

一种海洋工程用 S355G10 特厚钢板及制造方法

技术领域

本发明涉及冶金技术领域，特别是涉及一种海洋工程用 S355G10 特厚钢板及制造方法。

5 背景技术

S355G10 钢属 BS EN10225 标准《海上结构之可焊接结构钢》中的牌号，规定了海上结构钢的化学成分、力学性能、焊接性能等。目前我国尚未制定海洋工程用钢专用标准，国内多采用低碳当量、微合金化，控轧后选择合理的热处理工艺(如正火)开发出 S355G10+N、S355NL 钢板，均能满足部分海上平台及结
10 构件的应用。

海洋工程用钢开发方面，已有正火工艺生产 S355G10+N，和 TMCP 工艺生产 S355G10+M 的产品，主要相关发明专利如下：

CN104726769 号公开了“大厚度海洋平台用 S355G10+N 钢板及其生产方法”，其炼钢采用锭模浇注、后续轧制为钢坯，炼钢成本高；轧制特厚钢板需进行正
15 火热处理，成分设计中包含 V：0.04~0.06%，合金成本高；正火设计 $CEV \leq 0.43\%$ 、 $P_{cm} \leq 0.22\%$ 偏高，对特厚钢板焊接性能不利。

CN108085604 号公开了“海洋工程用低温韧性 S355G10+M 宽厚钢板及其生产方法”，其采用 TMCP 工艺生产，生产最大厚度仅为 100mm，不能完全满足海洋工程用 100mm 以上特厚钢板的需求。

20 因此，迫切需要开发出一种低成本、大厚度的海洋工程用钢板。

发明内容

为了解决以上技术问题，本发明提供一种海洋工程用 S355G10 特厚钢板，其化学成分及质量百分比如下：C：0.04%~0.08%，Mn：1.40%~1.60%，Si：0.10%~0.30%， $P \leq 0.013\%$ ， $S \leq 0.003\%$ ，Nb：0.015%~0.030%，Ti：0.010%~0.020%，
25 Al：0.020%~0.055%，Cr：0.10%~0.20%，Ni：0.30%~0.50%， $CEV \leq 0.38\%$ ，

$P_{cm} \leq 0.18\%$, 余量为 Fe 和杂质。

技术效果：本发明采用低碳成分设计、连铸坯的低压缩比轧制、回火热处理工艺等，可开发出厚度 120mm 的低温韧性优良的海洋工程用 S355G10 特厚钢板，且合金成本、炼钢成本较低。

5 本发明进一步限定的技术方案是：

前所述的一种海洋工程用 S355G10 特厚钢板，其化学成分及质量百分比如下：C：0.06%，Mn：1.54%，Si：0.26%，P：0.010%，S：0.002%，Nb：0.027%，Ti：0.013%，Al_T：0.035%，Cr：0.13%，Ni：0.41%，CEV：0.36%， P_{cm} ：0.15%，余量为 Fe 和杂质。

10 前所述的一种海洋工程用 S355G10 特厚钢板，其化学成分及质量百分比如下：C：0.07%，Mn：1.48%，Si：0.24%，P：0.011%，S：0.002%，Nb：0.025%，Ti：0.015%，Al_T：0.033%，Cr：0.15%，Ni：0.46%，CEV：0.37%， P_{cm} ：0.16%，余量为 Fe 和杂质。

前所述的一种海洋工程用 S355G10 特厚钢板，钢板厚度为 120mm。

15 本发明的另一目的在于提供一种海洋工程用 S355G10 特厚钢板制造方法，包括炼钢工序、坯料加热工序、轧制工序、控制冷却工序、回火工序，

炼钢工序：采用转炉深脱磷钢水 $P \leq 0.013\%$ ，铁水预处理脱硫和 LF 深脱硫钢水 $S \leq 0.003\%$ ，连铸采用动态轻压下、电磁搅拌，生产制备得到 320mm 铸坯，连铸坯中心偏析不超过 C1.0 级；

20 加热工序：铸坯入加热炉加热，加热系数 10.0~15.0min/cm，加热温度 1180~1220℃；

轧制工序：采用二阶段控轧工艺，第一阶段粗轧轧制终了温度 $\geq 980^\circ\text{C}$ ，第二阶段开轧温度 $\leq 820^\circ\text{C}$ ，保证终轧温度 770~810℃；

冷却工序：轧制后的钢板入超快冷系统进行快速冷却，冷却速度 $10\sim 20^{\circ}\text{C}/\text{s}$ ，返红温度 $520\sim 580^{\circ}\text{C}$ ，然后进行堆垛缓冷；

回火工序：回火温度 $560\sim 600^{\circ}\text{C}$ ，在炉保温时间为 $300\sim 400\text{min}$ ，回火后单独堆放，空冷至室温。

5 本发明的有益效果是：

（1）本发明中钢板厚度 $1/2$ 处 -40°C 冲击韧性 $\geq 150 \text{ Akv}/\text{J}$ ，5%应变+ 250°C 时效后其 -40°C 冲击韧性 $\geq 100 \text{ Akv}/\text{J}$ ，厚度方向性能达 Z35 级别，探伤按 EN10160 标准 S2E3 级别合格，综合力学性能指标达到国外同类水平；

（2）本发明相比于正火热处理工艺生产的特厚钢板，因成分设计 $\text{CEV} \leq 0.38\%$ ， $\text{Pcm} \leq 0.18\%$ ，低于正火钢板，因此焊接性能更加优异，更好地满足海上风电、海洋平台建设、超大型集装箱船的应用；

（3）本发明 S355G10 特厚钢板符合 EN10225 标准，为专为海上结构设计的钢板，市场需求量很大，经济效益好，预计吨钢毛利 1000 元/吨以上；

（4）本发明中加热工序保证了 Nb 元素固溶、铸坯加热均匀性；

15 （5）本发明生产钢板最大厚度为 120mm，钢板牌号 S355G10，质量同时满足 S355G7、S355G8、S355G9 系列牌号，生产工艺同样适合于生产厚度不超过 120mm 厚度规格的相关产品。

具体实施方式

实施例 1

20 本实施例提供的一种海洋工程用 S355G10 特厚钢板，厚度为 120mm，其化学成分及质量百分比如下：C：0.06%，Mn：1.54%，Si：0.26%，P：0.010%，S：0.002%，Nb：0.027%，Ti：0.013%，Al_T：0.035%，Cr：0.13%，Ni：0.41%，CEV：0.36%，Pcm：0.15%，余量为 Fe 和杂质。

其制造方法包括炼钢工序、坯料加热工序、轧制工序、控制冷却工序、回火工序，

- 炼钢工序：采用转炉深脱磷钢水 P：0.010%，铁水预处理脱硫和 LF 深脱硫钢水 S：0.002%，连铸采用动态轻压下、电磁搅拌，生产制备得到 320mm 铸坯，
- 5 连铸坯中心偏析 C0.5 级；

加热工序：铸坯入加热炉加热，加热系数 11.2min/cm，加热温度 1203℃；

轧制工序：采用二阶段控轧工艺，第一阶段粗轧轧制终了温度 1002℃，第二阶段开轧温度 803℃，终轧温度 782℃；

- 冷却工序：轧制后的钢板入超快冷系统进行快速冷却，冷却速度 17℃/s，
- 10 返红温度 535℃，然后进行堆垛缓冷；

回火工序：回火温度 571℃，在炉保温时间为 350min，回火后单独堆放，空冷至室温。

- 本 120mm 规格 S355G10 钢板，力学性能为：屈服强度 361MPa，抗拉强度 495MPa，断后伸长率 26%，-40℃厚度 1/2 处冲击功 Akv：210J、222J、206J，
- 15 5%应变+250℃时效后其-40℃冲击功 Akv：251J、144J、207J，厚度方向断面收缩率：51%、59%、52%，探伤按 EN10160 标准 S2E3 级别合格。

实施例 2

- 本实施例提供的一种海洋工程用 S355G10 特厚钢板，厚度为 120mm，其化学成分及质量百分比如下：C：0.07%，Mn：1.48%，Si：0.24%，P：0.011%，S：
- 20 0.002%，Nb：0.025%，Ti：0.015%，Al：0.033%，Cr：0.15%，Ni：0.46%，CEV：0.37%，Pcm：0.16%，余量为 Fe 和杂质。

其制造方法包括炼钢工序、坯料加热工序、轧制工序、控制冷却工序、回火工序，

炼钢工序：采用转炉深脱磷钢水 P：0.011%，铁水预处理脱硫和 LF 深脱硫钢水 S：0.002%，连铸采用动态轻压下、电磁搅拌，生产制备得到 320mm 铸坯，连铸坯中心偏析 C1.0 级；

加热工序：铸坯入加热炉加热，加热系数 10.6min/cm，加热温度 1209℃；

- 5 轧制工序：采用二阶段控轧工艺，第一阶段粗轧轧制终了温度 992℃，第二阶段开轧温度 807℃，终轧温度 791℃；

冷却工序：轧制后的钢板入超快冷系统进行快速冷却，冷却速度 14℃/s，返红温度 564℃，然后进行堆垛缓冷；

- 10 回火工序：回火温度 586℃，在炉保温时间为 386min，回火后单独堆放，空冷至室温。

本 120mm 规格 S355G10 钢板，力学性能为：屈服强度 347MPa，抗拉强度 491MPa，断后伸长率 25%，-40℃厚度 1/2 处冲击功 Akv：215J、232J、238J，5%应变+250℃时效后其-40℃冲击功 Akv：195J、180J、178J，厚度方向断面收缩率：55%、49%、58%，探伤按 EN10160 标准 S2E3 级别合格。

- 15 现有的海洋工程用低温韧性 S355G10 钢板，一般 100mm 以上特厚钢板多采用正火或调质热处理工艺生产，使用钢锭作为原材料进行轧制以保证大的压缩比，为保证各项性能会加入较多的合金含量，综合生产成本低，另外成分设计较高的 C 及 CEV 也不利于焊接性能；而 TMCP 工艺生产最大厚度仅为 100mm，不能完全满足海洋工程用 100mm 以上特厚板的需求。

- 20 采用低碳成分设计，利用超低 P、S 的冶炼工艺技术，获得了 C0.5、C1.0 级中心偏析的高质量铸坯，在低压缩比条件下采用 TMCP 工艺及后序回火热处理工艺，进一步改善特厚钢板厚度 1/2 处的组织性能，开发出厚度 120mm 低温韧性优良的海洋工程用 S355G10 特厚钢板，钢板厚度 1/2 处-40℃冲击韧性≥150 Akv/J，5%应变+250℃时效后其-40℃冲击韧性≥100 Akv/J，厚度方向性能达 Z35

级别，探伤按 EN10160 标准 S2E3 级别合格。

除上述实施例外，本发明还可以有其他实施方式。凡采用等同替换或等效变换形成的技术方案，均落在本发明要求的保护范围。

权 利 要 求 书

1. 一种海洋工程用 S355G10 特厚钢板, 其特征在于, 其化学成分及质量百分比如下: C: 0.04%~0.08%, Mn: 1.40%~1.60%, Si: 0.10%~0.30%, P: $\leq 0.013\%$, S: $\leq 0.003\%$, Nb: 0.015%~0.030%, Ti: 0.010%~0.020%, Al: 0.020%~0.055%, Cr: 0.10%~0.20%, Ni: 0.30%~0.50%, CEV: $\leq 0.38\%$, Pcm: $\leq 0.18\%$, 余量为 Fe 和杂质。

2. 根据权利要求 1 所述的一种海洋工程用 S355G10 特厚钢板, 其特征在于, 其化学成分及质量百分比如下: C: 0.06%, Mn: 1.54%, Si: 0.26%, P: 0.010%, S: 0.002%, Nb: 0.027%, Ti: 0.013%, Al: 0.035%, Cr: 0.13%, Ni: 0.41%, CEV: 0.36%, Pcm: 0.15%, 余量为 Fe 和杂质。

3. 根据权利要求 1 所述的一种海洋工程用 S355G10 特厚钢板, 其特征在于, 其化学成分及质量百分比如下: C: 0.07%, Mn: 1.48%, Si: 0.24%, P: 0.011%, S: 0.002%, Nb: 0.025%, Ti: 0.015%, Al: 0.033%, Cr: 0.15%, Ni: 0.46%, CEV: 0.37%, Pcm: 0.16%, 余量为 Fe 和杂质。

4. 根据权利要求 1 所述的一种海洋工程用 S355G10 特厚钢板, 其特征在于: 钢板厚度为 120mm。

5. 一种海洋工程用 S355G10 特厚钢板制造方法, 其特征在于: 包括炼钢工序、坯料加热工序、轧制工序、控制冷却工序、回火工序,

炼钢工序: 采用转炉深脱磷钢水 $P \leq 0.013\%$, 铁水预处理脱硫和 LF 深脱硫钢水 $S \leq 0.003\%$, 连铸采用动态轻压下、电磁搅拌, 生产制备得到 320mm 铸坯, 连铸坯中心偏析不超过 C1.0 级;

加热工序: 铸坯入加热炉加热, 加热系数 10.0~15.0min/cm, 加热温度 1180~1220℃;

轧制工序: 采用二阶段控轧工艺, 第一阶段粗轧轧制终了温度 $\geq 980^\circ\text{C}$, 第二阶段开轧温度 $\leq 820^\circ\text{C}$, 保证终轧温度 770~810℃;

冷却工序: 轧制后的钢板入超快冷系统进行快速冷却, 冷却速度 10~20

°C/s, 返红温度 520~580°C, 然后进行堆垛缓冷;

回火工序: 回火温度 560~600°C, 在炉保温时间为 300~400min, 回火后单独堆放, 空冷至室温。

6. 根据权利要求 5 所述的一种海洋工程用 S355G10 特厚钢板制造方法, 其特征在于: 包括炼钢工序、坯料加热工序、轧制工序、控制冷却工序、回火工序,

炼钢工序: 采用转炉深脱磷钢水 P: 0.010%, 铁水预处理脱硫和 LF 深脱硫钢水 S: 0.002%, 连铸采用动态轻压下、电磁搅拌, 生产制备得到 320mm 铸坯, 连铸坯中心偏析 C0.5 级;

10 加热工序: 铸坯入加热炉加热, 加热系数 11.2min/cm, 加热温度 1203°C;

轧制工序: 采用二阶段控轧工艺, 第一阶段粗轧轧制终了温度 1002°C, 第二阶段开轧温度 803°C, 终轧温度 782°C;

15 冷却工序: 轧制后的钢板入超快冷系统进行快速冷却, 冷却速度 17°C/s, 返红温度 535°C, 然后进行堆垛缓冷;

回火工序: 回火温度 571°C, 在炉保温时间为 350min, 回火后单独堆放, 空冷至室温。

7. 根据权利要求 5 所述的一种海洋工程用 S355G10 特厚钢板制造方法, 其特征在于: 包括炼钢工序、坯料加热工序、轧制工序、控制冷却工序、回火工序,

20 炼钢工序: 采用转炉深脱磷钢水 P: 0.011%, 铁水预处理脱硫和 LF 深脱硫钢水 S: 0.002%, 连铸采用动态轻压下、电磁搅拌, 生产制备得到 320mm 铸坯, 连铸坯中心偏析 C1.0 级;

加热工序: 铸坯入加热炉加热, 加热系数 10.6min/cm, 加热温度 1209

℃;

轧制工序：采用二阶段控轧工艺，第一阶段粗轧轧制终了温度 992℃，第二阶段开轧温度 807℃，终轧温度 791℃；

5 冷却工序：轧制后的钢板入超快冷系统进行快速冷却，冷却速度 14℃/s，返红温度 564℃，然后进行堆垛缓冷；

回火工序：回火温度 586℃，在炉保温时间为 386min，回火后单独堆放，空冷至室温。