



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105925897 B

(45)授权公告日 2018.02.13

(21)申请号 201610526689.0

(51)Int.Cl.

(22)申请日 2016.07.05

C22C 38/04(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

C22C 38/02(2006.01)

申请公布号 CN 105925897 A

C22C 38/08(2006.01)

(43)申请公布日 2016.09.07

C22C 38/16(2006.01)

(73)专利权人 南阳汉冶特钢有限公司

C22C 38/18(2006.01)

地址 474500 河南省南阳市西峡县回车镇
工业园区

C22C 38/12(2006.01)

(72)发明人 许少普 张占杰 朱书成 李忠波

C22C 38/06(2006.01)

唐郑磊 康文举 刘庆波 袁永旗
高照海 杨阳 杨东 袁少威

C22C 38/14(2006.01)

(74)专利代理机构 郑州知己知识产权代理有限公司 41132

C22C 33/06(2006.01)

代理人 朱广存

C21D 8/02(2006.01)

C21D 1/18(2006.01)

C21D 1/68(2006.01)

审查员 李微

权利要求书2页 说明书10页

(54)发明名称

一种10-80mm大型水电工程用高强度低裂纹
敏感性钢SX780CF及其制备方法

(57)摘要

本发明公开了一种10-80mm大型水电工程用
高强度低裂纹敏感性钢SX780CF及其制备方法，
所述高强度低裂纹敏感性钢SX780CF包括以下质
量百分比的化学成分(单位,wt%):C:0.05-
0.09,Si:0.1-0.2,Mn:1.0-1.3,P: \leq 0.010,S: \leq
0.005,Ni:0.6-0.9,Cu:0.15-0.25,Cr:0.2-0.4,
Mo:0.4-0.6,V+Nb+Ti: \leq 0.1,Als:0.015-0.045,
余量为Fe和残留元素;所述高强度低裂纹敏感性
钢SX780CF的Ceq: \leq 0.52,Pcm: \leq 0.25。本发明通过
合理的成分设计和一系列工艺措施,成功开发出来
了具有成本低、生产效率高、成材率高、表面质
量好的10-80mm厚的大型水电工程用高强度低裂
纹敏感性SX780CF钢板,并通过了斜Y型坡口抗冷
裂纹试验,具有良好的焊接性。

1. 一种10-80mm大型水电工程用高强度低裂纹敏感性钢SX780CF的制备方法,其特征在于,所述10-80mm大型水电工程用高强度低裂纹敏感性钢SX780CF,包括以下质量百分比的化学成分(单位,wt%):C:0.05-0.09、Si:0.1-0.2、Mn:1.0-1.3、P: \leq 0.010、S: \leq 0.005、Ni:0.6-0.9、Cu:0.15-0.25、Cr:0.2-0.4、Mo:0.4-0.6、V+Nb+Ti: \leq 0.1、Als:0.015-0.045,余量为Fe和残留元素;所述高强度低裂纹敏感性钢SX780CF的Ceq \leq 0.52,Pcm \leq 0.25,当预热温度达到100℃时可以实现焊接过程中无裂纹,具有良好的焊接性;

步骤包括铁水脱硫、转炉冶炼、VD真空脱碳、LF精炼、VD真空精炼、连铸浇注、铸坯切割、300℃以下表面带温喷涂高温抗氧化涂料、加热、高压水除鳞、控轧控冷、堆冷、探伤、调质热处理、性能检验、切割、入库,其中:

所述转炉冶炼工艺:转炉终点时出钢温度 \geq 1630℃、0.05% \leq C \leq 0.09%、P \leq 0.008%,出钢过程中不吹氩、不向钢水中加入脱氧剂和合金;出钢结束采用挡渣锥挡渣,若挡渣失败,则提前抬炉,确保转炉下渣厚度控制在30mm以下,以避免下渣回P;钢水到氩站后,不向钢水中加入合金、铝线或辅料,同时也不吹氩气,然后钢水直接吊至VD炉真空处理,离站温度按照 \geq 1570℃控制;

所述VD真空脱碳工艺:进VD炼钢工位进行VD炼钢,VD温度 \geq 1560℃;钢水坐落至VD炉后,根据出钢C含量不同适当加入碳粉;碳粉加入测温完毕后,盖盖进行抽真空操作,钢水在VD炉抽真空阶段调大氩气量以充分实现真空脱碳,保压时间 \geq 10min;钢水达到保压时间后破空,待测温、取样结束后关闭氩气吊运钢包至LF精炼炉工位,离站温度按照 \geq 1535℃控制;

所述LF精炼工艺:到站后加入2.0m/t钢铝线,过程脱氧剂采用铝粒,铝粒用量控制在30-60Kg/t,白渣保持时间 \geq 15min;加热结束根据钢水中Als含量采取加喂铝线微调Als含量,铝线加入量不超过2.5m/t钢;LF精炼过程中,一加热结束后,二加热进行时加入贵重合金,其中铬铁、钼铁、镍板、铜板、铌铁分两次加入,钛铁在所有合金加入完成后再加入;

所述VD真空精炼工艺:真空度 \leq 66Pa下保压时间按 \geq 18min进行控制,破真空后软吹3-5min,离站温度控制在1555-1565℃;

所述连铸浇注工艺:中包过热度按照 \leq 30℃进行控制,控制注速以减少拉速波动;

所述300℃以下表面带温喷涂高温抗氧化涂料工艺:铸坯切割后,待铸坯温度冷却至 \leq 300℃,将高温抗氧化涂料喷涂到铸坯表面,涂层厚度 \geq 0.2mm;

所述加热工艺:加热温度及加热时间如下,950℃以下入炉,加热段温度1220-1240℃,均热段1200-1220℃,总加热时间按照10—13min/cm控制;

所述控轧控冷工艺:轧制后采用层流冷却方式控冷,确保返红温度630~680℃之间;

所述堆冷工艺:堆垛缓冷温度不低于400℃,堆冷时间 \geq 48小时;

所述调质热处理工艺:淬火温度930~940℃,保温时间2.2-2.4min/mm,回火温度600~630℃,保温时间4~4.2min/mm。

2. 根据权利要求1所述的一种10-80mm大型水电工程用高强度低裂纹敏感性钢SX780CF的制备方法,其特征在于:包括以下质量百分比的化学成分(单位,wt%):C:0.05-0.06、Si:0.1-0.15、Mn:1.0-1.1、P: \leq 0.008、S: \leq 0.004、Ni:0.6-0.7、Cu:0.15-0.20、Cr:0.2-0.3、Mo:0.4-0.5、V+Nb+Ti: \leq 0.07、Als:0.015-0.020,余量为Fe和残留元素;所述高强度低裂纹敏感性钢SX780CF的Ceq \leq 0.40,Pcm \leq 0.15。

3. 根据权利要求2所述的一种10–80mm大型水电工程用高强度低裂纹敏感性钢SX780CF的制备方法,其特征在于:包括以下质量百分比的化学成分(单位,wt%):C:0.07、Si:0.15、Mn:1.15、P:0.006、S:0.003、Ni:0.75、Cu:0.19、Cr:0.35、Mo:0.48、V+Nb+Ti:0.08、Als:0.022,余量为Fe和残留元素;所述高强度低裂纹敏感性钢SX780CF的Ce_q为0.38,Pcm为0.17。

4. 根据权利要求1–3任一项所述的一种10–80mm大型水电工程用高强度低裂纹敏感性钢SX780CF的制备方法,其特征在于:所述VD炼钢工艺中碳粉加入标准为(按100t转炉计算):当C:0.05–0.08时,碳粉加入量为20 Kg/100t,当C:0.08–0.09时,不用加碳粉。

5. 根据权利要求1–3任一项所述的一种10–80mm大型水电工程用高强度低裂纹敏感性钢SX780CF的制备方法,其特征在于:所述高温抗氧化涂料,其组分及重量百分比为:玻璃粉40–45%、陶瓷粉5–8%、铝矾土3–5%、石墨粉1–3%、磷酸铝1–2%、余量为水。

6. 根据权利要求1–3任一项所述的一种10–80mm大型水电工程用高强度低裂纹敏感性钢SX780CF的制备方法,其特征在于:所述高温抗氧化涂料,其组分及重量百分比为:玻璃粉43%、陶瓷粉7%、铝矾土3%、石墨粉2%、磷酸铝1.5%,余量为水。

7. 根据权利要求1–3任一项所述的一种10–80mm大型水电工程用高强度低裂纹敏感性钢SX780CF的制备方法,其特征在于:所述控轧控冷工艺中,轧制参数为开轧温度980~1150℃,一阶段终轧温度950~1050℃,中间坯厚度为成品厚度的1.5倍,二阶段开轧温度≤880℃,终轧温度810~840℃。

一种10-80mm大型水电工程用高强度低裂纹敏感性钢SX780CF及其制备方法

技术领域

[0001] 本发明属于中厚板生产领域,尤其是涉及一种10-80mm大型水电工程用高强度低裂纹敏感性钢SX780CF及其制备方法。

背景技术

[0002] 水电用钢使用环境特殊,对钢板的强度、韧性、焊接性能、耐腐蚀性能等要求非常严格。SX780CF属于大型水电工程用高强度低裂纹敏感性钢,主要用于水电站的压力钢管及涡壳这一使用部位,压力管道及涡壳是从水库、压力前池或调压室向水轮机输送水量的水管,一般为有压状态,其特点是集中了水电站大部分或全部的水头,故压力钢管及涡壳用钢需要具有较高的强度、韧性,同时由于在施工过程中需要在野外通过焊接方式进行连接,所以又需要具有优良的焊接性,方便在施工过程中进行焊接作业。

[0003] 申请号为2013104268522的中国专利,公开了一种600MPa级水电工程用调质高强度低焊接裂纹敏感性钢板及其制备方法,该钢板由以下质量百分比的组分制备而成:C 0.07~0.09%,Si 0.20~0.40%,Mn 1.50~1.60%,P≤0.015%,S≤0.005%,Mo 0.12~0.25%,Nb 0.027~0.050%,Ni 0.15~0.30%,V 0.035~0.060%,Ti 0.010~0.020%,Alt 0.020~0.050%,其余为Fe及不可避免的杂质,并控制碳当量CE≤0.42%,焊接裂纹敏感性指数Pcm≤0.20%;申请号为2012101236417的中国专利,公开了一种水电工程用易焊接调质高强韧性钢板及其生产方法,本发明公开了一种水电工程用易焊接调质高强韧性钢板,同时,还涉及一种该钢板的生产方法。本发明的水电工程用易焊接调质高强韧性钢板,由以下重量百分含量的化学成分组成:C:0.11%~0.14%,Si:0.15%~0.25%,Mn:1.05%~1.45%,P≤0.010%,S≤0.005%,Ni:0.40%~0.50%,Cr:0.40%~0.50%,Mo:0.3~0.40%,Nb:0.02%~0.04%,V:0.030%~0.050%,Ti:0.015%~0.025%,Al:0.020%~0.040%,余量为Fe和微量不可避免的杂质,该钢板的生产方法包括:电炉冶炼→LF/VD精炼→连铸→钢坯加热→轧制→热堆垛→热处理→成品。

[0004] 然而,上述专利存在以下缺陷:

[0005] (1)钢板的屈服强度分别只有550-600MPa、660-700MPa,钢板力学性能已经不能满足目前水电用钢高强度的要求;

[0006] (2)上述钢钢板的制备时,钢坯在加热过程中忽略了因高温下铁的氧化反应造成氧化损失,造成表面脱碳,机械性能降低轧制后形成表面缺陷,不仅降低钢材的成材率,影响钢材的表面质量,影响作业率。

发明内容

[0007] 有鉴于此,本发明的目的是针对现有技术的不足,提供一种10-80mm大型水电工程用高强度低裂纹敏感性钢SX780CF及其生产方法,制备得到了屈服强度在786-856MPa的水电工程用高强度低裂纹敏感性SX780CF钢板,同时采用表面带温喷涂高温抗氧化涂料工艺,

有效防止轧制过程中翘钢的发生,提高了钢板的成材率和表面质量。

[0008] 为达到上述目的,本发明采用以下技术方案:

[0009] 一种10–80mm大型水电工程用高强度低裂纹敏感性钢SX780CF,包括以下质量百分比的化学成分(单位,wt%):C:0.05–0.09、Si:0.1–0.2、Mn:1.0–1.3、P: \leqslant 0.010、S: \leqslant 0.005、Ni:0.6–0.9、Cu:0.15–0.25、Cr:0.2–0.4、Mo:0.4–0.6、V+Nb+Ti: \leqslant 0.1、Als:0.015–0.045,余量为Fe和残留元素;所述高强度低裂纹敏感性钢SX780CF的Ce_q \leqslant 0.52,Pcm \leqslant 0.25。

[0010] 优选地,包括以下质量百分比的化学成分(单位,wt%):C:0.05–0.06、Si:0.1–0.15、Mn:1.0–1.1、P: \leqslant 0.008、S: \leqslant 0.004、Ni:0.6–0.7、Cu:0.15–0.20、Cr:0.2–0.3、Mo:0.4–0.5、V+Nb+Ti: \leqslant 0.07、Als:0.015–0.020,余量为Fe和残留元素;所述高强度低裂纹敏感性钢SX780CF的Ce_q \leqslant 0.40,Pcm \leqslant 0.15。

[0011] 优选地,包括以下质量百分比的化学成分(单位,wt%):C:0.07、Si:0.15、Mn:1.15、P:0.006、S:0.003、Ni:0.75、Cu:0.19、Cr:0.35、Mo:0.48、V+Nb+Ti:0.08、Als:0.022,余量为Fe和残留元素;所述高强度低裂纹敏感性钢SX780CF的Ce_q为0.38,Pcm为0.17。

[0012] 其制备方法,包括铁水脱硫、转炉冶炼、VD炼钢、LF精炼、VD真空精炼、连铸浇注、铸坯切割、表面带温喷涂高温抗氧化涂料、加热、高压水除鳞、控轧控冷、堆冷、探伤、调质热处理、性能检验、切割、入库:

[0013] 所述转炉冶炼工艺:转炉终点时出钢温度 \geqslant 1630°C、0.05% \leqslant C \leqslant 0.09%、P \leqslant 0.008%,出钢过程中不吹氩、不向钢水中加入脱氧剂和合金;出钢结束采用挡渣锥挡渣,若挡渣失败,则提前抬炉,确保转炉下渣厚度控制在30mm以下,以避免下渣回P;钢水到氩站后,不向钢水中加入合金、铝线或辅料,同时也不吹氩气,然后钢水直接吊至VD炉真空处理,离站温度按照 \geqslant 1570°C控制;

[0014] 所述VD炼钢工艺:进VD炼钢工位进行VD炼钢,VD温度 \geqslant 1560°C;钢水坐落至VD炉后,根据出钢C含量不同适当加入碳粉;碳粉加入测温完毕后,盖盖进行抽真空操作,钢水在VD炉抽真空阶段调大氩气量以充分实现真空脱碳,保压时间 \geqslant 10min;钢水达到保压时间后破空,待测温、取样结束后关闭氩气吊运钢包至LF精炼炉工位,离站温度按照 \geqslant 1535°C控制;

[0015] 所述LF精炼工艺:到站后加入2.0m/t钢铝线,过程脱氧剂采用铝粒,铝粒用量控制在30–60Kg/t,白渣保持时间 \geqslant 15min;加热结束根据钢水中Als含量采取加喂铝线微调Als含量,铝线加入量不超过2.5m/t钢;LF精炼过程中,一加热结束后,二加热进行时加入贵重合金,其中铬铁、钼铁、镍板、铜板、铌铁分两次加入,钛铁在所有合金加入完成后再加入;

[0016] 所述VD真空精炼工艺:真空中度 \leqslant 66Pa下保压时间按 \geqslant 18min进行控制,破真空中软吹3–5min,离站温度控制在1555–1565°C;

[0017] 所述连铸浇注工艺:中包过热度按照 \leqslant 30°C进行控制,控制注速以减少拉速波动;

[0018] 所述表面带温喷涂高温抗氧化涂料工艺:铸坯切割后,待铸坯温度冷却至 \leqslant 300°C,将高温抗氧化涂料喷涂到铸坯表面,涂层厚度 \geqslant 0.2mm;

[0019] 所述加热工艺:加热温度及加热时间如下,950°C以下入炉,加热段温度1220–1240°C,均热段1200–1220°C,总加热时间按照10–13min/cm控制;

[0020] 所述控轧控冷工艺:轧制后采用层流冷却方式控冷,确保返红温度630–680°C之

间；

[0021] 所述堆冷工艺：堆垛缓冷温度不低于400℃，堆冷时间≥48小时；

[0022] 所述调质热处理工艺：淬火温度930~940℃，保温时间2.2~2.4min/mm，回火温度600~630℃，保温时间4~4.2min/mm。

[0023] 优选地，所述VD炼钢工艺中碳粉加入标准为（按100t转炉计算）：当C:0.05~0.08时，碳粉加入量为20Kg/100t，当C:0.08~0.09时，不用加碳粉；

[0024] 优选地，所述高温抗氧化涂料，其组分及重量百分比为：玻璃粉40~45%、陶瓷粉5~8%、铝矾土3~5%、石墨粉1~3%、磷酸铝1~2%、余量为水。

[0025] 优选地，所述高温抗氧化涂料，其组分及重量百分比为：玻璃粉43%、陶瓷粉7%、铝矾土3%、石墨粉2%、磷酸铝1.5%，余量为水。

[0026] 优选地，所述控轧控冷工艺中，轧制参数为开轧温度980~1150℃，一阶段终轧温度950~1050℃，中间坯厚度为成品厚度的1.5倍，二阶段开轧温度≤880℃，终轧温度810~840℃。

[0027] 本发明的有益效果是：

[0028] 本发明通过合理的成分设计和一系列工艺措施，成功开发出来了具有成本低、生产效率高、成材率高、表面质量好的10~80mm厚的大型水电工程用高强度低裂纹敏感性SX780CF钢板，并通过了斜Y型坡口抗冷裂纹试验，具有良好的焊接性，具体来说有以下几点：

[0029] (1) 本发明的高强度低裂纹敏感性钢SX780CF的制备方法采用VD+LF+VD工艺来保证钢种低碳成分、钢质的洁净度，并通过加热、轧制及调质热处理等工艺有效实施，成功地研制出了10mm~80mm厚大型水电工程用高强度低裂纹敏感性SX780CF钢板，其屈服强度与标准相比富裕量控制在80~170MPa，抗拉强度与标准相比富裕量控制在60~130MPa；伸长率与标准相比富裕量控制在3%~6%；在-40℃V型冲击功在140~230J，制备得到的高强度低裂纹敏感性钢SX780CF完全可以满足工程需要。

[0030] (2) 本发明的高强度低裂纹敏感性钢SX780CF的制备方法采用“高温、低速、大压下量”的轧制方式，其中开轧温度980℃~1150℃，一阶段终轧温度在950℃~1050℃，保证了碳氮化合物的析出相溶解充分，而且可以预防原始奥氏体晶粒过分粗化，大压下量以及控制轧制速度为低速，可以实现奥氏体动态再结晶和静态再结晶，细化奥氏体组织；其次二阶段开轧温度≤880℃，终轧温度控制在810~840℃之间，可以获得针状铁素体和残余奥氏体的复相显微组织，奥氏体均匀程度好。

[0031] (3) 本发明高强度低裂纹敏感性钢SX780CF化学成分设计中添加适当的Cu和Ni，两种元素的作用，可以在热轧阶段形成平行于轧制方向的粒度较小的薄饼状奥氏体晶粒，提高奥氏体晶粒尺寸的均与度，因此本发明的屈服和抗拉强度明显提高。

[0032] (4) 本发明高强度低裂纹敏感性钢SX780CF的制备方法中调质工艺采用淬火温度930~940℃，保温时间2.2~2.4min/mm；回火温度600~630℃，保温时间4~4.2min/mm；淬火温度和回火温度相配合，使得原子重新排列组合，使不稳定的不平衡组织逐步转变为稳定的平衡组织，因此显著降低了本发明的10~80mm厚大型水电工程用高强度低裂纹敏感性钢的脆性，减少内应力，大幅度提高本发明钢板的强度。

[0033] (5) 本发明高强度低裂纹敏感性钢SX780CF的制备方法中采用表面带温喷涂高温

抗氧化涂料工艺,解决了水电钢表面氧化铁皮在高压水除鳞过程中难以去除的方法,利用热喷涂特性能够明显提高水电钢的生产效率,保证高压水除鳞过程中钢坯表面氧化铁皮能够去除干净,从而有效防止轧制过程中翘钢的发生,避免成品钢板表面满板氧化铁皮从而需要满板扒皮以满足表面质量要求情况的发生,最后高温抗氧化涂料选用的原料价廉易得,直接用喷枪喷涂到铸坯表面,喷涂过程简单易操作。

具体实施方式

[0034] 实施例1

[0035] 一种10–80mm大型水电工程用高强度低裂纹敏感性钢SX780CF,包括以下质量百分比的化学成分(单位,wt%):C:0.05、Si:0.2、Mn:1.0、P:0.010、S:0.001、Ni:0.9、Cu:0.15、Cr:0.4、Mo:0.4、V+Nb+Ti:0.1、Als:0.015,余量为Fe和残留元素;所述高强度低裂纹敏感性钢SX780CF的Ce_q为0.52,Pcm为0.10。

[0036] 其制备方法,包括铁水脱硫、转炉冶炼、VD炼钢、LF精炼、VD真空精炼、连铸浇注、铸坯切割、表面带温喷涂高温抗氧化涂料、加热、高压水除鳞、控轧控冷、堆冷、探伤、调质热处理、性能检验、切割、入库;

[0037] 所述转炉冶炼工艺:转炉终点时出钢温度1630℃、C为0.05%、P为0.008%,出钢过程中不吹氩、不向钢水中加入脱氧剂和合金;出钢结束采用挡渣锥挡渣,若挡渣失败,则提前抬炉,确保转炉下渣厚度控制在29mm,以避免下渣回P;钢水到氩站后,不向钢水中加入合金、铝线或辅料,同时也不吹氩气,然后钢水直接吊至VD炉真空处理,离站温度1570℃控制;

[0038] 所述VD炼钢工艺:进VD炼钢工位进行VD炼钢,VD温度1560℃;钢水坐落至VD炉后,根据出钢C含量不同适当加入碳粉,具体碳粉加入标准为(按100t转炉计算):碳粉加入量为20Kg/100t;碳粉加入测温完毕后,盖盖进行抽真空操作,钢水在VD炉抽真空阶段调大氩气量以充分实现真空脱碳,保压时间10min;钢水达到保压时间后破空,待测温、取样结束后关闭氩气吊运钢包至LF精炼炉工位,离站温度按照1535℃控制;

[0039] 所述LF精炼工艺:到站后加入2.0m/t钢铝线,过程脱氧剂采用铝粒,铝粒用量控制在30Kg/t,白渣保持时间18min;加热结束根据钢水中Als含量采取加喂铝线微调Als含量,铝线加入量为2.5m/t钢;LF精炼过程中,一加热结束后,二加热进行时加入贵重合金,其中铬铁、钼铁、镍板、铜板、铌铁分两次加入,钛铁在所有合金加入完成后再加入;

[0040] 所述VD真空精炼工艺:真空度66Pa下保压时间按18min进行控制,破真空后软吹3min,离站温度控制在1560℃;

[0041] 所述连铸浇注工艺:中包过热度按照30℃进行控制,合理控制注速以减少拉速波动;

[0042] 所述表面带温喷涂高温抗氧化涂料工艺:铸坯切割后,待铸坯温度冷却至300℃,用喷枪将高温抗氧化涂料喷涂到铸坯表面,涂层厚度为0.2mm;其中高温抗氧化涂料,其组分及重量百分比为:玻璃粉40%、陶瓷粉8%、铝矾土3%、石墨粉3%、磷酸铝2%、余量为水。

[0043] 所述加热工艺:加热温度及加热时间如下,950℃以下入炉,加热段温度按照1220℃控制,均热段按照1200℃控制,总加热时间按照13min/cm控制;

[0044] 所述控轧控冷工艺:按照“高温、低速、大压下”轧制要求,轧制参数为开轧温度980℃,一阶段终轧温度950℃,中间坯厚度为成品厚度的1.5倍,二阶段开轧温度880℃,终轧

温度810℃；轧制后采用层流冷却方式控冷，通过6组冷却集管，确保返红温度为630℃之间；

[0045] 所述堆冷工艺：堆垛缓冷温度400℃，堆冷时间为48小时；

[0046] 所述调质热处理工艺：淬火温度940℃，保温时间2.4min/mm，回火温度630℃，保温时间4min/mm。

[0047] 实施例2

[0048] 一种10–80mm大型水电工程用高强度低裂纹敏感性钢SX780CF，包括以下质量百分比的化学成分(单位,wt%):C:0.09、Si:0.1、Mn:1.3、P:0.002、S:0.005、Ni:0.6、Cu:0.25、Cr:0.2、Mo:0.6、V+Nb+Ti:0.05、Als:0.045，余量为Fe和残留元素；所述高强度低裂纹敏感性钢SX780CF的Ce_q为0.30，P_{cm}为0.25。

[0049] 其制备方法，包括铁水脱硫、转炉冶炼、VD炼钢、LF精炼、VD真空精炼、连铸浇注、铸坯切割、表面带温喷涂高温抗氧化涂料、加热、高压水除鳞、控轧控冷、堆冷、探伤、调质热处理、性能检验、切割、入库；

[0050] 所述转炉冶炼工艺：转炉终点时出钢温度1640℃、C为0.09%、P为0.002%，出钢过程中不吹氩、不向钢水中加入脱氧剂和合金；出钢结束采用挡渣锥挡渣，若挡渣失败，则提前抬炉，确保转炉下渣厚度控制在29mm，以避免下渣回P；钢水到氩站后，不向钢水中加入合金、铝线或辅料，同时也不吹氩气，然后钢水直接吊至VD炉真空处理，离站温度1590℃控制；

[0051] 所述VD炼钢工艺：进VD炼钢工位进行VD炼钢，VD温度1580℃；钢水坐落至VD炉后，不用加碳粉；碳粉加入测温完毕后，盖盖进行抽真空操作，钢水在VD炉抽真空阶段调大氩气量以充分实现真空脱碳，保压时间12min；钢水达到保压时间后破空，待测温、取样结束后关闭氩气吊运钢包至LF精炼炉工位，离站温度按照1540℃控制；

[0052] 所述LF精炼工艺：到站后加入2.0m/t钢铝线，过程脱氧剂采用铝粒，铝粒用量控制在60Kg/t，白渣保持时间15min；加热结束根据钢水中Als含量采取加喂铝线微调Als含量，铝线加入量为1.5m/t钢；LF精炼过程中，一加热结束后，二加热进行时加入贵重合金，其中铬铁、钼铁、镍板、铜板、铌铁分两次加入，钛铁在所有合金加入完成后再加入；

[0053] 所述VD真空精炼工艺：真空气度64Pa下保压时间按20min进行控制，破真空中软吹5min，离站温度控制在1565℃；

[0054] 所述连铸浇注工艺：中包过热度按照20℃进行控制，合理控制注速以减少拉速波动；

[0055] 所述表面带温喷涂高温抗氧化涂料工艺：铸坯切割后，待铸坯温度冷却至280℃，用喷枪将高温抗氧化涂料喷涂到铸坯表面，涂层厚度为0.4mm；其中高温抗氧化涂料，其组分及重量百分比为：玻璃粉45%、陶瓷粉6%、铝矾土4%、石墨粉1%、磷酸铝2%、余量为水。

[0056] 所述加热工艺：加热温度及加热时间如下，950℃以下入炉，加热段温度按照1240℃控制，均热段按照1220℃控制，总加热时间按照10min/cm控制；

[0057] 所述控轧控冷工艺：按照“高温、低速、大压下”轧制要求，轧制参数为开轧温度1150℃，一阶段终轧温度1050℃，中间坯厚度为成品厚度的1.5倍，二阶段开轧温度870℃，终轧温度840℃；轧制后采用层流冷却方式控冷，通过6组冷却集管，返红温度为680℃之间；

[0058] 所述堆冷工艺：堆垛缓冷温度450℃，堆冷时间为60小时；

[0059] 所述调质热处理工艺：淬火温度930℃，保温时间2.2min/mm，回火温度600℃，保温

时间4.2min/mm。

[0060] 实施例3

[0061] 一种10–80mm大型水电工程用高强度低裂纹敏感性钢SX780CF,包括以下质量百分比的化学成分(单位,wt%):C:0.07、Si:0.18、Mn:1.2、P:0.006、S:0.002、Ni:0.8、Cu:0.17、Cr:0.25、Mo:0.45、V+Nb+Ti:0.06、Al₂S:0.028,余量为Fe和残留元素;所述高强度低裂纹敏感性钢SX780CF的Ce_q为0.33,Pcm为0.18。

[0062] 其制备方法,包括铁水脱硫、转炉冶炼、VD炼钢、LF精炼、VD真空精炼、连铸浇注、铸坯切割、表面带温喷涂高温抗氧化涂料、加热、高压水除鳞、控轧控冷、堆冷、探伤、调质热处理、性能检验、切割、入库;

[0063] 所述转炉冶炼工艺:转炉终点时出钢温度1635℃、C为0.07%、P为0.006%,出钢过程中不吹氩、不向钢水中加入脱氧剂和合金;出钢结束采用挡渣锥挡渣,若挡渣失败,则提前抬炉,确保转炉下渣厚度控制在27mm,以避免下渣回P;钢水到氩站后,不向钢水中加入合金、铝线或辅料,同时也不吹氩气,然后钢水直接吊至VD炉真空处理,离站温度1580℃控制;

[0064] 所述VD炼钢工艺:进VD炼钢工位进行VD炼钢,VD温度1570℃;钢水坐落至VD炉后,碳粉加入量为20Kg/100t;碳粉加入测温完毕后,盖盖进行抽真空操作,钢水在VD炉抽真空阶段调大氩气量以充分实现真空脱碳,保压时间11min;钢水达到保压时间后破空,待测温、取样结束后关闭氩气吊运钢包至LF精炼炉工位,离站温度按照1545℃控制;

[0065] 所述LF精炼工艺:到站后加入2.0m/t钢铝线,过程脱氧剂采用铝粒,铝粒用量控制在40Kg/t,白渣保持时间18min;加热结束根据钢水中Al₂S含量采取加喂铝线微调Al₂S含量,铝线加入量为2.0m/t钢;LF精炼过程中,一加热结束后,二加热进行时加入贵重合金,其中铬铁、钼铁、镍板、铜板、铌铁分两次加入,钛铁在所有合金加入完成后再加入;

[0066] 所述VD真空精炼工艺:真空度65Pa下保压时间按19min进行控制,破真空后软吹4min,离站温度控制在1555℃;

[0067] 所述连铸浇注工艺:中包过热度按照25℃进行控制,合理控制注速以减少拉速波动;

[0068] 所述表面带温喷涂高温抗氧化涂料工艺:铸坯切割后,待铸坯温度冷却至295℃,用喷枪将高温抗氧化涂料喷涂到铸坯表面,涂层厚度为0.3mm;其中高温抗氧化涂料,其组分及重量百分比为:玻璃粉41%、陶瓷粉7%、铝矾土5%、石墨粉3%、磷酸铝2%、余量为水。

[0069] 所述加热工艺:加热温度及加热时间如下,940℃以下入炉,加热段温度按照1230℃控制,均热段按照1210℃控制,总加热时间按照11min/cm控制;

[0070] 所述控轧控冷工艺:按照“高温、低速、大压下”轧制要求,轧制参数为开轧温度1000℃,一阶段终轧温度1020℃,中间坯厚度为成品厚度的1.5倍,二阶段开轧温度860℃,终轧温度820℃;轧制后采用层流冷却方式控冷,通过8组冷却集管,返红温度为660℃之间;

[0071] 所述堆冷工艺:堆垛缓冷温度430℃,堆冷时间为54小时;

[0072] 所述调质热处理工艺:淬火温度935℃,保温时间2.3min/mm,回火温度620℃,保温时间4.1min/mm。

[0073] 实施例4

[0074] 一种10–80mm大型水电工程用高强度低裂纹敏感性钢SX780CF,包括以下质量百分比的化学成分(单位,wt%):C:0.08、Si:0.17、Mn:1.25、P:0.005、S:0.003、Ni:0.85、Cu:

0.18、Cr:0.40、Mo:0.57、V+Nb+Ti:0.07、Als:0.024,余量为Fe和残留元素;所述高强度低裂纹敏感性钢SX780CF的Ceq为0.45,Pcm为0.20。

[0075] 其制备方法,包括铁水脱硫、转炉冶炼、VD炼钢、LF精炼、VD真空精炼、连铸浇注、铸坯切割、表面带温喷涂高温抗氧化涂料、加热、高压水除鳞、控轧控冷、堆冷、探伤、调质热处理、性能检验、切割、入库;

[0076] 所述转炉冶炼工艺:转炉终点时出钢温度1645℃、C为0.08%、P为0.005%,出钢过程中不吹氩、不向钢水中加入脱氧剂和合金;出钢结束采用挡渣锥挡渣,若挡渣失败,则提前抬炉,确保转炉下渣厚度控制在29mm,以避免下渣回P;钢水到氩站后,不向钢水中加入合金、铝线或辅料,同时也不吹氩气,然后钢水直接吊至VD炉真空处理,离站温度1590℃控制;

[0077] 所述VD炼钢工艺:进VD炼钢工位进行VD炼钢,VD温度1580℃;钢水坐落至VD炉后,碳粉加入量为20Kg/100t;碳粉加入测温完毕后,盖盖进行抽真空操作,钢水在VD炉抽真空阶段调大氩气量以充分实现真空脱碳,保压时间12min;钢水达到保压时间后破空,待测温、取样结束后关闭氩气吊运钢包至LF精炼炉工位,离站温度按照1540℃控制;

[0078] 所述LF精炼工艺:到站后加入2.0m/t钢铝线,过程脱氧剂采用铝粒,铝粒用量控制在50Kg/t,白渣保持时间16min;加热结束根据钢水中Als含量采取加喂铝线微调Als含量,铝线加入量为2.0m/t钢;LF精炼过程中,一加热结束后,二加热进行时加入贵重合金,其中铬铁、钼铁、镍板、铜板、铌铁分两次加入,钛铁在所有合金加入完成后再加入;

[0079] 所述VD真空精炼工艺:真空度66Pa下保压时间按20min进行控制,破真空后软吹5min,离站温度控制在1565℃;

[0080] 所述连铸浇注工艺:中包过热度按照20℃进行控制,合理控制注速以减少拉速波动;

[0081] 所述表面带温喷涂高温抗氧化涂料工艺:铸坯切割后,待铸坯温度冷却至290℃,用喷枪将高温抗氧化涂料喷涂到铸坯表面,涂层厚度为0.4mm;其中高温抗氧化涂料,其组分及重量百分比为:玻璃粉42%、陶瓷粉8%、铝矾土5%、石墨粉3%、磷酸铝1%、余量为水。

[0082] 所述加热工艺:加热温度及加热时间如下,945℃以下入炉,加热段温度按照1235℃控制,均热段按照1215℃控制,总加热时间按照12min/cm控制;

[0083] 所述控轧控冷工艺:按照“高温、低速、大压下”轧制要求,轧制参数为开轧温度1100℃,一阶段终轧温度990℃,中间坯厚度为成品厚度的1.5倍,二阶段开轧温度870℃,终轧温度830℃;轧制后采用层流冷却方式控冷,通过7组冷却集管,返红温度为650℃之间;

[0084] 所述堆冷工艺:堆垛缓冷温度440℃,堆冷时间为58小时;

[0085] 所述调质热处理工艺:淬火温度935℃,保温时间2.2min/mm,回火温度625℃,保温时间4.1min/mm。

[0086] 实施例5

[0087] 一种10–80mm大型水电工程用高强度低裂纹敏感性钢SX780CF,包括以下质量百分比的化学成分(单位,wt%):C:0.06、Si:0.15、Mn:1.1、P:0.008、S:0.004、Ni:0.7、Cu:0.20、Cr:0.30、Mo:0.50、V+Nb+Ti:0.07、Als:0.020,余量为Fe和残留元素;所述高强度低裂纹敏感性钢SX780CF的Ceq为0.40,Pcm为0.15。

[0088] 其制备方法与实施例1基本相同,不同之处在于:

[0089] 所述高温抗氧化涂料,其组分及重量百分比为:玻璃粉44%、陶瓷粉7%、铝矾土

4%、石墨粉1%、膨润土3%、磷酸铝2%，余量为水。

[0090] 实施例6

[0091] 一种10–80mm大型水电工程用高强度低裂纹敏感性钢SX780CF，包括以下质量百分比的化学成分(单位,wt%)：C:0.07、Si:0.15、Mn:1.15、P:0.006、S:0.003、Ni:0.75、Cu:0.19、Cr:0.35、Mo:0.48、V+Nb+Ti:0.08、Als:0.022，余量为Fe和残留元素；所述高强度低裂纹敏感性钢SX780CF的Ce_q为0.38，Pcm为0.17。

[0092] 其制备方法与实施例3基本相同，不同之处在于：

[0093] 所述高温抗氧化涂料，其组分及重量百分比为：玻璃粉43%、陶瓷粉7%、铝矾土3%、石墨粉2%、磷酸铝1.5%，余量为水。

[0094] 实施例7

[0095] 一种10–80mm大型水电工程用高强度低裂纹敏感性钢SX780CF，包括以下质量百分比的化学成分(单位,wt%)：C:0.08、Si:0.14、Mn:1.1、P:0.004、S:0.005、Ni:0.6、Cu:0.21、Cr:0.28、Mo:0.43、V+Nb+Ti:0.09、Als:0.026，余量为Fe和残留元素；所述高强度低裂纹敏感性钢SX780CF的Ce_q为0.41，Pcm为0.12。

[0096] 其制备方法与实施例4基本相同，不同之处在于：

[0097] 所述高温抗氧化涂料，其组分及重量百分比为：玻璃粉44%、陶瓷粉8%、铝矾土3%、石墨粉1%、磷酸铝1.5%，余量为水。

[0098] 实施例8

[0099] 一种10–80mm大型水电工程用高强度低裂纹敏感性钢SX780CF，包括以下质量百分比的化学成分(单位,wt%)：C:0.06、Si:0.11、Mn:1.2、P:0.007、S:0.001、Ni:0.65、Cu:0.24、Cr:0.33、Mo:0.50、V+Nb+Ti:0.06、Als:0.025，余量为Fe和残留元素；所述高强度低裂纹敏感性钢SX780CF的Ce_q为0.39，Pcm为0.14。

[0100] 其制备方法与实施例1基本相同，不同之处在于：

[0101] 所述高温抗氧化涂料，其组分及重量百分比为：玻璃粉45%、陶瓷粉5%、铝矾土4%、石墨粉3%、磷酸铝1%，余量为水。

[0102] 结果分析

[0103] 机械力学性能分析

[0104] 成份及机械力学性能按QJ/CTG 24–2015，机械性能平均值具体见下表1。

[0105] 表1：实施例1–8机械性能平均值表

[0106]

项目	规格/mm	批数/批	状态	屈服强度/Mpa	抗拉强度/Mpa	伸长率/%	-40°C V型冲击功/J	弯曲试验
实施例 1	80	8	调质	786	831	18	192	合格
实施例 2	36	15	调质	841	874	19	218	合格
实施例 3	25	10	调质	806	852	19.5	212	合格
实施例 4	70	8	调质	804	879	20	214	合格
实施例 5	54	13	调质	858	896	18	223	合格
实施例 6	10	20	调质	856	893	18	220	合格
实施例 7	65	10	调质	826	851	20	163	合格
实施例 8	48	15	调质	819	853	21	142	合格

[0107] 本发明制备得到的10~80mm大型水电工程用高强度低裂纹敏感性钢SX780CF,通过合理的化学成分设计及生产工艺控制,成功地研制出大型水电工程用高强度低裂纹敏感性SX780CF钢板。其屈服强度控制在786~856MPa,抗拉强度控制在831~893MPa;伸长率控制在18%~21%;-40°C V型冲击功控制在142~220J。

[0108] 本发明制备得到的10~80mm大型水电工程用高强度低裂纹敏感性钢SX780CF通过斜Y型坡口抗裂纹试验,预热温度达到100°C以后,可以实现焊接过程中无裂纹,具有良好的焊接性,适合进行野外施工。

[0109] 本发明制备得到的10~80mm大型水电工程用高强度低裂纹敏感性钢SX780CF,通过采用表面带温喷涂高温抗氧化涂料的方式,有效的解决了SX780CF由于含有较高的Ni造成的表面氧化铁皮难以用高压水去除的问题,有效保证了钢板最终的表面质量。

[0110] 本发明制备得到的10~80mm大型水电工程用高强度低裂纹敏感性钢SX780CF外检,正品率100%;按JB/T 47030进行探伤,合一级率为99%,合三级率为100%,达到了预期效果。

[0111] 本发明的实施例5制备得到的10~80mm大型水电工程用高强度低裂纹敏感性钢SX780CF,在高温抗氧化涂料中添加3%的膨润土,膨润土遇水膨胀,水分子进入了矿物的晶层,膨润土矿物晶层间距加大,另外阳离子交换作用将膨润土颗粒联结在一起,颗粒之间产生较强的静电引力,增大膨润土颗粒联结能力,水化膜增厚,膨胀倍数高。这一特性,协同本发明的高温抗氧化涂料中的其他成分,使得涂料喷涂至钢坯表面后,涂料的表面膨胀系数及表面张力维持在一个适当的范围,从而在钢材表面形成致密的保护膜,保护钢坯被氧化;同时热处理后涂层容易剥落,大大降低钢坯加热过程中的氧化烧损,改善成品的表面质量,使得制备的钢板各项机械性能更加优异。

[0112] 最后说明的是,以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非限制,本领域普通

技术人员对本发明的技术方案所做的其他修改或者等同替换,只要不脱离本发明技术方案的精神和范围,均应涵盖在本发明的权利要求范围当中。