

海洋结构用厚度 S355G10+N 钢板及其生产方法

技术领域

本发明涉及钢铁冶炼技术领域，特别是涉及一种海洋结构用厚度 S355G10+N 钢板及其生产方法。

5 背景技术

S355G10 钢属 BSEN10225 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，控扎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 产品，如：专利 CN 104726769 公开了“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；由于钢锭凝固原因，特厚板轧制渗透力影响，厚度 1/2 处-40℃冲击技术难度大，
15 且探伤质量不能保证。专利 CN 109628853 公开了“一种海洋工程用 S355G10 特厚钢板及制造方法”，其采用低碳成分设计、TMCP 工艺，并采用回火工艺生产，受连铸坯压缩比限制，其生产最厚度为 120mm，不能完全满足海洋工程用 120mm 以上特厚钢板的需求。

受现有连铸坯压缩比限制，因 EN10225 标准要求不小于 4 倍轧制压缩比，
20 一般海洋结构用厚度 S355G10+N 钢板，如厚度 100mm 以上 S355G10+N 特厚钢板多使用钢锭作为原材料进行轧制，以保证大的压缩比，以及采用正火热处理工艺进行生产，由于钢锭凝固原因、特厚板轧制渗透力限制等影响，此特厚板厚度 1/2 处-40℃冲击技术难度大，且探伤质量不能保证。而 TMCP 工艺、TMCP+回火工艺生产最厚度仅为 100mm、120mm，不能完全满足海洋工程用 120mm 以上特
25 厚板的需求。

发明内容

为了解决以上技术问题，本发明提供一种海洋结构用厚度 S355G10+N 钢板，钢板最厚度为 150mm，化学成分及质量百分比如下：C：0.08%~0.14%，Mn：1.30%~1.65%，Si：0.10%~0.50%， $P \leq 0.015\%$ ， $S \leq 0.005\%$ ，Nb：0.015%~0.030%，V
5 $\leq 0.03\%$ ，Ti：0.10%~0.020%，Al_t：0.020%~0.055%，Ni：0.10%~0.50%，CEV $\leq 0.43\%$ ， $P_{cm} \leq 0.21\%$ ，余量为 Fe 和不可避免的杂质。

技术效果：本发明采用合理的成分设计、复合坯轧制、正火热处理工艺等，开发出 BSEN10225 标准规定最厚度达 150mm 的 S355G10+N 钢板，钢板近表面及厚度 1/2 处-40℃冲击韧性都不小于 100 J，厚度方向性能达 Z35 级别，探伤按
10 EN10160 标准 S2E3 级别合格，综合力学性能指标达到国外同类水平，低温韧性优异，焊接性能更加优异。

本发明进一步限定的技术方案是：

前所述的海洋结构用厚度 S355G10+N 钢板，化学成分及质量百分比如下：C：0.08%~0.10%，Mn：1.58%~1.65%，Si：0.34%~0.50%， $P \leq 0.010\%$ ， $S \leq 0.002\%$ ，
15 Nb：0.015%~0.021%， $V \leq 0.028\%$ ，Ti：0.10%~0.020%，Al_t：0.020%~0.031%，Ni：0.10%~0.31%，CEV $\leq 0.40\%$ ， $P_{cm} \leq 0.20\%$ ，余量为 Fe 和不可避免的杂质。

前所述的海洋结构用厚度 S355G10+N 钢板，化学成分及质量百分比如下：C：0.12%~0.14%，Mn：1.30%~1.41%，Si：0.10%~0.21%， $P \leq 0.011\%$ ， $S \leq 0.001\%$ ，Nb：0.027%~0.030%， $V \leq 0.03\%$ ，Ti：0.10%~0.020%，Al_t：0.036%~0.055%，
20 Ni：0.43%~0.50%，CEV $\leq 0.40\%$ ， $P_{cm} \leq 0.21\%$ ，余量为 Fe 和不可避免的杂质。

本发明的另一目的在于提供一种海洋结构用厚度 S355G10+N 钢板的生产方法，包括板坯真空焊接工序、复合坯加热工序、轧制工序、正火热处理工序，

板坯真空焊接工序：采用两块以上同一炉号、同一成分的连铸坯，在真空度 ≤ 0.05 Pa 条件下进行板坯焊接，得到 600mm 以上厚度的焊接复合坯；

复合坯加热工序：将板坯加热到 1200~1250℃，保温 5~10h；

轧制工序：通过宽厚板轧机分为两阶段轧制，粗轧阶段终轧温度 $\geq 950^{\circ}\text{C}$ ，精轧阶段开轧温度 $\leq 840^{\circ}\text{C}$ ，轧后钢板在空冷；

正火热处理工序：钢板在热处理炉进行正火，正火温度 880~920℃，保温
5 时间为 $(1.8\sim 2.0)\times H$ 分钟，H 为钢板以 mm 计的厚度。

前所述的海洋结构用厚度 S355G10+N 钢板，钢板厚度为 150mm，化学成分及质量百分比如下：C：0.10%，Mn：1.58%，Si：0.34%，P：0.010%，S：0.002%，Nb：0.021%，V：0.028%，Ti：0.14%，Al_t：0.031%，Ni：0.31%，CEV：0.40%，P_{cm}：0.20%，余量为 Fe 和不可避免的杂质，包括如下步骤：

10 板坯真空焊接工序：采用两块同一炉号、同一成分的 310mm 连铸坯，在真空度 0.03 Pa 条件下进行板坯焊接，得到 620mm 厚度的焊接复合坯；

复合坯加热工序：将板坯加热到 1243℃，保温 8h；

轧制工序：通过宽厚板轧机分为两阶段轧制，粗轧阶段终轧温度 988℃，精轧阶段开轧温度 832℃，轧后钢板在空冷；

15 正火热处理工序：钢板在热处理炉进行正火，正火温度 892℃，保温时间为 279 分钟。

前所述的海洋结构用厚度 S355G10+N 钢板及其生产方法，钢板厚度为 150mm，化学成分及质量百分比如下：C：0.12%，Mn：1.41%，Si：0.21%，P：0.011%，S：0.001%，Nb：0.027%，V：0.03%，Ti：0.020%，Al_t：0.036%，Ni：0.43%，
20 CEV：0.40%，P_{cm}：0.21%，余量为 Fe 和不可避免的杂质，包括如下步骤：

板坯真空焊接工序：采用两块同一炉号、同一成分的 300mm 连铸坯，在真空度 0.04Pa 条件下进行板坯焊接，得到 600mm 厚度的焊接复合坯；

复合坯加热工序：将板坯加热到 1234℃，保温 7h；

轧制工序：通过宽厚板轧机分为两阶段轧制，粗轧阶段终轧温度 997℃，精轧阶段开轧温度 836℃，轧后钢板在空冷；

正火热处理工序：钢板在热处理炉进行正火，正火温度 905℃，保温时间为 293 分钟。

5 本发明的有益效果是：

（1）本发明使用普通连铸坯焊接复合技术即可以得到厚度铸坯，成本远低于铸锭炼钢生产方式，生产效率也高；

（2）本发明使用高质量连铸坯进行焊接复合，由于轧制钢板厚度 1/2 处冲击对应于焊接复合处、原始铸坯近表面处，-40℃低温冲击韧性更好，且探伤质量也能得到保障；

10

（3）本发明相比于 TMCP 工艺、TMCP+回火工艺，生产的钢板最厚度达 150mm，超过连铸坯生产的最大 100、120mm 厚度；

（4）本发明生产的 150mm 特厚钢板低温韧性优异，特别是厚度 1/2 处为焊接复合处，避开原始铸坯的中心偏析处，较铸坯轧制生产工艺，有效保证钢板厚度 1/2 处低温冲击韧性；金相组织为 F+P 组织，晶粒度 8.0-9.5 级，带状组织 ≤1.0 级，厚度 1/2 处 -40℃冲击大于 100J，焊接性能好，更好地满足海上结构的使用和服役要求。

15

具体实施方式

实施例 1

20 本实施例提供的一种海洋结构用厚度 S355G10+N 钢板，厚度为 150mm，化学成分及质量百分比如下：C：0.10%，Mn：1.58%，Si：0.34%，P：0.010%，S：0.002%，Nb：0.021%，V：0.028%，Ti：0.14%，Al_T：0.031%，Ni：0.31%，CEV：0.40%，P_{cm}：0.20%，余量为 Fe 和不可避免的杂质。

生产方法包括如下步骤：

板坯真空焊接工序：通过对连铸坯的清理、组坯、焊接等处理，采用两块同一炉号、同一成分的 310mm 连铸坯，在真空度 0.03 Pa 条件下进行板坯焊接，得到 620mm 厚度的焊接复合坯；

- 5 复合坯加热工序：将板坯加热到 1243℃，保温 8h；

轧制工序：通过宽厚板轧机分为两阶段轧制，粗轧阶段终轧温度 988℃，精轧阶段开轧温度 832℃，轧后钢板在空冷；

正火热处理工序：钢板在热处理炉进行正火，正火温度 892℃，保温时间为 279 分钟。

- 10 钢板力学性能为：屈服强度 347MPa，抗拉强度 498MPa，断后伸长率 30%，屈强比 0.70，厚度近表面-40℃冲击功 Akv：134J、180J、152J，厚度 1/2 处-40℃冲击功 Akv：209J、207J、218J，厚度方向断面收缩率：61%、56%、55%，探伤按 EN10160 标准 S2E3 级别合格。

实施例 2

- 15 本实施例提供的一种海洋结构用厚度 S355G10+N 钢板，厚度为 150mm，化学成分及质量百分比如下：C：0.12%，Mn：1.41%，Si：0.21%，P：0.011%，S：0.001%，Nb：0.027%，V：0.03%，Ti：0.020%，Al_t：0.036%，Ni：0.43%，CEV：0.40%，P_{cm}：0.21%，余量为 Fe 和不可避免的杂质。

生产方法包括如下步骤：

- 20 板坯真空焊接工序：通过对连铸坯的清理、组坯、焊接等处理，采用两块同一炉号、同一成分的 300mm 连铸坯，在真空度 0.04Pa 条件下进行板坯焊接，得到 600mm 厚度的焊接复合坯；

复合坯加热工序：将板坯加热到 1234℃，保温 7h；

轧制工序：通过宽厚板轧机分为两阶段轧制，粗轧阶段终轧温度 997℃，精轧阶段开轧温度 836℃，轧后钢板在空冷；

正火热处理工序：钢板在热处理炉进行正火，正火温度 905℃，保温时间为 293 分钟。

- 5 钢板力学性能为：屈服强度 342MPa，抗拉强度 489MPa，断后伸长率 28%，屈强比 0.70，厚度近表面-40℃冲击功 Akv：163J、192J、185J，厚度 1/2 处-40℃冲击功 Akv：226J、196J、198J，厚度方向断面收缩率：57%、60%、64%，探伤按 EN10160 标准 S2E3 级别合格。

- 随着海洋资源开发不断向深海迈进，对海洋工程用钢的需求量不断扩大，
10 特别是特厚钢板、大规格钢板，而 EN10225 标准 S355G10 为专为海上结构设计的钢板，市场需求量很大。相比于钢锭开坯轧制方式，由于钢锭凝固原因、特厚板轧制渗透力限制等影响，厚度 1/2 处-40℃冲击技术难度大，且探伤质量不能保证。本发明采用合理成分设计、复合坯轧制、正火热处理工艺等，开发出 EN10225 标准规定最厚度 150mm 的 S355G10+N 钢板，钢板近表面及厚度 1/2 处
15 -40℃冲击韧性都不小于 100 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。

- 本发明生产钢板最厚度为 150mm，工艺同样适合于生产厚度不超过 150mm 厚度规格的相关产品，钢板牌号 S355G10+N，质量同时满足 S355G7+N、S355G8+N、S355G9+N 系列牌号。钢板低温韧性优异，因成分设计 CEV、Pcm 值低，焊接性能
20 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，经济效益好，预计吨钢毛利 1000 元/吨以上。

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。