



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114150209 B

(45) 授权公告日 2022.10.25

(21) 申请号 202111355787.X

(22) 申请日 2021.11.16

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 114150209 A

(43) 申请公布日 2022.03.08

(73) 专利权人 山东钢铁集团日照有限公司
地址 276800 山东省日照市东港区临钢路1号

(72) 发明人 李灿明 金璐 周兰聚 胡淑娥
袁蓉 徐国军 毕永杰 胡晓英
杨波 丛林 栾兆亮 孙毓磊
张康 张楠 刘飞

(74) 专利代理机构 济南舜源专利事务所有限公司 37205
专利代理师 刘宝

(51) Int.Cl.

G22C 33/04 (2006.01)

G22C 38/02 (2006.01)

G22C 38/04 (2006.01)

G22C 38/06 (2006.01)

G22C 38/42 (2006.01)

G22C 38/48 (2006.01)

G22C 38/50 (2006.01)

E01D 19/00 (2006.01)

E04B 1/00 (2006.01)

B21B 37/78 (2006.01)

审查员 邹婉营

权利要求书1页 说明书6页

(54) 发明名称

一种屈服强度不小于550MPa的高性能桥梁钢及其制备方法和应用

(57) 摘要

本发明涉及冶金技术领域,具体涉及一种屈服强度不小于550MPa的高性能桥梁钢及其制备方法和应用。制备方法包括冶炼、缓冷、加热、控轧控冷和堆冷步骤;采用该制备方法制得的高性能桥梁钢可用于制造免涂装建筑的结构件。本发明采用较低碳成分,利用微合金元素保证力学性能,同时还能提高钢板的焊接性能,保证钢板的耐候性能。经本发明制造的高性能桥梁钢板屈强比、碳当量及焊接敏感系数较低,屈服强度可稳定达到550MPa以上,-60℃低温冲击功稳定达到大于200J。

1. 一种屈服强度不小于550MPa的高性能桥梁钢的制备方法,其特征在于,包括如下步骤:

(1) 冶炼:采用转炉冶炼,顶底复吹,充分脱碳、脱磷;通过LF/RH精炼,降低有害元素/杂质含量,进行微合金化;全程保护浇铸,浇铸末端采用重压下技术,压下比率 $\geq 12\%$,铸坯化学成分重量百分比符合C:0.08%~0.11%,Si:0.10%~0.25%,Mn:1.40%~1.50%, $P \leq 0.015\%$, $S \leq 0.003\%$,Als:0.010%~0.040%,Cr:0.50%~0.60%,Cu:0.15%~0.20%,Ni:0.30%~0.40%,Nb:0.025%~0.040%,Ti:0.010%~0.040%;

(2) 缓冷;

(3) 加热:出钢铸坯温度为1150~1190℃;

(4) 控轧控冷:粗轧采用横-纵轧制方式,粗轧满足无连续道次压下率 $\geq 14\%$,粗轧后加速冷却中间坯,冷却速度 $< 10^\circ\text{C}/\text{s}$,中间坯表面温度不低于730℃,中间坯返红至表面温度780~800℃开始精轧,精轧后进行冷却,终冷钢板表面温度为300~400℃,冷却速度为4~6℃/s;

(5) 堆冷。

2. 如权利要求1所述的制备方法,其特征在于,所述步骤(2)为铸坯切割完毕后,放入缓冷坑,铸坯开始缓冷温度 $\geq 500^\circ\text{C}$,缓冷时间 ≥ 72 小时。

3. 如权利要求1所述的制备方法,其特征在于,所述步骤(3)采用预热段、加热段和均热段的三段加热工艺,其中预热段温度设定为700~850℃;加热段分为加热一段和加热二段,加热一段温度设定为1050~1200℃,加热二段温度设定为1180~1230℃;均热段温度设定为1150~1200℃。

4. 如权利要求1所述的制备方法,其特征在于,所述步骤(4)采用水冷的冷却方式。

5. 如权利要求1所述的制备方法,其特征在于,所述步骤(5)为钢板冷却后,快速将钢板放在500~600℃钢板间堆垛自然冷却,堆冷时间 ≥ 24 小时。

6. 一种采用如权利要求1~5任一所述的制备方法生产的屈服强度不小于550MPa的高性能桥梁钢。

7. 如权利要求6所述的高性能桥梁钢,其特征在于,所述高性能桥梁钢的厚度 $\leq 70\text{mm}$ 。

8. 如权利要求6所述的高性能桥梁钢,其特征在于,所述高性能桥梁钢的屈服强度 $\geq 550\text{MPa}$,抗拉强度 $\geq 660\text{MPa}$,断后伸长率 $\geq 20\%$,屈强比 ≤ 0.83 , $-60^\circ\text{C}KV_2 \geq 200\text{J}$ 。

9. 一种如权利要求6所述的高性能桥梁钢在免涂装建筑的结构件制造方面的应用。

一种屈服强度不小于550MPa的高性能桥梁钢及其制备方法和应用

技术领域

[0001] 本发明涉及冶金技术领域,具体涉及一种屈服强度不小于550MPa的高性能桥梁钢及其制备方法和应用。

背景技术

[0002] 建筑、钢桥用钢板长期暴露在空气中,经受腐蚀而损耗,在防锈蚀方面花费的费用占建筑、钢桥后期维护费用很大比重。高性能桥梁钢具有优良的耐腐蚀性能,在一定条件下可以不用涂装,相比于普通钢大大减少了钢结构的运行和维护成本,在桥梁、建筑结构等大型钢结构工程的应用中具有显著的经济和环保效应。

[0003] CN109161793A公开了一种低屈强比高强耐候钢及其生产方法,其屈服强度只有428~444MPa,成品规格6~12mm,且产品为热轧卷,钢材强度低,厚度规格薄。

[0004] CN101225498A公开了一种600MPa级高强耐候钢及其制备方法,其化学组成按重量百分比为C:0.045%-0.070%、Cu:0.20%~0.50%、Ti:0.060%~0.079%,C低、Cu、Ti高,成品为带钢。由于Cu、Ti含量高,带钢容易萌生裂纹,影响表面质量。

发明内容

[0005] 针对现有高性能桥梁钢的强度低、厚度薄及表面质量差的技术问题,本发明提供一种屈服强度不小于550MPa的高性能桥梁钢及其制备方法和应用,本发明采用较低碳成分,利用微合金元素保证力学性能,同时还能提高钢板的焊接性能,保证钢板的耐候性能。经本发明制造的高性能桥梁钢板屈强比、碳当量及焊接敏感系数较低,屈服强度可稳定达到550MPa以上,-60℃低温冲击功稳定达到大于200J,满足现代钢结构工程建设对高性能桥梁钢板的要求。

[0006] 第一方面,本发明提供一种屈服强度不小于550MPa的高性能桥梁钢的制备方法,包括如下步骤:

[0007] (1) 冶炼:采用转炉冶炼,顶底复吹,充分脱碳、脱磷;通过LF/RH精炼,降低有害元素/杂质含量,进行微合金化;全程保护浇铸,浇铸末端采用重压下技术,压下比率 $\geq 12\%$,铸坯化学成分重量百分比符合C:0.08%~0.11%,Si:0.10%~0.25%,Mn:1.40%~1.50%, $P \leq 0.015\%$, $S \leq 0.003\%$,Als:0.010%~0.040%,Cr:0.50%~0.60%,Cu:0.15%~0.20%,Ni:0.30%~0.40%,Nb:0.025%~0.040%,Ti:0.010%~0.040%;

[0008] (2) 缓冷;

[0009] (3) 加热:出钢铸坯温度为1150~1190℃;

[0010] (4) 控轧控冷:粗轧采用横-纵轧制方式,粗轧满足无连续道次压下率 $\geq 14\%$,粗轧后加速冷却中间坯,冷却速度 $< 10^\circ\text{C}/\text{s}$,中间坯表面温度不低于730℃,中间坯返红至表面温度780~800℃开始精轧,精轧后进行冷却,终冷钢板表面温度为300~400℃,冷却速度为4~6℃/s;

[0011] (5)堆冷。

[0012] 进一步的,所述步骤(2)为铸坯切割完毕后,放入缓冷坑,铸坯开始缓冷温度 $\geq 500^{\circ}\text{C}$,缓冷时间 ≥ 72 小时。

[0013] 进一步的,所述步骤(3)采用预热段、加热段和均热段的三段加热工艺,其中预热段温度设定为 $700\sim 850^{\circ}\text{C}$;加热段分为加热一段和加热二段,加热一段温度设定为 $1050\sim 1200^{\circ}\text{C}$,加热二段温度设定为 $1180\sim 1230^{\circ}\text{C}$;均热段温度设定为 $1150\sim 1200^{\circ}\text{C}$ 。

[0014] 进一步的,所述步骤(4)采用水冷的冷却方式。

[0015] 进一步的,所述步骤(5)为钢板冷却后,快速将钢板放在 $500\sim 600^{\circ}\text{C}$ 钢板间堆垛自然冷却,堆冷时间 ≥ 24 小时。

[0016] 第二方面,本发明提供一种采用上述制备方法生产的屈服强度不小于 550MPa 的高性能桥梁钢。

[0017] 进一步的,所述高性能桥梁钢的厚度 $\leq 70\text{mm}$ 。

[0018] 进一步的,所述高性能桥梁钢的屈服强度 $\geq 550\text{MPa}$,抗拉强度 $\geq 660\text{MPa}$,断后伸长率 $\geq 20\%$,屈强比 ≤ 0.83 , $-60^{\circ}\text{CKV}_2 \geq 200\text{J}$ 。

[0019] 第三方面,本发明还提供一种上述高性能桥梁钢在免涂装建筑,如桥梁、户外塔架等的结构件制造方面的应用。

[0020] 化学成分是影响钢板综合性能的重要因素之一,对本发明的化学成分范围说明如下。

[0021] C:钢中主要的固溶强化元素,能够显著提高钢板强度,但较高的碳含量对钢板焊接、韧性及塑性不利。为有效减少偏析,提高显微组织均匀性,避免异相之间的电位差引起原电池腐蚀,提高钢的耐蚀性能,同时考虑经济性;因此限定其质量百分比含量为C: $0.08\% \sim 0.11\%$ 。

[0022] Si:硅是炼钢过程有效的脱氧和放热元素之一,有一定的固溶强化作用,有利于致密锈层的形成,能提高钢的耐大气腐蚀性能,但硅含量过高会降低钢的表面质量、焊接性能和低温韧性,本发明硅含量控制在 $0.10\% \sim 0.25\%$ 。

[0023] Mn:锰具有较强的固溶强化作用,能显著降低钢的相变温度,细化钢的显微组织,而且成本低廉,是提高强度的有效元素,为了实现足够高的拉伸强度,获得低屈强比,含量不应低于 0.80% ;但含量过高容易造成铸坯偏析,会形成带状组织,降低钢板的可焊性和焊接热影响区韧性,以及耐腐蚀性;本发明锰含量控制在 $1.40\% \sim 1.50\%$ 。

[0024] P:磷能提高钢的耐候性,增加钢的冷脆性,恶化焊接性能;因而本发明不采用高含量的磷来增加耐候性,而是通过其它合金元素的合理组合来达到高的耐腐蚀性能;本发明磷含量控制在 $\leq 0.015\%$ 。

[0025] S:硫使钢产生热脆,降低钢的延展性和韧性,还促进钢板的各向异性,并且硫化物夹杂还显著降低钢的耐腐蚀性能,应严格控制钢中的硫含量;本发明硫含量控制在 $\leq 0.003\%$ 。

[0026] Al:铝是炼钢过程有效的脱氧元素之一,可有效减少钢中夹杂物含量,细化晶粒,但含量过高,容易使铸坯表面产生裂纹,本发明铝含量控制在 $0.010\% \sim 0.040\%$ 。

[0027] Cr:铬不仅是提高钢淬透性的元素,还是提高钢耐候性的有效元素之一,本发明未采用高含量的磷来提高钢的耐候性,因此铬含量不能过低;另一方面,铬含量过高将影响钢

的韧性,且焊接性也会变差,因而Cr含量宜控制在0.50%~0.60%。

[0028] Cu:铜是提高钢耐候性的有效元素之一,它的电化学电位比高,能够使钢板表面的铁锈致密化,促进稳定锈层的形成,但含量过高时将引起钢坯在加热或热轧过程中产生裂纹,恶化钢板表面性能,铜应控制在0.15%~0.20%。

[0029] Ni:镍可以改善钢板耐候性,可防止铜脆现象发生,降低浇铸、热轧及焊接过程的热裂纹敏感性,此外,镍也是钢板获得优良低温韧性不可缺少的合金元素,但是成本高;综合考虑,镍应控制在0.30%~0.40%。

[0030] Nb:铌是细晶强化的重要元素之一,提高奥氏体再结晶温度,阻止奥氏体再结晶和抑制晶粒长大,细化奥氏体晶粒;其碳氮化物在位错上析出和奥氏体晶界偏聚,提高强度和韧性;但铌含量过高,铸坯容易产生表面裂纹,同时恶化焊接性能,本发明铌含量控制在0.025%~0.040%。

[0031] Ti:产生强烈的沉淀强化及中等程度的晶粒细化作用,钢中加入微量的钛,目的是与钢中氮结合,生成稳定性很高的氮化钛粒子,抑制焊接HAZ区奥氏体晶粒长大和改变二次相变产物,改善大线能量焊接的低温韧性。钢中添加的钛含量要与钢中的氮含量匹配,当加入钛含量过少,形成氮化钛粒子数量不足,不足以抑制HAZ的奥氏体晶粒长大和改变二次相变产物而改善大线能量焊接HAZ的低温韧性,加入钛含量过多时,在钢液凝固过程中析出大尺寸的氮化钛粒子,这种大尺寸粒子不但不能抑制HAZ的奥氏体晶粒长大,反而成为裂纹萌生的起始点;本发明钛含量控制在0.010%~0.040%。

[0032] 本发明的有益效果在于:

[0033] 本发明采用低成本微合金化设计,配合TMCP工艺,添加合金元素Cu、Cr、Ni改善钢板耐候性及综合力学性能,降低了贵重元素用量;钢板具有优异的强韧性和强塑性匹配、低屈强比、耐候性、焊接性及抗疲劳性能。具体的,①本发明专利涉及钢成分设计简单,微观组织均匀性好,耐腐蚀性能好,极佳的强韧性匹配,优异的低温韧性,70mm厚钢板-60℃低温冲击功大于200J,同时具有优异的焊接性能、低屈强比、耐疲劳和耐腐蚀性能。②本专利涉及钢耐候性能优异,相对传统耐候钢,耐候性能提高1.5倍以上,可取代传统高强耐候钢,以降低使用和维修成本。③本专利涉及钢采用低碳+微量Cu、Cr、Ni等合金元素,不依赖粗轧大压下率,通过TMCP工艺生产,生产周期短、成本低,利于推广应用。

具体实施方式

[0034] 为了使本技术领域的人员更好地理解本发明中的技术方案,下面将对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都应当属于本发明保护的范围。

[0035] 实施例1

[0036] 一种70mm高性能桥梁钢,化学成分为C:0.085%,Si:0.20%,Mn:1.47%,P:0.010%,S:0.002%,Al:0.03%,Cr:0.55%,Cu:0.20%,Ni:0.34%,Nb:0.035%,Ti:0.018%,其余为Fe和不可避免的杂质。

[0037] 制备方法如下:

[0038] (1)冶炼:原料经转炉冶炼,顶底复吹,充分脱碳、脱磷;通过LF/RH精炼,降低有害

元素/杂质含量,进行微合金化,钙处理后得到钢水;全程保护浇铸,浇铸末端采用重压下技术,最终连铸成铸坯;

[0039] 过程关键参数:真空达到133pa以下,保压时间14min,纯脱气时间10min,软吹时间12min,RH处理后镇静时间35min,连铸重压下压下率12.8%;

[0040] (2) 缓冷:铸坯切割完毕后,放入缓冷坑,铸坯开始缓冷温度为630℃,缓冷时间为75小时;

[0041] (3) 加热:采用预热段、加热段和均热段的三段加热工艺,其中预热段温度设定为700~850℃;

[0042] 加热段分为加热一段和加热二段,加热一段温度设定为1050~1200℃,加热二段温度设定为1180~1230℃;

[0043] 均热段温度设定为1150~1200℃;

[0044] 出钢铸坯温度为1180℃;

[0045] (4) 控轧控冷:铸坯出炉经除鳞机和水冷后采用粗轧+精轧的二阶段轧制工艺,粗轧采用横-纵轧制方式,粗轧最大压下率13.6%,粗轧后加速冷却中间坯,冷却速度6℃/s,中间坯表面温度为750℃,中间坯返红至表面温度780℃开始精轧,精轧后进行水冷冷却,终冷钢板表面温度为320℃,冷却速度为5℃/s;

[0046] (5) 堆冷:钢板水冷后,快速将钢板放在550℃钢板间堆垛自然冷却,堆冷时间为48小时。

[0047] 实施例2

[0048] 一种40mm高性能桥梁钢,化学成分为C:0.090%,Si:0.18%,Mn:1.45%,P:0.010%,S:0.002%,Al:0.03%,Cr:0.52%,Cu:0.16%,Ni:0.32%,Nb:0.028%,Ti:0.018%,其余为Fe和不可避免的杂质。

[0049] 制备方法如下:

[0050] (1) 冶炼:原料经转炉冶炼,顶底复吹,充分脱碳、脱磷;通过LF/RH精炼,降低有害元素/杂质含量,进行微合金化,钙处理后得到钢水;全程保护浇铸,浇铸末端采用重压下技术,最终连铸成铸坯;

[0051] 过程关键参数:真空达到133pa以下,保压时间15min,纯脱气时间10min,软吹时间12min,RH处理后镇静时间32min,连铸重压下压下率12.5%;

[0052] (2) 缓冷:铸坯切割完毕后,放入缓冷坑,铸坯开始缓冷温度为640℃,缓冷时间为75小时;

[0053] (3) 加热:采用预热段、加热段和均热段的三段加热工艺,其中预热段温度设定为700~850℃;

[0054] 加热段分为加热一段和加热二段,加热一段温度设定为1050~1200℃,加热二段温度设定为1180~1230℃;

[0055] 均热段温度设定为1150~1200℃;

[0056] 出钢铸坯温度为1185℃;

[0057] (4) 控轧控冷:铸坯出炉经除鳞机和水冷后采用粗轧+精轧的二阶段轧制工艺,粗轧采用横-纵轧制方式,粗轧最大压下率14.4%,无连续道次压下率 $\geq 14\%$,粗轧后加速冷却中间坯,冷却速度8℃/s,中间坯表面温度为760℃,中间坯返红至表面温度790℃开始精

轧,精轧后进行水冷冷却,终冷钢板表面温度为360℃,冷却速度为6℃/s;

[0058] (5)堆冷:钢板水冷后,快速将钢板放在550℃钢板间堆垛自然冷却,堆冷时间为48小时。

[0059] 实施例3

[0060] 一种20mm高性能桥梁钢,化学成分为C:0.085%,Si:0.20%,Mn:1.41%,P:0.010%,S:0.002%,Al:0.03%,Cr:0.53%,Cu:0.17%,Ni:0.31%,Nb:0.030%,Ti:0.017%,其余为Fe和不可避免的杂质。

[0061] 制备方法如下:

[0062] (1)冶炼:原料经转炉冶炼,顶底复吹,充分脱碳、脱磷;通过LF/RH精炼,降低有害元素/杂质含量,进行微合金化,钙处理后得到钢水;全程保护浇铸,浇铸末端采用重压下技术,最终连铸成铸坯;

[0063] 过程关键参数:真空达到133pa以下,保压时间15min,纯脱气时间10min,软吹时间11min,RH处理后镇静时间34min,连铸重压下压下率12.3%;

[0064] (2)缓冷:铸坯切割完毕后,放入缓冷坑,铸坯开始缓冷温度为650℃,缓冷时间为75小时;

[0065] (3)加热:采用预热段、加热段和均热段的三段加热工艺,其中预热段温度设定为700~850℃;

[0066] 加热段分为加热一段和加热二段,加热一段温度设定为1050~1200℃,加热二段温度设定为1180~1230℃;

[0067] 均热段温度设定为1150~1200℃;

[0068] 出钢铸坯温度为1190℃;

[0069] (4)控轧控冷:铸坯出炉经除鳞机和水冷后采用粗轧+精轧的二阶段轧制工艺,粗轧采用横-纵轧制方式,粗轧最大压下率13.4%,粗轧后加速冷却中间坯,冷却速度9℃/s,中间坯表面温度为770℃,中间坯返红至表面温度790℃开始精轧,精轧后进行水冷冷却,终冷钢板表面温度为380℃,冷却速度为6℃/s;

[0070] (5)堆冷:钢板水冷后,快速将钢板放在580℃钢板间堆垛自然冷却,堆冷时间为48小时。

[0071] 对实施例1~3钢板的拉伸性能和低温韧性进行测试,测试结果分别如下表1、2所示。

[0072] 表1本发明实施例钢板的拉伸性能

编号	厚度/mm	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	断后伸长率/%	屈强比
[0073] 实施例 1	70	580	720	27.5	0.82

[0074] 实施例 2	40	595	735	28.0	0.81
实施例 3	20	590	720	28.5	0.82

[0075] 表2本发明实施例钢板的低温韧性

编号	厚度/mm	冲击性能					纤维率/%
		方向	温度/°C	AKV/J			
[0076] 实施例 1	70	纵向	-60	208	210	212	100
实施例 2	40	纵向	-60	300	305	316	100
实施例 3	20	纵向	-60	320	310	322	100

[0077] 对实施例1~3钢板的电化学腐蚀电位进行测定,测试方法如下:

[0078] 采用三电极体系,工作电极分别是面积为 $10 \times 10\text{mm}^2$ 的裸板电极和经30个干湿交替周期腐蚀后制备的带锈电极,参比电极为饱和甘汞电极(SCE),辅助电极是面积为 9cm^2 的铂片,工作电极与参比电极之间采用盐桥相连。工作温度为室温 25°C ,所有的电位值均是相对于饱和甘汞电极的电位(SCE)。极化曲线采用Solartron1287动电位扫描,扫描电位范围为 $\pm 0.2\text{Vvs. E}_{\text{corr}}$ (相对于自腐蚀电位),扫描速度为 0.1667mV/s 。实验在室温下进行。以Corten-A作为对比。电化学测定后的腐蚀电位如下表3所示。

[0079] 表3本发明实施例钢板的自腐蚀电位(单位:mV)

编号	自腐蚀电位E vs. SCE
Corten-A	-606
实施例1	-508
实施例2	-498
实施例3	-500

[0081] 将实施例1~3钢板按照TB/T 2375-1993《铁路用耐候钢周期浸润腐蚀试验方法》加工成标准试样,并与Corten-A钢对比,进行72小时和144小时周期浸润试验,结果如表4所示。

[0082] 表4周期浸润试验结果(单位: $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$)

编号	72 小时腐蚀失重	144 小时腐蚀失重
[0083] Corten-A	3.114	1.817
实施例 1	1.387	0.761

[0084] 实施例 2	1.380	0.735
实施例 3	1.348	0.723

[0085] 尽管通过优选实施例的方式对本发明进行了详细描述,但本发明并不限于此。在不脱离本发明的精神和实质的前提下,本领域普通技术人员可以对本发明的实施例进行各种等效的修改或替换,而这些修改或替换都应在本发明的涵盖范围内/任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内,可轻易想到变化或替换,都应涵盖在本发明的保护范围之内。