

一种无镍 LPG 船用钢板及其制造方法

技术领域

本发明属于高强度结构钢技术领域，具体涉及一种无镍 LPG 船用钢板及其制造方法。

背景技术

随着海洋能源开采技术日渐成熟，液化石油气(LPG)的使用量越来越大，使用范围越来越广，储存、运输这些液态能源需要低温力学性能尤其是低温韧性优良的钢材建造储罐，保障储罐不会在低温使用环境下发生脆裂，安全运行。传统的低温能源用储罐钢通常采用 9Ni 系钢材建造，由于合金元素 Ni 属稀缺资源，因而生产成本高。

而现有的不含 Ni 的低温钢也存在着不同的缺陷，例如：申请号为 CN89104759.X 的发明公开了一种“铁-锰-铝-碳奥氏体无磁钢与低温钢”，该技术所涉及钢种中 Al 含量高达 2.3~3.2%，易氧化生成 Al_2O_3 钢水粘度大，流动性差，增加了生产难度，铸坯质量和钢板表面质量均难于保证，成材率低。

申请号为 201710865933.0 的发明公开了“超低温环境用高锰钢板及其生产方法”，该技术的不足之处在于钢中添加了 0.2~1.2%的 Cu，而没有添加抑制 Cu 致热裂的合金元素 Ni，因而在批量生产过程中形成 Cu 致热裂纹，降低了成材率，增加了生产成本。

申请号为 201710971086.6 的发明公开了“一种低屈服比高韧性高锰钢板及其生产方法”，该技术所涉及的钢中添加了 3.0~4.0%的 Cr，而 Cr 属碳化物易形成元素，若加入量高则生产过程中易形成多类型碳化物，且处于晶界部位，恶化中间产品及成品性能，尤其急剧降低低温韧性。

因此，发明一种低成本且低温力学性能尤其是低温韧性优良的 LPG 船用钢板，很有必要。

发明内容

发明目的：为了克服现有技术的缺陷，本发明提供一种无镍 LPG 船用钢板，该钢板具有较好的低温力学性能，能够替代 5Ni、9Ni 系钢用于低成本的建造 LPG 储罐及相关结构件。

本发明的另一目的是提供一种上述无镍 LPG 船用钢板的制造方法，该方法适用于规模化工业生产。

技术方案：本发明所述的一种无镍 LPG 船用钢板，由如下质量百分比的化学成分组成 C:0.18~0.24%、Si:0.10~0.19%、Mn:16.1~18.9%、P:≤0.012%、Mo:0.15~0.35%、RE:0.10~0.25%，余量的 Fe 和不可避免的杂质。

该钢板的金相组织为单相奥氏体组织。

具体的，该钢板主要控制的合金元素原理说明如下：

C（碳）：添加适量的合金元素 C 固溶于 Fe 中可提高钢的强度，使本发明的屈服强度≥410MPa，C 含量低于 0.18%，强化效果不足，屈服强度难于达到预期，C 含量高于 0.24%，则易在晶界上生成较多的碳化物，恶化钢的性能，尤其是低温韧性，导致脆性转变温度升高，发生脆裂，故将 C 的含量设定为 0.18~0.24wt.%。

Mn（锰）：钢中合金元素 Mn 扩大奥氏体区域，甚至可使奥氏体组织稳定到 -150℃而不发生相变，因具有面心立方结构的奥氏体多于体心立方结构的铁素体而具有良好的断裂韧性，钢中添加 Mn 含量若低于 16.1%，则不足于形成单相奥氏体组织，会发生相变，导致体积变化，不宜用于制造超低温钢结构件；若 Mn 含量高于 18.9%，易在晶界生产较多碳化物(Fe、Mn)₃C、氧化物 MnO 等，降低钢的低温韧性，故将 Mn 的含量设定为 16.1~18.9wt.%，并在 17.1~18.9wt.%进行优选。

P（磷）：高强度结构钢中 P 属有害元素，易形成 Fe+Fe₃P、Fe+Fe₃C+Fe₃P 共晶产物，急剧降低钢的韧性，将 P 限定在 P≤0.012wt.%，P 的有害效果会显著降低。

Si（硅）：本申请中 Si 主要以脱氧的目的加入，含量不宜过高，高于 0.19%则明显促使 P、C 偏析，晶界碳化物量增多，Fe+Fe₃P、Fe+Fe₃C+Fe₃P 共晶量增加，裂纹倾向增加。但一定含量的 Si 可提高钢的屈服强度，故将钢中的 Si 含量设定在 0.10~0.19wt.%范围。

Mo（钼）：添加适量的 Mo 可改善奥氏体树枝晶生长，抑制碳化物析出和珠光体的形成，减少网状碳化物，获得良好的力学性能。Mo 含量若低于 0.15%则抑制网状碳化物的效果不显著；Mo 属昂贵合金元素，含量高于 0.35%则增加了生产成本。故将本发明申请的合金元素 Mo 含量范围设定为 0.15~0.35wt.%，并

在 0.25~0.35wt.%进行优选。

稀土元素(RE): 本发明中添加适量的稀土元素 RE,一方面可显著改善钢的流动性,细化铸态组织和晶粒,降低晶界碳化物数量,促使晶内碳化物的形成,改善生产工艺性能,但过多的添加 RE 导致低温韧性降低,故将 RE 设定在 0.10~0.25wt.%范围。

对应于上述无镍 LPG 船用钢板,本发明提供的制造方法所采用的技术方案,工序包括电炉冶炼、VD 炉精炼、模铸、轧制、轧后冷却以及回火;

其中,轧制工序是将 160mm×1000mm×2200mm 模铸板坯均热出炉后立即轧制,开轧温度 $\geq 1100^{\circ}\text{C}$,终轧温度 $\geq 980^{\circ}\text{C}$;

轧后冷却工序中,通过浇水将钢板迅速冷却至室温;

回火工序中,将钢板在 $280\sim 320^{\circ}\text{C}$ 回火,保温时间 80-120min。

具体的,在电炉冶炼工序中,装入包括 CaO、废钢、MnFe、SiFe、MoFe 合金通电熔化,加 FeO 脱 P,并将合金元素含量调整至目标值。

在 VD 炉精炼工序中,真空脱除包括 O、N、H 气体元素。

在模铸工序中,浇筑时喂入稀土丝,并使稀土元素含量达到目标值。

有益效果:与现有技术相比,该钢板的化学成分不含有 Ni 元素,且成分设计简单,生产成本显著降低。制造时,轧制温度确保能够在高温塑性良好温度范围完成成品轧制,并快冷至室温,获得单相奥氏体组织,然后采用 $280\sim 320^{\circ}\text{C}$ 回火以消除残余应力。最终得到的钢板屈服强度 $\geq 410\text{MPa}$ 、 $-150^{\circ}\text{C KV}_2\geq 66\text{J}$,具有优异的综合力学性能,并且也兼具优良的加工性能和焊接性能,焊接接头的质量和综合力学性能都较好。能够有效保障建造的超低温环境钢结构件的使用安全性。此外,其制造方法在上电炉冶炼后直接模铸成定尺板坯,一次连续完成轧制,无需中间待温,生产效率高,成材率高,经济效益良好,适于规模的工业化生产。

具体实施方式

下面,结合实施例对本发明作进一步的详细说明。

按照本发明化学元素成分、质量百分比及生产方法要求,设置了五个实施例,分别为实施例 1、实施例 2、实施例 3、实施例 4、实施例 5。为验证各化学组分和质量百分比含量以及轧制过程中的铸坯加热温度、精轧终轧温度、精轧后的回火温度对性能参数的影响,制备了三个对比例,即对比例 1、对比例 2 和对比例

3，即冶炼并轧制了 8 批钢板。

其中，对比例 1 的化学组分质量百分比含量不在本发明的范围内，而制备过程的工艺参数在本发明的范围内，对比例 2 的化学组分质量百分比含量在本发明的范围内，而制备过程的工艺参数不在本发明的范围内，对比例 3 的化学组分质量百分比含量及制备过程的工艺参数均不在本发明的范围内。五个实施例及三个对比例的化学元素成分重量百分比见表 1，其中余量为 Fe 和不可避免的杂质。

表 1 本发明实施例及对比例的化学成分对比（wt.%）

元素	本发明实施例					对比例		
	1	2	3	4	5	1	2	3
C	0.21	0.18	0.22	0.24	0.19	0.67	0.23	0.14
Si	0.16	0.14	0.10	0.19	0.172	0.27	0.11	0.31
Mn	18.5	16.1	17.1	17.8	18.9	6.86	17.13	1.45
P	0.011	0.009	0.012	0.011	0.01	0.016	0.011	0.018
Mo	0.26	0.15	0.18	0.35	0.31	0.032	0.17	0.02
RE	0.12	0.21	0.10	0.25	0.19	0.0031	0.13	0.0022

生产过程控制参数与钢板质量情况见表 2。

表 2 本发明实施例及对比例生产过程控制对钢板性能情况表

钢编号		铸坯加热温度 (℃)	轧终轧温度 (℃)	回火温度 (℃)	屈服强度 (MPa)	-150℃冲击功 (J)
本 发 明 实 施 例	1	1167	1023	307	427	116
	2	1200	991	316	410	128
	3	1160	980	320	439	66
	4	1176	989	297	431	98
	5	1185	1012	280	442	188
比 较 钢	1	1182	993	319	316	16
	2	1268	831	457	391	21
	3	1245	902	655	345	34

从表 1 和表 2 可看出，本发明实施例 1-5 的化学成分及质量百分比、及生产工艺过程控制的轧制温度所生产的钢板屈服强度均高于 410MPa，而对比例 1、对比例 2 和对比例 3 的钢成分范围或/和生产工艺不在本发明范围内所生产的对

比钢板屈服强度低于 316MPa。

其中，本发明实施例 5 所制备的钢板的屈服强度为 442MPa，-150℃冲击功达到 188J，综合力学性能优良，制造超低温结构件可有效避免脆裂，安全运行，为最佳实施例。