



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109628828 B

(45) 授权公告日 2020.11.20

(21) 申请号 201811608959.8	C22C 38/04 (2006.01)
(22) 申请日 2018.12.27	C22C 38/46 (2006.01)
(65) 同一申请的已公布的文献号 申请公布号 CN 109628828 A	C22C 38/54 (2006.01)
(43) 申请公布日 2019.04.16	C21D 8/02 (2006.01)
(73) 专利权人 江阴兴澄特种钢铁有限公司 地址 214429 江苏省无锡市江阴市高新区 滨江东路297号	C21D 1/18 (2006.01)
(72) 发明人 丁庆丰 许晓红 白云 李经涛 杨宏伟	(56) 对比文件
(74) 专利代理机构 北京中济纬天专利代理有限公司 11429 代理人 赵海波 孙燕波	CN 101497967 A, 2009.08.05
(51) Int. Cl. C22C 38/02 (2006.01)	CN 101497967 A, 2009.08.05
	CN 106319376 A, 2017.01.11
	CN 106319376 A, 2017.01.11
	审查员 刘春涛
	权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

一种低屈强比超厚水电高强度钢板及其制造方法

(57) 摘要

本发明涉及一种低屈强比超厚水电高强度钢板,化学成分按质量百分比计为C:0.03~0.08%、Si:0.05~0.35%、Mn:0.60~1.00%、P≤0.012%、S≤0.005%、Cr:0.50~1.00%、Ni:0.10~0.30%、V:0.12~0.18%、B:0.0010~0.0020%,余量为Fe及不可避免的杂质元素,满足:Ce_q≤0.42%,P_{cm}≤0.20%。工艺流程:连铸→铸坯加热→控制轧制→在线淬火→探伤→回火。本发明钢采用C+Mn+Cr+V成分设计,成分更简单,Ce_q、P_{cm}值较低,焊接性较好;同时采用在线淬火+离线回火工艺,充分发挥淬透性元素促进贝氏体、马氏体组织的形成,缩短待温时间,抑制晶粒度长大,同时有助于节省加热能耗,缩短生产周期。

1. 一种低屈强比超厚水电高强度钢板的制造方法,其特征在于:包括

(1) 生产坯料:将符合成分设计的钢水浇注成连铸坯,或浇注成钢锭,再将钢锭开坯获得坯料,所述成分设计按质量百分比计为C:0.03~0.08%、Si:0.05~0.35%、Mn:0.60~1.00%、P≤0.012%、S≤0.005%、Cr:0.80~1.00%、Ni:0.10~0.30%、V:0.12~0.18%、B:0.0010~0.0020%,余量为Fe及不可避免的杂质元素,同时满足:

$$C_{eq}=C+Si/24+Mn/6+Cr/5+Mo/4+V/14\leq 0.42\%,$$

$$P_{cm}=C+Si/30+(Mn+Cu+Cr)/20+Ni/60+Mo/15+V/10+5B\leq 0.20\%;$$

(2) 轧制:加热坯料使完全奥氏体化,然后采用两阶段的控制轧制:控制I阶段终轧温度在970~1010℃,前3道次压下量≥35mm;控制II阶段开轧温度为≤930℃,终轧温度为900~920℃,控制末道次压下量不超过5mm,控制后两道次轧制时不浇水,保持钢板平直度,轧制成80~150mm厚钢板;

(3) 在线淬火:II阶段终轧结束后立即进行温矫,温矫后钢板温度控制在890~910℃,高于钢板的Ac₃点,对80~150mm厚钢板进行在线淬火至较低温度,控制钢板终冷温度不超过60℃,促进淬火过程中形成贝氏体、马氏体硬相组织,尤其是1/4板厚处形成贝氏体,然后进行探伤,保证无内在质量问题后钢板转入下一工序;

(4) 回火:对80~150mm厚超厚水电站用高强度钢板进行离线回火,出炉空冷至室温后成为成品钢板。

2. 根据权利要求1所述的低屈强比超厚水电高强度钢板的制造方法,其特征在于:80~150mm厚的该钢板产品的机械性能满足:屈服强度 $R_{eL}\geq 560\text{MPa}$,抗拉强度 $R_m\geq 700\text{MPa}$,延伸率 $A\geq 18\%$,屈强比≤0.83,横向冲击功 $-20^\circ\text{CKV}_2\geq 60\text{J}$;5%应变时效冲击功 $-20^\circ\text{CKV}_2\geq 47\text{J}$ 。

3. 根据权利要求1所述的低屈强比超厚水电高强度钢板的制造方法,其特征在于:步骤(1) 钢水冶炼:高炉铁水经KR脱硫,再经氧气转炉进行冶炼,控制[P]≤0.010%, [C]≤0.04%,在钢包炉精炼处理,精炼时,采用脱硫剂进一步深脱硫,控制[S]≤0.003%;采用Si-Mn合金脱氧;并同时加入铬铁、钒铁、镍铁、锰铁等合金,将成分调整至目标值,同时[S]≤0.004%,再在RH真空炉进行精炼,在真空处理1个循环后添加硼铁。

4. 根据权利要求1所述的低屈强比超厚水电高强度钢板的制造方法,其特征在于:步骤(1) 连铸坯的获得:采用匹配的拉速与温度,采用全程保护浇注、电磁搅拌技术浇注成厚度在450mm及以上规格的铸坯,铸坯堆垛缓冷48小时以上,铸坯温度低于300℃转入下一工序。

5. 根据权利要求1所述的低屈强比超厚水电高强度钢板的制造方法,其特征在于:步骤(2) 轧制工序中,在轧制前将板坯加热至1170~1250℃,在炉时间为0.6~1.2min/mm×板厚mm,出炉后采用高压水将铸坯表面氧化铁皮除尽。

6. 根据权利要求1所述的低屈强比超厚水电高强度钢板的制造方法,其特征在于:步骤(4) 回火工序中,设置回火温度500~580℃,在炉时间为240~450min。

7. 根据权利要求3所述的低屈强比超厚水电高强度钢板的制造方法,其特征在于:所生产的产品在1/4厚度处的金相组织主要为贝氏体+铁素体。

一种低屈强比超厚水电高强度钢板及其制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及特种钢材的制造工艺,具体涉及一种低屈强比的水电钢板的制造方法。

背景技术

[0002] 我国水力发电占国内能源结构的第二位,近些年,水力发电以污染小、可持续发展等优势得到快速发展,国内各大江大河上各种大型、特大型水电站发展迅速,水电站容量和水头压力越来越大。水电站用压力钢管、蜗壳、岔管等对钢材需求日益扩大,对其强度、韧性等提出了更严格要求。600MPa调质水电站压力钢管用钢如07MnMoVR、WDL610D2、WDB620等国内牌号钢种因强度低,导致钢板厚度增加,野外现场焊接施工困难,已不适合特大型高水头水电站的要求,而800MPa钢强度碳当量高,焊接性较差,焊前需预热导致施工焊接环境恶劣。目前水电站压力钢管急需一种强度和焊接性具有较匹配的钢种,解决其壁厚较厚的问题。

[0003] 申请号(CN201310269680.2)的专利文件公开了一种800MPa级水电站压力管道用高强度钢及其生产方法,该钢抗拉强度超过780MPa,可大大减薄压力钢管的壁厚,但该钢采用淬火+回火工艺生产,且添加了贵重合金元素Mo、Nb等,碳当量较高,焊接性较差,对焊接要求较高,且工艺流程长,生产成本较高。

[0004] 申请号(CN201510188306.9)的专利文件公开了一种屈服620MPa级水电工程用热轧钢板及其生产方法,其通过两阶段控轧控冷加回火工艺来生产,抗拉强度超过700MPa,但其采用300mm厚坯料生产实际厚度仅为40mm厚钢板,不属于超厚钢板,且贵重元素Ni含量达到0.35%,Nb含量超过0.04%,生产成本较高。

[0005] 申请号(CN103045965A)的专利文件公开了600MPa级水电压力钢管用钢板,利用TMCP工艺将250mm厚铸坯轧制成厚度不超过80mm的钢板,然后回火处理得到-20℃冲击韧性优良的水电压力钢管用钢板。但其强度较低,在特大型水电站中应用必然导致壁厚增加,给焊接造成很大困难。

[0006] 综上所述,现有水电站压力钢管用钢板及同级别超厚钢板存在屈强比高、焊接性较差、工艺流程长、生产成本高等问题,给特大型水电站现场制造、施工、焊接等带来较大困难,无法满足新建的大型、特大型水电站的要求。

发明内容

[0007] 本发明的目的是针对现有技术提供一种低成本、低屈强比超厚水电高强度钢,采用低碳低锰高Cr高V并辅以B、Ni微合金化的成分体系和在线淬火+离线回火工艺生产,成品厚度为80~150mm,钢板具有高强度、低屈强比、优异低温韧性、低碳当量、优良焊接性能等特点,且生产工艺流程短,生产能耗低,适合批量生产。

[0008] 本发明解决上述问题所采用的技术方案为:一种低屈强比超厚水电高强度钢板,化学成分按质量百分比计为C:0.03~0.08%、Si:0.05~0.35%、Mn:0.60~1.00%、P≤

0.012%、S≤0.005%、Cr:0.50~1.00%、Ni:0.10~0.30%、V:0.12~0.18%、B:0.0010~0.0020%，余量为Fe及不可避免的杂质元素。并满足：

[0009] $C_{eq}=C+Si/24+Mn/6+Cr/5+Mo/4+V/14\leq 0.42\%$ ，

[0010] $P_{cm}=C+Si/30+(Mn+Cu+Cr)/20+Ni/60+Mo/15+V/10+5B\leq 0.20\%$ 。

[0011] 本申请80~150mm厚的水电钢板产品的机械性能满足：屈服强度 $R_{eL}\geq 560\text{MPa}$ ，抗拉强度 $R_m\geq 700\text{MPa}$ ，延伸率 $A\geq 18\%$ ，屈强比 ≤ 0.83 ，横向冲击功 $-20^\circ\text{CKV}_2\geq 60\text{J}$ ；5%应变时效冲击功 $-20^\circ\text{CKV}_2\geq 47\text{J}$ 。1/4处金相组织，主要为贝氏体+铁素体。

[0012] 为实现本发明的生产目的，使超厚水电站用高强度钢板满足低屈强比、优异低温韧性、低碳当量、优良焊接性能等特性，本发明中C、Si、Mn、P、S、Cr、Ni、V、B等元素的限定理由阐述如下：

[0013] 碳：过量的C将降低钢板的低温韧性，恶化其焊接性，但其可明显提高钢板强度。碳含量越低，钢的低温韧性越好。较低的碳含量可促使在轧制过程中奥氏体附近形成较多的“无碳区”，促进奥氏体向含有高密度位错的贝氏体转变，进一步提高钢的低温韧性。C的含量为0.03~0.08%。

[0014] 锰：提Mn降C是提高钢板强度、改善其低温韧性的重要手段，但Mn含量过高，将显著加重铸坯中心偏析，影响钢板低温韧性，同时显著提高钢的碳当量和恶化其焊接性。Mn的含量为0.60%~1.00%。

[0015] 磷和硫：P、S是不可避免的杂质元素，对钢板的成型性、腐蚀性、低温韧性都有影响，其含量越低越好，P的含量 $\leq 0.012\%$ ，S的含量 $\leq 0.005\%$ 。

[0016] 铬：Cr可明显提高钢的淬透性并有二次硬化的作用，使淬火钢在回火后具有优良的综合性能和稳定的回火稳定性。过量的Cr将降低钢的塑性，降低钢的伸长率和断面收缩率。Cr的含量为0.50~1.00%。

[0017] 镍：Ni可降低钢的低温韧脆转变温度，改善钢的低温韧性，但过多加入Ni会使成本增加，Ni的含量为0.10~0.30%。

[0018] 钒：V与C、N结合形成V(C、N)化合物，降低钢中的自由氮含量，提高钢的应变时效性能。V(C、N)奥氏体晶界铁素体沉淀析出，在轧制过程中抑制奥氏体的再结晶并组织晶粒长大，从而细化铁素体晶粒，提高钢的强度和韧性。在高温回火情况下，V(C、N)弥散析出，可起到沉淀强化作用，进一步提高钢的强度和韧性。V的含量为0.12~0.18%。

[0019] 硼：微量B元素可显著提高钢板的淬透性，对淬火态厚钢板来说，B的加入可明显促进马氏体或贝氏体形成，从而提高其强度。但过量的B会在钢中奥氏体晶界析出而产生热脆现象。B的含量为0.0010~0.0020%。

[0020] 本申请的低屈强比超厚水电高强度钢板的生产工艺流程(以连铸坯为例)：高炉铁水→铁水KR处理→150t氧气转炉冶炼→LF钢包炉精炼→RH真空炉处理→连铸→铸坯加热→控制轧制→在线淬火→探伤→回火→检验；

[0021] 主要工艺参数如下：

[0022] 1) 冶炼：高炉铁水经KR脱硫，再经氧气转炉进行冶炼，控制 $[P]\leq 0.010\%$ ， $[C]\leq 0.04\%$ 。在钢包炉精炼处理，并同时加入铬铁、钒铁、镍铁、锰铁等合金，将成分调整至目标值，同时 $[S]\leq 0.004\%$ 。再在RH真空炉进行精炼，在真空处理1个循环后添加硼铁。

[0023] 2) 连铸：采用匹配的拉速与温度，采用全程保护浇注、电磁搅拌技术等生产厚度在

450mm及以上规格的铸坯,铸坯堆垛缓冷48小时,铸坯温度低于300℃转入下一工序。

[0024] 3) 轧制:将铸坯加热至1170~1250℃,在炉时间为0.6~1.2min/mm×板厚mm,出炉后采用高压水将铸坯表面氧化铁皮除尽(除鳞);采用两阶段的控制轧制:控制I阶段终轧温度在970~1010℃,前3道次压下量 ≥ 35 mm;控制II阶段开轧温度为 ≤ 930 ℃,终轧温度为900~920℃,控制末道次压下量不超过5mm,控制后两道次轧制时不浇水,保持钢板平直度,轧制成80~150mm厚钢板。

[0025] 4) 在线淬火:阶段终轧结束后立即进行温矫,温矫后钢板温度控制在890~910℃,高于钢板的Ac3点,对80~150mm厚钢板进行在线淬火至较低温度,控制钢板终冷温度不超过60℃,促进淬火过程中形成贝氏体、马氏体硬相组织,尤其是1/4板厚处形成贝氏体,然后进行探伤,保证无内在质量问题后钢板转入下一工序。

[0026] 5) 回火:对80~150mm厚超厚水电站用高强度钢板进行离线回火,出炉空冷至室温后成为成品钢板,设置回火温度500~580℃,在炉时间为240~450min。

[0027] 本发明采用低C低Mn高Cr高V成分设计、在线淬火+离线回火工艺生产。冶炼时采用多种手段纯净钢水,如采用自产钢水和低硫废钢,严格控制有害元素和杂质元素含量,并严格控制[P] $\leq 0.010\%$;精炼时,采用脱硫剂进一步深脱硫,控制[S] $\leq 0.003\%$;采用Si-Mn合金脱氧,严格控制Al_s含量,减少钢水Al₂O₃有害夹杂物形成,钢水再经真空处理后[O] ≤ 10 ppm、[N] ≤ 35 ppm、[H] ≤ 1 ppm。钢水纯净化可明显改善钢板低温韧性。在线淬火时,充分保证钢板温度、冷却速度等匹配,利用提高钢淬透性的Cr、B等元素促进钢中贝氏体、马氏体等硬相组织形成等,适当提高钢的终轧温度,保证在线淬火时钢板温度高于其Ac3点,使超厚钢板板厚1/4处形成一定量贝氏体,再经高温回火后,进一步改善钢的低温韧性,同时充分利用V(C、N)的弥散强化作用弱化因位错密度减少等因素引起的强度大幅下降,使钢板仍具有较高的强度和优良的低温韧性;同时终轧后两道次严禁控制浇水,避免因浇水引起钢板温度不均匀,从而导致在线淬火时钢板组织和性能不均匀。最后一道次压下量 ≤ 5 mm,可保证钢板板型和平直度。

[0028] 与现有的生产技术和专利相比,本发明钢采用C+Mn+Cr+V成分设计,成分更简单,Ceq、Pcm值较低,焊接性较好;同时采用在线淬火+离线回火工艺,充分发挥淬透性元素促进贝氏体、马氏体组织的形成,缩短待温时间,抑制晶粒度长大,同时有助于节省加热能耗,缩短生产周期。

[0029] 本发明80~150mm厚低屈强比超厚水电高强钢,性能满足屈服强度 $R_{eL} \geq 560$ MPa,抗拉强度 $R_m \geq 700$ MPa,延伸率 $A \geq 18\%$,屈强比 ≤ 0.83 ,横向冲击功-20℃ $CKV_2 \geq 60$ J;5%应变时效冲击功-20℃ $CKV_2 \geq 47$ J。具有较低的屈强比、较好的强韧性匹配、可焊性等特点。

附图说明

[0030] 图1为实施例2的80mm厚钢板1/4处金相组织,主要为贝氏体+铁素体;

[0031] 图2为实施例2的150mm厚钢板1/4处金相组织,主要为贝氏体+铁素体。

具体实施方式

[0032] 以下结合多组实施例对本发明作进一步详细描述。

[0033] 本发明各实施例和对比例的熔炼化学成分见表1(wt%),剩余为Fe及不可避免的

杂质元素。

[0034] 表1

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	V	B	Ceq	Pcm
实施例 1	0.035	0.25	0.96	0.005	0.001	0.96	0.22	0.17	0.0013	0.417	0.168
实施例 2	0.075	0.26	0.67	0.005	0.001	0.80	0.22	0.13	0.0012	0.375	0.182
实施例 2	0.063	0.24	0.089	0.004	0.001	0.50	0.23	0.15	0.0015	0.340	0.169

注: $Ceq(\%)=C+Si/24+Mn/6+Cr/5+Mo/4+V/14$;
 $Pcm(\%)=C+Si/30+(Mn+Cu+Cr)/20+Ni/60+Mo/15+V/10+5B$.

[0036] 上述实施例均在150t转炉冶炼,铁水经KR脱硫,再经钢包炉深脱硫和精炼处理,还在真空炉进行脱气,然后经轻压下、电磁搅拌和全过程保护浇注成450mm厚铸坯。

[0037] 将450mm厚铸坯加热至1180~1240℃,在炉时间为0.8~1.2min/mm×板厚(mm),出炉后经高压水除鳞,除尽铸坯表面氧化铁皮;然后控制轧制,终轧温度控制在970~1010℃,前3道次压下量35~40mm,控制末道次压下量不超过5mm,控制后两道次轧制时不浇水;终轧温度为900~920℃,在线淬火后,测试钢板温度均低于60℃,轧制成80~150mm厚成品钢板;再进行500~580℃回火处理,在炉时间为240~420min,出炉后空冷至室温。

[0038] 表2为各实施例主要轧制和回火工艺参数。

[0039] 表2

实施例	钢板厚度 (mm)	粗轧终轧温 度(℃)	精轧终轧温 度(℃)	在线淬火后钢板温 度(℃)	回火温度 (℃)	在炉时间(mi n)
实施例 1	130	1005	910	52	530	390
实施例 1	150	999	915	58	520	420
实施例 2	80	1002	900	32	565	240
实施例 2	130	1001	912	48	520	390
实施例 2	150	1000	916	56	510	420
实施例 3	80	995	902	35	565	240
实施例 3	130	1002	911	50	520	390

[0041] 回火热处理后的钢板,在板厚1/4处横向取样加工成拉伸试样、冲击试样,表层取样加工应变时效冲击冲击试样,并进行力学性能测试,结果见表3。

[0042] 表3实施例母材力学性能结果

[0043]

实施例	厚度 (mm)	屈服强度 R_{eL} (MPa)	抗拉强度 R_m (MPa)	屈强比 R_{eL}/R_m	延伸率 A(%)	冲击 -20℃KV ₂ (J)	5%应变时效 -20℃KV ₂ (J)
实施例 1	80	596	755	0.79	21.0	130 141 151	111 106 116
实施例 1	150	577	740	0.78	20.5	140 121 123	112 128 115
实施例 2	80	608	760	0.80	23.0	178 165 172	110 119 115
实施例 2	130	586	752	0.78	22.0	185 134 178	135 107 115
实施例 2	150	572	743	0.76	21.0	156 151 160	107 125 100
实施例 3	80	605	766	0.79	25.0	190 181 188	121 131 148
实施例 3	130	581	735	0.79	21.0	178 201 180	140 159 147

[0044] 由表3可见,本发明实施例试验钢板满足屈服强度 $R_{eL} \geq 560$ MPa,抗拉强度 $R_m \geq 700$ MPa,延伸率 $A \geq 18\%$,屈强比 ≤ 0.83 ,横向冲击功 $-20^\circ\text{C}KV_2 \geq 60$ J;5%应变时效冲击功 $-20^\circ\text{C}KV_2 \geq 47$ J,且强度、延伸率、冲击韧性富裕量均较大,屈强比也较低,特别是板厚1/4处低温韧性优异。

[0045] 以上表明,本发明钢强度超过700MPa,具有优良的强韧性匹配和低温韧性,实际屈强比不超过0.80;且碳当量 C_{eq} 和 P_{cm} 值均较低,说明其具有较好的焊接性;另外该钢生产控制简单,工艺流程短,生产成本低,具有广阔的市场前景。

[0046] 图1所示为实施例2中80mm厚钢板在1/4厚度处的组织结构图,组织为贝氏体+铁素体。图2所示为实施例2中150mm厚钢板在1/4厚度处的组织结构图,组织为贝氏体+铁素体。该组织匹配使钢具有较好的强韧性,同时还使钢具有较低的屈强比。

[0047] 本发明钢工艺流程简单,可操作性强且成本较低,可在钢铁行业中厚板厂实施。本发明钢用途广泛,可应用于水电、建筑、桥梁、工程机械等行业,更适合于建造大型、特大型水电站用压力钢管、蜗壳、岔管及机座等。

[0048] 除上述实施例外,本发明还包括有其他实施方式,凡采用等同变换或者等效替换方式形成的技术方案,均应落入本发明权利要求的保护范围之内。

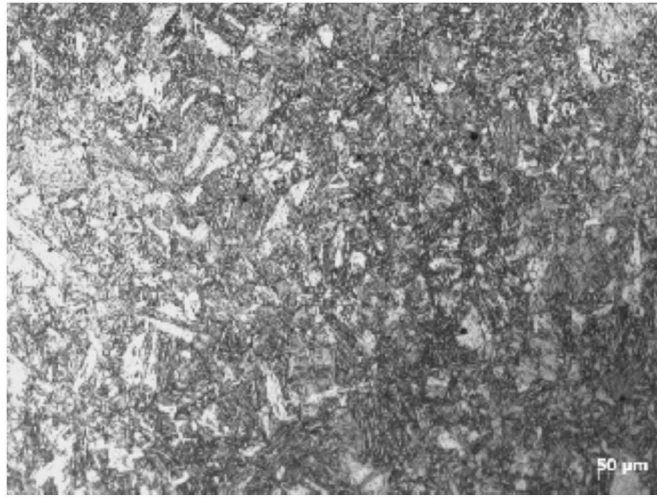


图1

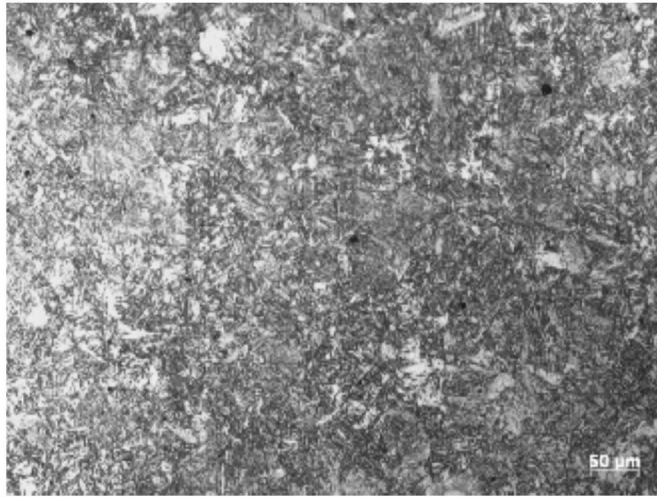


图2