

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

C22C 38/42 (2006.01)

B21B 37/74 (2006.01)



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200510111858.6

[45] 授权公告日 2008 年 10 月 1 日

[11] 授权公告号 CN 100422373C

[22] 申请日 2005.12.22

[21] 申请号 200510111858.6

[73] 专利权人 宝山钢铁股份有限公司

地址 201900 上海市宝山区富锦路果园

[72] 发明人 李自刚 温东辉 屈朝霞 杨阿娜

[56] 参考文献

CN1104686A 1995.7.5

JP9-176873A 1997.7.8

JP10-1745A 1998.1.6

审查员 贾士利

[74] 专利代理机构 上海浦东良风专利代理有限责  
任公司  
代理人 张劲风

权利要求书 1 页 说明书 6 页

[54] 发明名称

一种高强度低合金耐大气腐蚀钢及其生产方法

[57] 摘要

本发明涉及一种高强度耐大气腐蚀钢及其生产方法。主要解决现有耐大气腐蚀钢屈服强度达不到 550MPa 级别以及低温冲击韧性不佳的技术问题。

一种低合金耐大气腐蚀钢，化学成份重量百分比为：C：0.05-0.10%， $Si \leq 0.75\%$ ，Mn：1.0~1.6%， $P \leq 0.020\%$ ， $S \leq 0.010\%$ ，Al：0.01-0.05%，Cu：0.20-0.55%，Cr：0.20-0.45%，Ni：0.12-0.40%，Ca：0.001-0.006%，N：0.001-0.006%，此外还含  $Nb \leq 0.07\%$ ， $Ti \leq 0.025\%$ ， $Mo \leq 0.35\%$  中的两种或两种以上，余量为 Fe 和不可避免的杂质元素。生产方法为采用常规冶炼工艺，钢坯在 1200℃ 以上再加热后，采用两阶段控制轧制，在 950℃ 以上开始精轧，累计压下率  $\geq 80\%$ ，精轧终轧温度低于 880℃，以 5-15℃/S

的冷却速率冷却到 400℃ 至 700℃ 卷取，再空冷到室温。用于车辆、集装箱、桥梁、建筑结构、塔桅栏柱、工程机械等。

1、一种高强度低合金耐大气腐蚀钢，其特征在于化学成份重量百分比为：  
C: 0.05-0.10%，Si $\leq$ 0.75%，Mn:1.0~1.6%，P $\leq$ 0.020%，S $\leq$ 0.010%，Al:0.01-0.05%，  
Cu:0.20-0.55%，Cr:0.20-0.45%，Ni:0.12-0.40%，Ca:0.001-0.006%，N:0.001- 0.006  
%，此外还含 Nb $\leq$ 0.07%、Ti $\leq$ 0.025%、Mo $\leq$ 0.35%中的两种或两种以上，余  
量为 Fe 和不可避免的杂质元素；冶炼工艺为按配比采用铁水预脱硫，转炉顶底  
复合吹炼，RH 真空循环脱气工艺，同时进行钙处理，钢坯在 1200℃以上再加热  
后，采用两阶段控制轧制，粗轧开轧温度为 1195℃，精轧开轧温度为 950℃，累  
计压下率 $\geq$ 80%，精轧终轧温度低于 880℃，以 5—15℃/S 的冷却速率冷却到 400  
℃至 700℃卷取，再空冷到室温，不需要轧后热处理。

## 一种高强度低合金耐大气腐蚀钢及其生产方法

## 技术领域:

本发明涉及一种高强度耐大气腐蚀钢及其生产方法,属低合金钢制造领域。

## 背景技术:

在本发明之前已经有多个关于耐大气腐蚀钢(耐候钢)的发明专利,2002年公开的“耐大气腐蚀低合金结构钢(专利号00133579.0)”,1987年公开的“低合金耐大气腐蚀钢(专利号:85108118)”,2001年公开的“耐大气腐蚀钢(专利号:00121262.1)”。这类专利钢种都是具有一定的耐大气腐蚀性能的低合金结构钢,成份体系为Cu-P-Cr-Ni或Cr-P-Ti-RE,屈服强度为350MPa级别,而且低温冲击性能较低。

与本发明专利最相近的专利为2005年公布的中国专利申请“针状组织高强度耐候钢及其生产方法”(专利申请号:200410061112.4),详见表1“对比专利1”。该发明专利也属低合金钢制造领域。成分设计上采用极低碳、Cu-Cr-Ni-Mo-Nb的加入及Ti-Al-Zr-RE或Ca中的两种或两种以上复合添加,将碳含量控制在接近或小于常温下碳在 $\alpha$ -Fe中的最大溶解度0.0218%,以减少或抑制渗碳体的析出,保证主控组织为均匀的针状组织,以得到优良的耐候性能。该专利申请采用了冶炼难度很大的极低碳含量设计,碳含量为0.01-0.04%,大大增加了生产难度和制造成本,其可达到的屈服强度也低于550MPa。

与本发明专利较为接近的另一个专利为2000年公开的美国专利,专利号US6056833,“THERMOMECHANICALLY CONTROLLED PROCESSED HIGH STRENGTH WEATHERING STEEL WITH LOW YIELD/TENSILE RATIO; HOT ROLLED, AIR COOLED; PEARLITE-FREE”(详见表1中的“对比专利3”),同样是一种采用两阶段热轧控冷方法生产的高强度耐候钢,屈服强度70-75ksi(约483-518MPa),具有小于0.85的低屈强比。该专利采用了Cu-Cr-Ni耐候性成份设计和Nb-Ti-Mo微合金设计,而且该发明专利特别添加了V元素0.06-0.14%,添加V元素不但大大增加了制造成本,而且不利于钢板的焊接性能和低温冲击性能,该对比钢种屈服强度只保证达到483-518MPa,并且未提供低温冲击性能的保证。

## 发明内容:

本发明的目的是提供一种屈服强度为550MPa级别的高强度耐大气腐蚀钢

及其生产方法。解决现有耐大气腐蚀钢屈服强度达不到 550MPa 级别以及低温冲击韧性不佳的技术问题。本发明成份采用 Cu—Cr—Ni 及 Nb、Ti、Mo 等微合金强化元素组成, 并采用控轧控冷方式生产, 不必进行热处理, 生产周期短、生产方法简单, 钢材成本较低。该钢除具备高强度、高耐大气腐蚀性能外, 还具有优良的低温冲击性能和良好的焊接、冷弯等加工性能, 适用领域包括铁道、公路车辆结构、集装箱、桥梁、建筑结构、塔桅栏柱等等。

为达到上述目的, 本发明设计了一种高强度低合金耐大气腐蚀钢, 其特征在于化学成份(重量%)为: C: 0.05-0.10, Si $\leq$ 0.75, Mn:1.0~1.6, P $\leq$ 0.020, S $\leq$ 0.010, Al:0.01-0.05, Cu:0.20-0.55, Cr:0.20-0.45, Ni:0.12-0.40, Ca:0.001-0.006, N:0.001-0.006, 此外还含 Nb $\leq$ 0.07, Ti $\leq$ 0.025, Mo $\leq$ 0.35 中的两种或两种以上, 余量为 Fe 和不可避免的杂质元素。

本发明所述 550MPa 级别高强度耐大气腐蚀钢的化学成份的限定理由如下:

C 在钢中以碳化物形式存在, 和合金元素结合发挥析出强化和细化晶粒的作用, 因而添加量不得低于 0.05%, 而过高的 C 含量不利于焊接, 因而限定 C 含量不得高于 0.10%;

Si 是为了对钢进行脱氧而添加的元素, Si 含量多了会导致可焊性和焊接热影响区韧性恶化, 因而其上限规定为 0.75%;

Mn 是重要的强韧化元素, 起固溶强化的作用, 提高钢的强度和韧性, 但是 Mn 含量过多使淬透性增大, 从而导致可焊性和焊接热影响区韧性恶化, 所以规定 Mn 含量不得超过 1.6%;

S 和 P 对钢板的韧性影响极大, 因而应严格控制 S、P 含量, 本发明钢种作为易焊接型耐大气腐蚀钢, 必须采用低 P 成份设计; 高的 S 含量不仅降低钢的低温韧性, 而且促进钢板的各向异性, 硫化物夹杂会使钢的耐候性能也明显降低。因而本发明钢种设计采用极低的 S、P 含量。

Al 是为了脱氧而加入钢中的元素, 添加适量的 Al 有利于细化晶粒, 改善钢材的强韧性能;

Cr 不仅是提高钢的淬透性的元素, 而且 Cr 含量在 0.20%以上时, 能有效提高钢的耐大气腐蚀性能, 其含量太高就会严重恶化焊接性能, 所以 Cr 含量应限定在 0.20%-0.45%。

Ni 能提高淬透性, 显著改善钢材的低温韧性, 是提高钢的耐候性和强韧性的有利元素, 不会对钢的可焊性和焊接热影响区韧性造成不利影响。Ni 还能有效阻止 Cu 的热脆引起的网裂。含量限定在 0.12%-0.40%, 少于 0.12% 上述效果甚微, 而高于 0.40% 则会提高钢的成本, 并且易造成钢板氧化铁皮难以脱落。

Cu 具有与 Ni 大体相同的作用, 在钢中主要起固溶和沉淀强化作用。Cu—Cr—Ni 适当配比, 是提高钢的耐大气腐蚀性能最关键的元素, 但是如果含量高于 0.55% 时, 不仅会损害焊接热影响区韧性, 而且热轧时易发生网裂, 给生产带来困难, 所以 Cu 含量限定在 0.20%-0.55%。

通过 Ca 处理可以控制硫化物的形态, 提高低温韧性, 其含量少于 0.001 时没有效果, 而超过 0.006 则会产生许多 CaO、CaS, 并形成大型夹杂物, 对钢的韧性造成损害, 甚至影响钢的焊接性能。所以规定 Ca 含量范围为 0.001%-0.006%

本发明钢种为进一步提高性能, 还选择性地添加 Nb、Ti、Mo 等元素, 在提高强度和韧性方面能得到更好的效果。

Nb、Ti、Mo 能形成细微碳氮化物, 有利于细化晶粒组织和发挥析出强化的作用, 但 Nb 含量超过 0.07% 时, 或者 Ti 含量超过 0.025%, 或者 Mo 含量超过 0.35% 时, 则对焊接热影响区韧性有不利的影响, 因而对四个元素的上限加以限定。

本发明钢在生产中采用 Ca 处理, 其主要作用是球化硫化物夹杂, 以改善钢板的各向异性, 提高低温冲击性能。

本发明还提供了一种高性能耐大气腐蚀钢的生产方法, 采用铁水预脱硫, 转炉顶底复合吹炼, RH 真空循环脱气工艺, 同时进行钙处理, 获得钢的化学成份 (重量%) 为: C: 0.05-0.10, Si  $\leq$  0.75, Mn: 1.0~1.6, P  $\leq$  0.020, S  $\leq$  0.010, Al: 0.01-0.05, Cu: 0.20-0.55, Cr: 0.20-0.45, Ni: 0.12-0.40, Ca: 0.001-0.006, N: 0.001-0.006。此外还含 Nb  $\leq$  0.07, Ti  $\leq$  0.025, Mo  $\leq$  0.35 中的一种或一种以上, 余量为 Fe 和不可避免的杂质元素。钢坯在 1200℃ 以上再加热后, 采用两阶段控制轧制, 其特征在于: 在 950℃ 以上开始精轧, 累计压下率  $\geq$  80%, 精轧终轧温度低于 880℃, 并且随着成品板厚的增加终轧温度应相应降低, 然后以 5—15℃/S 的冷却速率冷却到 400℃ 至 700℃ 卷取, 也同样根据板厚的增加适当降低卷取温度, 然后再空冷到室温。本发明钢种不需要轧后热处理, 缩短生产周期、降低生产成本。

本发明具有如下优点: 本发明专利在低 C—Mn 钢成份的基础上, 复合添加

耐候性元素 Cu—Cr—Ni 和强化元素 Nb—Ti—Mo 等微合金元素,采用低温终轧、快速冷却工艺进行生产,使钢板显微组织呈现超细晶粒铁素体和少量贝氏体,屈服强度指标达到 550MPa 以上,具有以下特点:

1. 本发明钢具有优良的综合力学性能,屈服强度为 550MPa 级别,比普通耐候钢强度大大提高,增加承重能力,适合钢板减薄设计;而且具有优良的低温(-40℃)冲击韧性,适合各种环境温度使用,特别是冬季低温地区。
2. 本发明钢具有良好的耐大气腐蚀性能,在钢中添加了 Cu、Cr、Ni 等抗大气腐蚀性元素,确保其耐大气腐蚀性能不低于普通耐候钢,耐候性为普通钢材的 2—8 倍,钢材使用时间越长,越能发挥这一优势。
3. 本发明钢具有良好的焊接性能,通过合理的成份设计和焊接材料推荐,可以有效提高焊接效率,获得良好的焊接接头性能。
4. 本发明钢种采用控轧控冷生产,轧态交货,无需热处理,生产工艺简单,生产周期短,钢材成本较低,在各种冶金企业均可实施。

#### 具体实施方式:

按照本发明钢化学成份要求,采用转炉冶炼,然后进行炉后精炼,获得化学成份见表 1,连铸切坯送热轧生产线,钢坯加热温度为 1220℃,采用两阶段控轧和轧后水冷并卷取,终轧温度为 820℃—880℃,卷取温度为 550℃—650℃。

发明钢实施例的力学性能见表 1 所示。与相近钢种进行了化学成分、力学性能等的对比,其中对比专利 1 是 2005 年 4 月 27 日公布的 CN1609257A “针状组织高强度耐候钢及其生产方法”,对比专利 2 是 1983 年 3 月 16 日公布的 JP 58045317 A “一种强度不小于 50Kg/mm<sup>2</sup> 可焊接耐候钢的生产方法”。对比专利 3 是美国专利 US6056833,是一种采用两阶段热轧控冷方法生产的高强度耐候钢。

表 1 本发明钢与对比钢种的化学成份、力学性能对比

项目		本发明钢	对比专利 1 CN1609257A	对比专利 2 JP58045317 A	对比专利 3 US6056833
化学成份 (wt%)	C	0.05-0.10	<b>0.01~0.04</b>	0.03~0.20	0.08-0.12
	Si	≤0.75	0.15~0.30	<0.60	0.30-0.65
	Mn	1.0~1.6	1.30~1.60	0.5~2.5	0.80-1.35
	P	≤0.020	≤0.06	--	0.01-0.02
	S	≤0.010	≤0.01	--	≤0.010
	Al	0.01-0.05	≤0.035	0.01-0.08	--
	Cu	0.20-0.55	0.15~0.50	0.1-2.0	0.20-0.40
	Cr	0.20-0.45	0.20~0.40	0.1-2.0	0.30-0.70
	Ni	0.12-0.40	0.10~0.24	≤2.0	≤0.50
	Ca	0.001-0.006	≤0.0050	--	--
	N	0.001-0.006	--	--	--
	Nb	≤0.07	0.03~0.06	0.01-1.0	≤0.04
	Ti	≤0.025	≤0.03	0.01-0.15	≤0.02
	V	--	--	<b>0.01-0.15</b>	<b>0.06-0.14</b>
Mo	≤0.35	0.10~0.30	≤2.0	0.08-0.35	
屈服强度(MPa)		≥ <b>550</b>	490~540	340-460	483-518
抗拉强度(MPa)		≥600	590~650	420-540	--
伸长率(%)		≥18	20~24	--	--
夏比 V 型冲击(J)	-40℃	≥60	210~298	--	--
焊接裂纹敏感指数 Pcm(%)		0.18	0.16	≤0.22	--

本发明钢种与对比专利 1 的化学成份有明显不同, 本发明钢种 C 含量为 0.05~0.10%, 而对比钢 1 的 C 含量为 0.01~0.04%; 本发明钢与对比钢 2、3 的化学成份也不同, 本发明钢不添加 V, 而对比专利 2 要求 V 含量为 0.01~0.15%, 对比专利 3 要求 V 含量为 0.06~0.14%。

本发明钢的力学性能要求与对比钢不同, 本发明钢种屈服强度可满足不低于 550MPa 的性能指标, 而三个对比专利钢种的屈服强度要求均低于 550MPa, 低温冲击的性能指标也低于本发明钢种, 本发明钢种具有-40℃低温冲击性能的要求, 而对比专利 2 不要求低温冲击性能。因此本发明钢种在强度和韧性等指标上均显著优于对比钢种。

实施例 1—4: 按照本发明钢成份要求, 在 300 吨氧气顶底复吹转炉上冶炼本发明钢, 经 RH 真空脱气处理后, 采用钙处理技术, 全流程保护性连铸; 化学成份实施例见表 2; 钢坯再加热温度为 1235℃, 粗轧开轧温度为 1195℃, 精轧开轧温度为 950℃, 精轧终轧温度为 865℃、825℃, 然后以 8℃/S、11℃/S 的冷却速率冷却至 575℃、550℃, 空冷至室温。前 3 个实施例轧制厚度分别为 4mm、8mm、16mm。实施例力学性能详见表 3。耐蚀性能测试结果见表 4。

表2 本发明钢实施例—化学成份

序号	C	Si	Mn	P	S	Mo	Al <sub>t</sub>	Cu	Cr	Ni	Nb	Ti	Ca
1	0.05	0.10	1.10	0.010	0.004	0.14	0.030	0.26	0.22	0.20	0.051	0.010	0.004
2	0.07	0.25	1.20	0.012	0.003	0.19	0.038	0.38	0.35	0.28	0.064	0.024	0.005
3	0.08	0.23	1.40	0.013	0.001	0.22	0.040	0.38	0.30	0.20	0.058	0.023	0.003
4	0.07	0.15	1.24	0.009	0.001	0.25	0.028	0.35	0.42	0.38	0.055	0.020	0.004

表3 发明钢实施例—力学性能

板厚	Re (MPa)	Rm (MPa)	A (%)	-40℃纵向冲击值 Akv (J)	冷弯 d=2a
4mm	575, 585	605, 610	22, 26	--	合格, 合格
8mm	580, 595	620, 635,	25, 28	110, 115, 130 <sup>[1]</sup>	合格, 合格
16mm	585, 580	635, 645	24, 26	210, 245, 223 <sup>[2]</sup>	合格, 合格

注: [1] 冲击试样尺寸为 5\*10\*55(mm)半试样,  
[2] 冲击试样尺寸为 10\*10\*55 (mm) 全试样。

从表3可见,本发明钢具有优异的屈服强度表现,屈服强度全部在550MPa以上,优于对比钢种。而且本钢种具有优良的低温韧性,-40℃AK<sub>v</sub>冲击功(全试样)在200J以上。采用周浸腐蚀试验方法(TB/T 2375-1993)对本发明钢3进行了耐蚀性能测试,同时与普通结构钢Q345C进行了对比,对比结果详见表4。试验结果表明本发明钢种在大幅度提高了强度的同时还拥有明显的耐蚀性能,耐蚀性能大约是普通结构钢的两倍。

表4 发明钢实施例—耐蚀性能

钢种	平均腐蚀失重率 g/m <sup>2</sup> /h		相对腐蚀速率,%
	结果	平均	
Q345C	1.794	1.835	100
	1.877		
	1.843		
	1.811		
	1.848		
本发明钢	1.007	1.015	55.3
	1.009		
	1.037		
	1.010		
	1.012		

本发明钢可广泛应用于铁道车辆、公路车辆、集装箱、桥梁、建筑结构、塔桅栏柱、工程机械等等应用领域。