。钢水经电弧炉冶炼、炉外精炼处理,浇铸成钢锭,轧制成品钢板规格为>120~150mm。轧制及热处理工艺、力学性能结果如表3、表4和表5所示。

[0060] 表2锻造工艺

[0061]

锻造方式	纵锻/mm	315×1600×L	325×1550×L	340×1550×L
	横锻/mm	300×1600×L		
连铸坯加热温度/℃		保温时间/h		锻造比/%
1200		≥24		≥1.05

[0062] 表3轧制及热处理工艺

[0063]

实施例	厚度/mm	加热温度/℃	开轧温度/℃	终轧温度/℃	淬火温度/℃	回火温度/℃
1	80	1180	1180	1104	840	630
2	90	1200	1190	1110	845	635
3	100	1250	1181	1111	850	640
4	120	1300	1183	1113	855	645
5	150	1325	1189	1100	860	650

[0064] 表4钢板拉伸性能结果

实施例	常温拉伸			200℃高温拉伸		
	$R_{p0.2}$ /MPa	R_m /MPa	A ,%	$R_{p0.2}$ /MPa	R_m /MPa	A ,%
1	753	878	18.5	745	810	19.0
2	745	866	19.0	736	805	18.0
3	742	855	19.0	725	798	18.5
4	739	850	19.5	718	792	18.0
5	725	842	19.0	702	780	17.5
指标	≥600	750~900	≥15	≥554	≥682	-

[0066] 表5钢板冲击性能结果

实施例	冲击功 KV_2 /J 0℃			侧膨胀量 CP /mm			断面纤维率 EA /%		
1	146	173	162	1.90	2.03	1.80	100%	100%	100%
2	165	131	163	2.00	1.70	1.93	100%	100%	100%
3	150	164	150	1.78	2.10	1.78	90%	100%	90%
4	168	157	151	1.90	1.50	1.85	100%	100%	100%
5	151	154	168	1.06	1.75	1.50	85%	90%	85%
指标	单值≥80J 均值≥104J			-			-		

[0069] 80~150mm厚规格钢板经过调质处理后,各项性能指标完全满足要求,钢板具有良好的综合力学性能,并且完全满足标准技术要求。

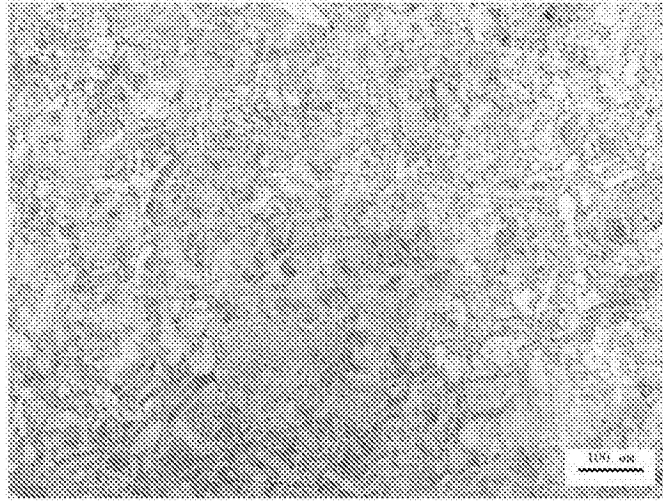


图1