



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113957346 B

(45) 授权公告日 2022.10.25

(21) 申请号 202111236132.0

(22) 申请日 2021.10.22

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 113957346 A

(43) 申请公布日 2022.01.21

(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 程文华 金璐 周兰聚
胡淑娥 袁蓉 徐国军 毕永杰
胡晓英 丛林 李鹏芸 孙毓磊
张康 张英杰 李峰

(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 辛向东

(51) Int.Cl.

G22C 38/02 (2006.01)

G22C 38/04 (2006.01)

G22C 38/06 (2006.01)

G22C 38/42 (2006.01)

G22C 38/44 (2006.01)

G22C 38/48 (2006.01)

G22C 38/50 (2006.01)

G22C 33/04 (2006.01)

G21D 8/02 (2006.01)

G21D 8/00 (2006.01)

审查员 吴启帆

权利要求书1页 说明书7页

(54) 发明名称

一种屈服强度不小于500MPa高性能桥梁钢及其制备方法和应用

(57) 摘要

本发明属于冶金技术领域,具体涉及一种屈服强度不小于500MPa高性能桥梁钢及其制备方法和应用。桥梁钢包括如下成分:C:0.03~0.06%,Si:0.10%~0.25%,Mn:1.30~1.50%, $P \leq 0.015\%$, $S \leq 0.003\%$,Als:0.010~0.040%,Cr:0.25~0.45%,Mo:0.05~0.20%,Cu:0.20~0.30%,Ni:0.25~0.40%,Nb:0.030~0.040%,Ti:0.010~0.040%,其余为Fe和杂质。本发明采用微合金化设计,配合TMCP工艺,降低了贵重元素,组织细小均匀,制得钢板具有强韧性、低屈强比、耐候性、焊接性及抗疲劳性能。

1. 一种屈服强度不小于500MPa高性能桥梁钢,其特征在于,包括如下百分含量的成分: C:0.03~0.06%, Si:0.10%~0.25%, Mn:1.30~1.50%, $P \leq 0.015\%$, $S \leq 0.003\%$, Als: 0.010~0.040%, Cr:0.25~0.45%, Mo:0.05~0.20%, Cu:0.20~0.30%, Ni:0.25~0.40%, Nb:0.030~0.040%, Ti:0.010~0.040%, 其余为Fe和不可避免的杂质;

成品钢的厚度为8~60mm,屈服强度 $\geq 500\text{MPa}$,抗拉强度 $\geq 650\text{MPa}$,断后伸长率 $\geq 25\%$,屈强比 ≤ 0.83 ,温度-60℃下KV2 $\geq 280\text{J}$;

所述的屈服强度不小于500MPa高性能桥梁钢的制备方法,具体包括如下步骤:

1) 冶炼,连铸:真空达到133Pa 以下,保压时间 $\geq 12\text{min}$,纯脱气时间 $\geq 8\text{min}$,软吹时间 $\geq 12\text{min}$,RH处理后镇静时间 $\geq 30\text{min}$,连铸采用重压下工艺技术,压下率控制在12%;

2) 铸坯缓冷:铸坯切割完毕后,放入缓冷坑,开始缓冷铸坯温度 $\geq 500\text{℃}$,缓冷时间不少于72小时;

3) 连铸板坯加热:加热采用三段加热工艺,第一段:预热段温度设定800℃~850℃;第二段:分为加热2-1段和加热2-2段,加热2-1段温度设定1050℃~1180℃,在1050℃~1100℃区间采用快速加热,加热2-2段温度设定1180℃~1220℃;第三段:均热段炉气温度设定为1150℃~1200℃;出钢铸坯温度为1170℃;

4) 轧制:采用二阶段轧制,粗轧开轧铸坯表面温度1000℃以下,至少连续三道次压下率 $\geq 15\%$,采用横-纵轧制方式;精轧开轧中间坯表面温度760℃~860℃,终轧钢板表面温度750℃~770℃;

5) 冷却:钢板轧后水冷,成品厚度8mm~20mm,钢板表面开冷温度750℃,钢板表面终冷温度350℃,冷却速度15℃/s~20℃/s;

成品厚度20mm~60mm,钢板表面开冷温度740℃,采用在线直接淬火到室温;

6) 堆冷:钢板水冷后,快速将钢板放在400~500℃堆冷,堆冷时间不少于24小时。

2. 如权利要求1所述的屈服强度不小于500MPa高性能桥梁钢的应用,其特征在于:应用于制备免涂装桥梁钢板或免涂装桥梁结构件。

一种屈服强度不小于500MPa高性能桥梁钢及其制备方法和应用

技术领域

[0001] 本发明属于冶金技术领域,具体涉及一种屈服强度不小于500MPa高性能桥梁钢及其制备方法和应用。

背景技术

[0002] 桥梁长期暴露在空气中,长期经受腐蚀而损耗,在防锈蚀方面花费的费用占钢桥后期维护费用很大比重;耐候钢具有优良的耐腐蚀性能,在一定条件下可以不用涂装,大大减少了钢结构的运行和维护成本,具有显著的经济和环保效应;高性能桥梁用钢可满足我国对钢桥提出的节约环保及可持续发展的新要求,要求在桥梁建造上采用高性能钢的呼声已经重新引领桥梁钢研发、桥梁设计建造领域人员的重视,势必会在钢结构桥梁上得到大力推广。因此,高性能钢相比于普通钢在桥梁、建筑结构等大型钢结构工程的应用中具有显著的优势。

[0003] CN 111378898 A公开了一种500MPa免涂装耐候钢及其制造方法,其Cr、Ni、Cu含量高,生产成本高,且产品为热轧卷。CN 109112392 A公开了一种TMCP型高强韧高疲劳性能耐候桥梁钢板及其制备方法,其化学组成按重量百分比为:Mn:1.40%~1.60%、Nb:0.045%~0.058%、Ni:0.45%~0.55%、Cu:0.30%~0.35%,采用超低碳、高合金含量生产,生产成本高。CN 109161793 A公开了一种500MPa低屈强比耐候钢及其制造方法,其化学组成按重量百分比为Mn:1.40%~1.50%、V:0.010%~0.030%、Cu:0.30%~0.40%、Cr:0.45%~0.60%、Ni:0.30%~0.45%,其Mn、Cr、Ni、Cu含量高,且采用离线回火工艺生产,生产成本高。以上所述专利成本较高,而且制得的耐候钢屈服强度不甚理想。

发明内容

[0004] 针对现有技术的桥梁钢屈服强度低、制备成本高等技术问题,本发明提供一种屈服强度不小于500MPa高性能桥梁钢及其制备方法和应用,所制得的桥梁钢满足强度、韧性、耐候性等要求,具有较低的屈强比、碳当量及焊接敏感系数,所制得桥梁钢板屈服强度可稳定达到500MPa以上,-60℃低温冲击功稳定达到大于280J,满足现代桥梁工程建设对高性能桥梁钢板的要求。

[0005] 第一方面,本发明提供一种屈服强度不小于500MPa高性能桥梁钢,包括如下百分含量的成分:C:0.03~0.06%,Si:0.10%~0.25%,Mn:1.30~1.50%, $P \leq 0.015\%$, $S \leq 0.003\%$,Als:0.010~0.040%,Cr:0.25~0.45%,Mo:0.05~0.20%,Cu:0.20~0.30%,Ni:0.25~0.40%,Nb:0.030~0.040%,Ti:0.010~0.040%,其余为Fe和不可避免的杂质。

[0006] 进一步的,本发明按照如上成分,所制得成品钢的厚度为8~60mm,屈服强度 $\geq 500\text{MPa}$,抗拉强度 $\geq 650\text{MPa}$,断后伸长率 $\geq 25\%$,屈强比 ≤ 0.83 ,温度-60℃下KV2 $\geq 280\text{J}$ 。

[0007] 化学成分是影响产品综合性能的重要因素之一,对本发明的化学成分进行了限制,说明如下。

[0008] 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:0.03%~0.06%。

[0009] 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%~0.25%。

[0010] 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1.30%~1.50%。

[0011] 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 $\leq 0.015\%$ 。

[0012] 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 $\leq 0.003\%$ 。

[0013] 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0.01%~0.04%。

[0014] 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,其下限控制为0.25%,另一方面,铬含量过高将影响钢的韧性,且焊接性也会变差,因而含量的上限定为0.45%。

[0015] 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0.20%~0.30%。

[0016] 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0.25%~0.40%。

[0017] Mo:减缓碳化物在奥氏体中的溶解速度,对钢由奥氏体分解为珠光体的转变有强烈的抑制作用,对淬透性的影响尤为显著,当Mo与Ni同时加入时,Mo在控制轧制过程中可增大对奥氏体再结晶的抑制作用,进而促进奥氏体显微组织的细化。过多的Mo会损害焊接时形成的热影响区的韧性,降低钢的可焊性;综合考虑,钼含量应控制在0.05%~0.20%。

[0018] 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0.030%~0.040%。

[0019] 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%。

[0020] 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,保证钢板的高性能。

[0021] 第二方面,本发明提供一种屈服强度不小于500MPa高性能桥梁钢的制备方法,包括如下步骤:将权利要求1所述的成分经冶炼,连铸得到铸坯,将铸坯缓冷,加热,轧制,冷却,堆冷所得;其中加热采用三段加热工艺,第一段为预热段,第二段为加热2-1段和加热2-2段,在加热2-1段连铸坯温度1050℃~1100℃区间采用快速加热。

[0022] 进一步的,冶炼工艺为:真空达到133pa以下,保压时间 $\geq 12\text{min}$,纯脱气时间 $\geq 8\text{min}$,软吹时间: $\geq 12\text{min}$,RH处理后镇静时间 $\geq 30\text{min}$;连铸采用重压下工艺技术,压下率控制在12%。

[0023] 进一步的,铸坯缓冷工艺为:铸坯切割完毕后,放入缓冷坑,开始缓冷铸坯温度 $\geq 500^\circ\text{C}$,缓冷时间不少于72小时。

[0024] 进一步的,加热采用三段加热工艺,第一段:预热段温度设定800℃~850℃;第二段:分为加热2-1段和加热2-2段,加热2-1段温度设定1050℃~1180℃,在1050℃~1100℃区间采用快速加热,加热2-2段温度设定1180℃~1220℃;第三段:均热段炉气温度设定为1150℃~1200℃;出钢铸坯温度为1170℃。

[0025] 进一步的,轧制采用二阶段轧制,粗轧开轧铸坯表面温度1000℃以下,至少连续三道次压下率 $\geq 15\%$,采用横-纵轧制方式;精轧开轧中间坯表面温度760℃~860℃,终轧钢板表面温度750℃~770℃。

[0026] 进一步的,冷却工艺为:钢板轧后水冷,成品厚度8mm~20mm,钢板表面开冷温度750℃,钢板表面终冷温度350℃,冷却速度15℃/s~20℃/s;成品厚度20mm~60mm,钢板表面开冷温度740℃,采用在线直接淬火到室温。

[0027] 作为一个优选的技术方案,本发明所述的屈服强度不小于500MPa高性能桥梁钢的制备方法,具体包括如下步骤:

[0028] 1) 冶炼,连铸: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,冶炼真空达到133pa以下,保压时间 $\geq 12\text{min}$,纯脱气时间 $\geq 8\text{min}$,软吹时间: $\geq 12\text{min}$,RH处理后镇静时间 $\geq 30\text{min}$,连铸采用重压下工艺技术,压下率控制在12%;

[0029] 2) 铸坯缓冷:铸坯切割完毕后,放入缓冷坑,开始缓冷铸坯温度 $\geq 500^\circ\text{C}$,缓冷时间不少于72小时;

[0030] 3) 连铸板坯加热:加热采用三段加热工艺,第一段:预热段温度设定800℃~850℃;第二段:分为加热2-1段和加热2-2段,加热2-1段温度设定1050℃~1180℃,在1050℃~1100℃区间采用快速加热,加热2-2段温度设定1180℃~1220℃;第三段:均热段炉气温度设定为1150℃~1200℃;出钢铸坯温度为1170℃;

[0031] 4) 轧制:采用二阶段轧制,粗轧开轧铸坯表面温度1000℃以下,至少连续三道次压下率 $\geq 15\%$,采用横-纵轧制方式;精轧开轧中间坯表面温度760℃~860℃,终轧钢板表面

温度750℃~770℃；

[0032] 5) 冷却: 钢板轧后水冷, 成品厚度8mm~20mm, 钢板表面开冷温度750℃, 钢板表面终冷温度350℃, 冷却速度15℃/s~20℃/s;

[0033] 成品厚度20mm~60mm, 钢板表面开冷温度740℃, 采用在线直接淬火到室温;

[0034] 6) 堆冷: 钢板水冷后, 快速将钢板放在400~500℃堆冷, 堆冷时间不少于24小时。

[0035] 本发明所述的制备方法, 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改善耐侯性及综合力学性能, 降低了贵重元素用产品组织细小均匀, 主要为贝氏体+铁素体+少量珠光体或贝氏体+铁素体组织量; 本发明所制得钢板具有优异的强韧性和强塑性匹配、低屈强比、耐侯性、焊接性及抗疲劳性能。

[0036] 本发明所制备的桥梁钢适用于免涂装桥梁钢板或桥梁结构件, 具有优异的焊接性能、低屈强比、耐疲劳和耐腐蚀性能。

[0037] 本发明的有益效果在于:

[0038] (1) 本发明涉及钢成分设计简单, 微观组织均匀性好, 微区电极电位差小, 极佳的强韧性匹配, 优异的低温韧性, 60mm厚钢板-60℃低温冲击功大于280J, 同时具有优异的焊接性能、低屈强比、耐疲劳和耐腐蚀性能。

[0039] (2) 本发明制备的钢耐侯性能优异, 相对传统耐侯钢, 耐侯性能提高1.5倍以上, 可取代传统高强耐侯钢, 可免涂装应用于桥梁钢板或户外塔架等领域, 以降低使用和维修成本。

[0040] (3) 本发明钢采用低碳+微量Cu、Cr、Ni等合金元素, 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

[0041] 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。

[0042] 实施例1

[0043] 本实施例所述的桥梁钢的化学成分如下: C: 0.05%, Si: 0.21%, Mn: 1.48%, P: 0.010%, S: 0.002%, Al: 0.03%, Cr: 0.40%, Mo: 0.15%、Cu: 0.27%, Ni: 0.32%, Nb: 0.035%, Ti: 0.018%, 其余为Fe和不可避免的杂质。所述桥梁钢成品厚度为60mm。

[0044] 本实施例所述的桥梁钢的制备方法, 原料通过冶炼、精炼、合金化、钙处理, 得到钢水, 最终连铸成铸坯。具体包括如下步骤:

[0045] 1) 冶炼转炉采用顶底复吹, 充分脱碳、脱磷, 终点碳含量0.02%, 磷含量0.007%; LF进行微合金, 终点碳0.04%, 磷含量0.009%, 微合金含量添加到目标值; RH真空达到133pa以下, 保压时间14min, 纯脱气时间10min, 软吹时间15min, RH处理后镇静时间35min。

[0046] 2) 浇铸末端采用重压下技术, 压下比率12%。

[0047] 3) 缓冷: 铸坯切割完毕后, 放入缓冷坑, 铸坯开始缓冷温度550℃, 缓冷时间80小时。

[0048] 4) 加热: 采用三段加热工艺, 第一段: 预热段温度设定800℃~850℃; 第二段: 分为

加热2-1段和加热2-2段,加热2-1段温度设定1050℃~1180℃,在1050℃~1100℃区间采用快速加热,加热2-2段温度设定1180℃~1220℃;第三段:均热段炉气温度设定为1150℃~1200℃;出钢铸坯温度为1170℃。

[0049] 5) 轧制:铸坯出炉经除鳞机和水冷,998℃开始粗轧,连续四个道次压下率分别为15.1%、16.2%、16.5%和17.6%,精轧开轧钢板表面温度780℃,终轧钢板表面温度770℃,弛豫等待钢板表面温度740℃开始冷却。

[0050] 6) 冷却:开冷钢板表面温度740℃,在线淬火后钢板表面返红温度150℃,钢板下线堆冷在480℃钢板之间。综合性能如表1~2所示。

[0051] 实施例2

[0052] 本实施例所述的桥梁钢的化学成分如下:C:0.05%,Si:0.20%,Mn:1.40%,P:0.010%,S:0.002%,Al:0.03%,Cr:0.32%,Mo:0.12%、Cu:0.25%,Ni:0.30%,Nb:0.032%,Ti:0.018%,其余为Fe和不可避免的杂质。所述桥梁钢成品厚度为40mm。

[0053] 本实施例所述的桥梁钢的制备方法,原料通过冶炼、精炼、合金化、钙处理,得到钢水,最终连铸成铸坯。具体包括如下步骤:

[0054] 1) 冶炼转炉采用顶底复吹,充分脱碳、脱磷,终点碳含量0.025%,磷含量0.008%;LF进行微合金,终点碳0.04%,磷含量0.010%,微合金含量添加到目标值;RH真空达到133pa以下,保压时间14min,纯脱气时间9min,软吹时间13min,RH处理后镇静时间34min。

[0055] 2) 浇铸末端采用重压下技术,压下比率12.9%。

[0056] 3) 缓冷:铸坯切割完毕后,放入缓冷坑,铸坯开始缓冷温度530℃,缓冷时间72小时。

[0057] 4) 加热:采用三段加热工艺,第一段:预热段温度设定800℃~850℃;第二段:分为加热2-1段和加热2-2段,加热2-1段温度设定1050℃~1180℃,在1050℃~1100℃区间采用快速加热,加热2-2段温度设定1180℃~1220℃;第三段:均热段炉气温度设定为1150℃~1200℃;出钢铸坯温度为1170℃。

[0058] 5) 轧制:铸坯出炉经除鳞机和水冷,990℃开始粗轧,连续四个道次压下率分别为16.1%、17.2%、18.6%和19.6%,精轧开轧钢板表面温度790℃,终轧钢板表面温度770℃,弛豫等待钢板表面温度740℃开始冷却。

[0059] 6) 冷却:开冷钢板表面温度740℃,在线淬火后钢板表面返红温度140℃,钢板下线堆冷在460℃钢板之间。综合性能如表1~2所示。

[0060] 实施例3

[0061] 本实施例的8mm高性能桥梁钢的化学成分如下:C:0.04%,Si:0.20%,Mn:1.35%,P:0.010%,S:0.003%,Al:0.031%,Cr:0.30%,Mo:0.12%、Cu:0.25%,Ni:0.30%,Nb:0.038%,Ti:0.016%,其余为Fe和不可避免的杂质。所述桥梁钢成品厚度为8mm。

[0062] 本实施例所述的桥梁钢的制备方法,原料通过冶炼、精炼、合金化、钙处理,得到钢水,最终连铸成铸坯。具体包括如下步骤:

[0063] 1) 冶炼转炉采用顶底复吹,充分脱碳、脱磷,终点碳含量0.02%,磷含量0.007%;LF进行微合金,终点碳0.035%,磷含量0.009%,微合金含量添加到目标值;RH真空达到133pa以下,保压时间146min,纯脱气时间10min,软吹时间14min,RH处理后镇静时间32min。

[0064] 2) 浇铸末端采用重压下技术,压下比率12.3%。

[0065] 3) 缓冷:铸坯切割完毕后,放入缓冷坑,铸坯开始缓冷温度500℃,缓冷时间73小时。

[0066] 4) 加热:采用三段加热工艺,第一段:预热段温度设定800℃~850℃;第二段:分为加热2-1段和加热2-2段,加热2-1段温度设定1050℃~1180℃,在1050℃~1100℃区间采用快速加热,加热2-2段温度设定1180℃~1230℃;第三段:均热段炉气温度设定为1150℃~1210℃;出钢铸坯温度为1190℃。

[0067] 5) 轧制:铸坯出炉经除鳞机和水冷,996℃开始粗轧,连续四个道次压下率分别为17.1%、19.2%、21.3%和26.4%,精轧开轧钢板表面温度860℃,终轧钢板表面温度770℃,弛豫等待钢板表面温度750℃开始冷却。

[0068] 6) 冷却:钢板轧后水冷,钢板表面开冷温度750℃,钢板表面终冷温度345℃,冷却速度19℃/s。钢板下线堆冷在500℃钢板之间。综合性能如表1~2所示。

[0069] 表1本发明实施例钢板的拉伸性能

实施例	厚度/mm	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	断后伸长率/%	屈强比
实施例1	60	530	660	27.5	0.80
实施例2	40	545	665	28.0	0.82
实施例3	8	550	662	28.5	0.83

[0071] 表2本发明实施例钢板的低温韧性

实施例	厚度/mm	冲击性能					纤维率/%
		方向	温度/℃	AKV/J			
实施例1	60	纵向	-60	306	310	312	100
实施例2	40	纵向	-60	340	350	336	100
实施例3	8	纵向	-60	320	310	302	100

[0074] 实施例4

[0075] 1. 电化学腐蚀电位测定

[0076] 电化学测试采用三电极体系: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℃,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 $\pm 0.2 \text{V vs. E}_{\text{corr}}$ (相对于自腐蚀电位),扫描速度为 0.1667mV/s 。实验在室温下进行。电化学测定后的腐蚀电位如表3所示:

[0077] 表3电化学测定后的腐蚀电位测试

	自腐蚀电位E vs. SCE, mV
Corten-A	-606
实施例1	-509
实施例2	-486
实施例3	-501

[0079] 2. 周期亲润试验

[0080] 将实施例桥梁钢板按照《TB 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钢做对比,进行72小时和144小时周期浸润试验,试验结果如表4所示。

[0081] 表4周期浸润试验结果

编号	72 小时腐蚀失重 $g/(m^2 \cdot h)$	144 小时腐蚀失重 $g/(m^2 \cdot h)$
[0082] Corten-A	3.114	1.817
实施例 1	1.398	0.751
[0083] 实施例 2	1.360	0.745
实施例 3	1.338	0.743

[0084] 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。