

一种抗应力腐蚀球罐用 800MPa 级高强度钢板的制造方法

技术领域

本发明涉及冶金领域，涉及了一种钢板的生产方法，具体的是，涉及了一种抗应力腐蚀球罐用 800MPa 级高强度钢板及其制造方法。

背景技术

随着乙烯、丙烯和液化石油气等品种的球罐以及天然气球罐的大型化发展，球罐建设单体容积越来越大、能源介质的多样化，大型球罐现场无法热处理，采用高强钢设计可以降低、减薄钢板厚度，降低现场热处理难度。同时因存储能源介质的不同，高强金属材料 and 较硬的焊缝区域易于发生应力腐蚀开裂，高强钢还需具备抗应力腐蚀的服役要求。

国家标准 GB 19189《压力容器用调质高强度钢板》中，高强储罐用钢最高级别为抗拉强度 610MPa 级别钢材，满足 -50°C 冲击值 $\geq 80\text{J}$ 要求；欧洲 EN10028-6 标准《淬火加回火的可焊接细晶粒钢》中，P690QL1 牌号为抗拉强度 770MPa 级别钢材、满足 -40°C 冲击值 $\geq 27\text{J}$ 要求。本发明 800MPa 级高强球罐用钢，除了满足抗拉强度 780MPa 级别外，具备抗应力腐蚀性能要求，以便满足大型球罐不同介质的存储要求。

现有的国标压力容器用调质高强度钢板，最高级别为抗拉强度 610MPa 级别钢材、 -50°C 冲击值 $\geq 80\text{J}$ 要求，不能满足储罐大型化建造要求；欧洲标准淬火加回火的可焊接细晶粒钢 P690QL2 牌号为抗拉强度 770MPa 级别钢材、满足 -60°C 冲击值 $\geq 27\text{J}$ 要求，但不具备抗应力腐蚀性能要求。

申请号 201810145615.1，“抗硫化氢应力腐蚀高强度钢及其制备方法”，该发明采用低 C、低 Mn 成分设计，其中 C：0.05~0.08%、Mn：0.5~0.9%，并采用 TMCP 工艺生产，钢板屈服强度不低于 621 MPa，成品钢板仅为 10mm、生产工艺不适合厚板，对轧制和冷却要求非常苛刻，如将终轧板坯冷却至 $500\sim 550^{\circ}\text{C}$ 的终冷温度，获得针状铁素体+贝氏体组织，不能进行球罐制造的 SR 焊后热处理，因此该发明强度、规格、工艺均不能满足大型球罐用 780MPa 级高强钢强度要求。

申请号：202010579577.8，“芯部低温冲击韧性及焊接性优良的超厚 800MPa 级调质钢板及其制造方法”，该发明 Cr 含量偏低，抗应力腐蚀性能不能保证，另外贵重金属 Ni：0.70%~1.70%、Nb：0.010%~0.030%含量高，合金成本高；另外热处理工艺包括第一次淬火温度为 $900\sim 930^{\circ}\text{C}$ ，淬火保持时间 $\geq 15\text{min}$ ，第二次淬火温度为 $870\sim 900^{\circ}\text{C}$ ，淬火保持时间 $\geq 10\text{min}$ ，回火温度为 $585^{\circ}\text{C}\sim 625^{\circ}\text{C}$ ，回火保持时间 $\geq 30\text{min}$ ，该发明需要 2 次淬火，热处理工艺复杂、工序成本高，

且回火温度偏低不高于 625℃，SR 焊后热处理性能无法保证。

发明内容

发明目的：本发明的目的是提供了一种抗应力腐蚀球罐用 800MPa 级高强度钢板及其制造方法。

技术方案：本发明所述的一种抗应力腐蚀球罐用 800MPa 级高强度钢板，所述钢板的化学成分按重量百分比计为：C 0.08~0.12%，Mn 0.80~0.98%，Si 0.10~0.50%， $P \leq 0.014\%$ ， $S \leq 0.002\%$ ，Al_t 0.020~0.060%，V 0.03~0.05%， $Ti \leq 0.02\%$ ，Cr 0.96~1.20%，Mo 0.20~0.50%，Ni 0.10~0.50%，Cu 0.10~0.25%， $B \leq 0.003\%$ ，且保证 $Cr+Ni+Cu \geq 1.30\%$ ， $CEV \leq 0.57\%$ ， $P_{cm} \leq 0.25\%$ ，其余部分为 Fe 和杂质。

进一步的，一种抗应力腐蚀球罐用 800MPa 级高强度钢板的制造方法，具体操作步骤如下：

- (1.1)、炼钢工序；
- (1.2)、加热工序；
- (1.3)、轧制工序；
- (1.4)、冷却工序；
- (1.5)、热处理工序。

进一步的，在步骤 (1.1) 中，所述炼钢工序具体是：采用转炉深脱 P 及 LF 深脱 S 技术；连铸采用动态轻压下、电磁搅拌技术，为后续轧制提供坯料。

进一步的，在步骤 (1.2) 中，所述加热工序具体是：铸坯入加热炉加热加热温度 1180~1220℃，加热系数 10.0~14.0 min/cm。

进一步的，在步骤 (1.3) 中，所述轧制工序具体是：采用 2 阶段控轧工艺，第一阶段粗轧轧制终了温度 $\geq 1000^\circ\text{C}$ ，最后 3 道次压下率之和 $\geq 45\%$ ；第二阶段轧制 $\leq 850^\circ\text{C}$ ，终轧温度 810~840℃。

进一步的，在步骤 (1.4) 中，所述冷却工序具体是：轧制后的钢板在空气中冷却至室温。

进一步的，在步骤 (1.5) 中，所述热处理工序具体是：钢板淬火温度 890~940℃，在炉时间 $(1.5*H+10) \sim (1.5*H+40)$ 分钟，其中，H 为钢板厚度；

回火温度 630~680℃，在炉时间 $(2.5*H+20) \sim (2.5*H+60)$ 分钟，其中，H 为钢板厚度。

进一步的，所述制得的钢板最大厚度 80mm，钢板屈服强度 $\geq 690\text{MPa}$ ，抗拉强度 780~940MPa，断后伸长率 $\geq 15\%$ ，-40℃低温冲击功 $\geq 100\text{J}$ ，SR 焊后热处理后 -40℃低温冲击功 $\geq 80\text{J}$ ，按照 NACE 0177-2005 标准，采用 A 法在加载 80 %

名义屈服强度的载荷下试样, 所述抗硫化氢应力腐蚀经过 720 小时不开裂。

随着乙烯、丙烯和液化石油气等品种的球罐以及天然气球罐的大型化发展, 大型球罐现场无法热处理, 采用高强钢设计可以降低、减薄钢板厚度, 降低现场热处理难度。同时因存储能源介质的多样化, 高强钢还需具备抗应力腐蚀的服役要求。本发明抗应力腐蚀球罐用高强度钢板, 钢板低温冲击、SR 焊后热处理性能等较好, 同时具备抗应力腐蚀性能。

有益效果: 本发明的特点: 本发明采用低碳 ($\leq 0.12\%$)、低锰、高 Cr 成分设计, 适量 Mo 元素提高钢的淬透性, 适量 Ni 元素提高低温韧性, 采用控制轧制、淬火和回火技术等, 开发出一种抗应力腐蚀球罐用高强钢, 钢板最大厚度 80mm, 钢板屈服强度 $\geq 690\text{MPa}$, 抗拉强度 780~940MPa, 断后伸长率 $\geq 15\%$, -40°C 低温冲击功 $\geq 100\text{J}$, SR 焊后热处理后 -40°C 低温冲击功 $\geq 80\text{J}$; 按照 NACE 0177-2005 标准, 采用 A 法在加载 80 % 名义屈服强度的载荷下试样, 所述抗硫化氢应力腐蚀经过 720 小时不开裂, 满足抗应力腐蚀大型球罐建造要求。

附图说明

图 1 是本发明的制备流程图。

具体实施方式

下面结合附图及实施例对本发明作进一步的说明。

如图所述, 本发明所述的一种抗应力腐蚀球罐用 800MPa 级高强度钢板及其制造方法: 本发明采用低碳 ($\leq 0.12\%$)、低锰、高 Cr 成分设计, 适量 Mo 元素提高钢的淬透性, 适量 Ni 元素提高低温韧性, 采用控制轧制、淬火和回火技术等, 开发出一种抗应力腐蚀球罐用高强钢, 钢板最大厚度 80mm, 钢板屈服强度 $\geq 690\text{MPa}$, 抗拉强度 780~940MPa, 断后伸长率 $\geq 15\%$, -40°C 低温冲击功 $\geq 100\text{J}$, SR 焊后热处理后 -40°C 低温冲击功 $\geq 80\text{J}$, MPa; 按照 NACE 0177-2005 标准, 采用 A 法在加载 80 % 名义屈服强度的载荷下试样, 所述抗硫化氢应力腐蚀经过 720 小时不开裂, 满足抗应力腐蚀大型球罐建造要求, 可实现钢板的经济、批量生产; 生产工序包括炼钢工序、坯料加热工序、轧制工序、热处理工序,

得到钢板的化学成分按重量百分比计为: C 0.08~0.12%, Mn 0.80~0.98%, Si 0.10~0.50%, P $\leq 0.014\%$, S $\leq 0.002\%$, Al 0.020~0.060%, V 0.03~0.05%, Ti $\leq 0.02\%$, Cr 0.96~1.20%, Mo 0.20~0.50%, Ni 0.10~0.50%, Cu 0.10~0.25%, B $\leq 0.003\%$, 且保证 $\text{Cr}+\text{Ni}+\text{Cu} \geq 1.30\%$, CEV $\leq 0.57\%$, Pcm $\leq 0.25\%$, 其余部分为 Fe 和杂质。

具体要求如下:

(1)、炼钢工序: 采用转炉深脱P技术, LF深脱S技术; 连铸采用动态轻压下、

电磁搅拌技术，为后续轧制提供高质量坯料；

(2)、加热工序：铸坯入加热炉加热加热温度1180-1220℃，加热系数10.0-14.0 min/cm；

(3)、轧制工序：采用2阶段控轧工艺，第一阶段粗轧轧制终了温度 $\geq 1000^{\circ}\text{C}$ ，最后3道次压下率之和 $\geq 45\%$ ；第二阶段轧制 $\leq 850^{\circ}\text{C}$ ，终轧温度810-840℃；

(4)、冷却工序：轧制后的钢板在空气中冷却至室温；

(5)、热处理工序：钢板淬火温度890-940℃，在炉时间 $(1.5*H+10) \sim (1.5*H+40)$ 分钟，H(mm)为钢板厚度；回火温度630-680℃，在炉时间 $(2.5*H+20) \sim (2.5*H+60)$ 分钟，H(mm)为钢板厚度。

本发明生产钢板最大厚度为80mm，质量满足欧标 P690QL1、S690QL，船级社 E690 等牌号，有借鉴作用。

实施例1：

抗应力腐蚀球罐用高强度钢板厚度为80mm，采用下述成分配比以及生产方法，成分含量(wt)为：C 0.11%、Si 0.23%、Mn 0.84%、P 0.009%、S 0.001%、Al 0.031%、V 0.048%、Ti 0.012%、Cr 1.03%、Mo 0.35%、Ni 0.34%、Cu 0.15%、B 0.0014%，Cr+Ni+Cu 1.52%，CEV 0.57%、Pcm 0.25%，其余为Fe和杂质。

本钢板的生产方法如下：

(1)、炼钢工序：转炉冶炼、钢水P 0.009%，LF+RH精炼、钢水S 0.001%；连铸动态轻压下、电磁搅拌技术，得到320mm连铸坯；

(2)、加热工序：钢坯的加热温度1199℃，加热系数10.8min/cm；

(3)、轧制工序：采用2阶段控轧工艺，第一阶段粗轧轧制终了温度1014℃，最后3道次压下率之和51%；第二阶段开轧温度为827℃，终轧温度为815℃；

(4)、冷却工艺：轧制后的钢板在空气中冷却至室温；

(5)、热处理工序：钢板淬火温度922℃，在炉时间145分钟；回火温度636℃，在炉时间243分钟。

本80mm 规格抗应力腐蚀球罐用高强度钢板，力学性能为：屈服强度785MPa，抗拉强度853MPa，断后伸长率17%，-40℃冲击功Ak_v：168、168、165J，SR焊后热处理后-40℃低温冲击功Ak_v 99、146、156J；按照NACE 0177-2005 标准，试样经过720小时抗硫化氢应力腐蚀试验后未开裂。

实施例2：

抗应力腐蚀球罐用高强度钢板厚度为60mm，采用下述成分配比以及生产方法。成分含量为(wt)：C 0.10%、Si 0.26%、Mn 0.93%、P 0.008%、S 0.002%、Al 0.031%、V 0.041%、Ti 0.015%、Cr 1.07%、Mo 0.31%、Ni 0.25%、Cu 0.19%、B 0.0013%，

Cr+Ni+Cu 1.51%, CEV 0.57%、Pcm 0.24%, 其余为Fe和杂质。

本钢板的生产方法如下:

- (1)、炼钢工序: 转炉冶炼、钢水P 0.008%, LF+RH精炼、钢水S 0.002%; 连铸动态轻压下、电磁搅拌技术, 得到320mm连铸坯;
- (2)、加热工序: 钢坯的加热温度1205℃, 加热系数11.7min/cm;
- (3)、轧制工序: 采用2阶段控轧工艺, 第一阶段粗轧轧制终了温度1008℃, 最后3道次压下率之和49%; 第二阶段开轧温度为833℃, 终轧温度为821℃;
- (4)、冷却工艺: 轧制后的钢板在空气中冷却至室温;
- (5)、热处理工序: 钢板淬火温度917℃, 在炉时间122分钟; 回火温度641℃, 在炉时间203分钟。

本60mm 规格抗应力腐蚀球罐用高强度钢板, 力学性能为: 屈服强度775MPa, 抗拉强度834MPa, 断后伸长率17.5%, -40℃冲击功Ak_v: 240、196、183J, SR焊后热处理后-40℃低温冲击功Ak_v 129、150、166J; 按照NACE 0177-2005 标准, 试样经过720小时抗硫化氢应力腐蚀试验后未开裂。

实施例3 :

抗应力腐蚀球罐用高强度钢板厚度为50mm, 采用下述成分配比以及生产方法。成分含量为(wt): C 0.09%、Si 0.19%、Mn 1.09%、P 0.012%、S 0.002%、Al_t 0.044%、V 0.038%、Ti 0.016%、Cr 0.98%、Mo 0.28%、Ni 0.14%、Cu 0.21%、B 0.0016%, Cr+Ni+Cu 1.23%, CEV 0.55%、Pcm 0.23%, 其余为Fe和杂质。

本钢板的生产方法如下:

- (1)、炼钢工序: 转炉冶炼、钢水P 0.010%, LF+RH精炼、钢水S 0.002%; 连铸动态轻压下、电磁搅拌技术, 得到260mm连铸坯;
- (2)、加热工序: 钢坯的加热温度1211℃, 加热系数12.4min/cm;
- (3)、轧制工序: 采用2阶段控轧工艺, 第一阶段粗轧轧制终了温度1022℃, 最后3道次压下率之和46%; 第二阶段开轧温度为846℃, 终轧温度为825℃;
- (4)、冷却工艺: 轧制后的钢板在空气中冷却至室温;
- (5)、热处理工序: 钢板淬火温度903℃, 在炉时间98分钟; 回火温度653℃, 在炉时间163分钟。

本50mm 规格抗应力腐蚀球罐用高强度钢板, 力学性能为: 屈服强度821MPa, 抗拉强度867MPa, 断后伸长率16.5%, -40℃冲击功Ak_v: 225、231、230J, SR焊后热处理后-40℃低温冲击功Ak_v 197、184、129J; 按照NACE 0177-2005 标准, 试样经过720小时抗硫化氢应力腐蚀试验后未开裂。

以上仅是本发明的优选实施方式, 本发明的保护范围并不局限于上述实施

例，凡属于本发明思路下的技术方案均属于本发明的保护范围。应当指出，对于本技术领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明原理前提下的若干改进和润饰，应视为本发明的保护范围。

权利要求书

1、一种抗应力腐蚀球罐用 800MPa 级高强度钢板，其特征在于，所述钢板的化学成分按重量百分比计为：C 0.08~0.12%，Mn 0.80~0.98%，Si 0.10~0.50%， $P \leq 0.014\%$ ， $S \leq 0.002\%$ ，Al_T 0.020~0.060%，V 0.03~0.05%， $Ti \leq 0.02\%$ ，Cr 0.96~1.20%，Mo 0.20~0.50%，Ni 0.10~0.50%，Cu 0.10~0.25%， $B \leq 0.003\%$ ，且保证 $Cr+Ni+Cu \geq 1.30\%$ ， $CEV \leq 0.57\%$ ， $P_{cm} \leq 0.25\%$ ，，其余部分为 Fe 和杂质。

2、如权利要求 1 所述的一种抗应力腐蚀球罐用 800MPa 级高强度钢板的制造方法，其特征在于，其具体操作步骤如下：

- (1.1)、炼钢工序；
- (1.2)、加热工序；
- (1.3)、轧制工序；
- (1.4)、冷却工序；
- (1.5)、热处理工序。

3、根据权利要求 2 所述的一种抗应力腐蚀球罐用 800MPa 级高强度钢板的制造方法，其特征在于，

在步骤(1.1)中，所述炼钢工序具体是：采用转炉深脱 P 及 LF 深脱 S 技术；连铸采用动态轻压下、电磁搅拌技术，为后续轧制提供坯料。

4、根据权利要求 2 所述的一种抗应力腐蚀球罐用 800MPa 级高强度钢板的制造方法，其特征在于，

在步骤(1.2)中，所述加热工序具体是：铸坯入加热炉加热加热温度 1180~1220℃，加热系数 10.0~14.0 min/cm。

5、根据权利要求 2 所述的一种抗应力腐蚀球罐用 800MPa 级高强度钢板的制造方法，其特征在于，

在步骤(1.3)中，所述轧制工序具体是：采用 2 阶段控轧工艺，第一阶段粗轧轧制终了温度 $\geq 1000^\circ\text{C}$ ，最后 3 道次压下率之和 $\geq 45\%$ ；第二阶段轧制 $\leq 850^\circ\text{C}$ ，终轧温度 810~840℃。

6、根据权利要求 2 所述的一种抗应力腐蚀球罐用 800MPa 级高强度钢板的制造方法，其特征在于，

在步骤(1.4)中，所述冷却工序具体是：轧制后的钢板在空气中冷却至室温。

7、根据权利要求 2 所述的一种抗应力腐蚀球罐用 800MPa 级高强度钢板的制造方法，其特征在于，

在步骤(1.5)中，所述热处理工序具体是：钢板淬火温度 890~940℃，在炉时间 $(1.5*H+10) \sim (1.5*H+40)$ 分钟，其中，H 为钢板厚度；

回火温度 630-680℃，在炉时间 $(2.5 \times H + 20) \sim (2.5 \times H + 60)$ 分钟，其中，H 为钢板厚度。

8、根据权利要求 2 所述的一种抗应力腐蚀球罐用 800MPa 级高强度钢板的制造方法，其特征在于：所述制得的钢板最大厚度 80mm，钢板屈服强度 $\geq 690\text{MPa}$ ，抗拉强度 780~940MPa，断后伸长率 $\geq 15\%$ ，-40℃低温冲击功 $\geq 100\text{J}$ ，SR 焊后热处理后 -40℃低温冲击功 $\geq 80\text{J}$ ，按照 NACE 0177-2005 标准，采用 A 法在加载 80 % 名义屈服强度的载荷下试样，所述抗硫化氢应力腐蚀经过 720 小时不开裂。