

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
C22C 38/18 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200580045052.X

[43] 公开日 2007年12月19日

[11] 公开号 CN 101090988A

[22] 申请日 2005.12.22

[21] 申请号 200580045052.X

[30] 优先权

[32] 2004.12.27 [33] KR [31] 10-2004-0113129

[86] 国际申请 PCT/KR2005/004472 2005.12.22

[87] 国际公布 WO2006/071027 英 2006.7.6

[85] 进入国家阶段日期 2007.6.27

[71] 申请人 POSCO 公司

地址 韩国庆尚北道

[72] 发明人 金光泰 李龙宪 孙元根

[74] 专利代理机构 北京铭硕知识产权代理有限公司
代理人 韩明星 刘奕晴

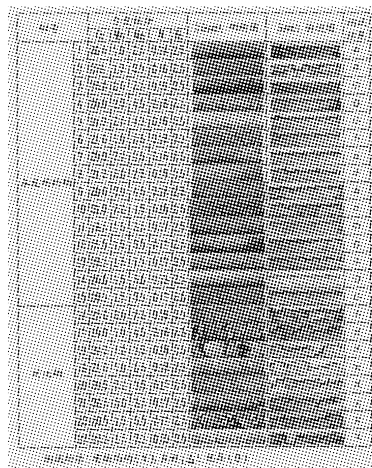
权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 5 页

[54] 发明名称

具有优异的耐蚀性能的低镍双相不锈钢

[57] 摘要

本发明公开了一种含有含量相对低的 Ni 的双相不锈钢，限制 Cr-Mo-Mn-N 组分以使 α 和 γ 的体积分数具有大约 50:50，从而使边裂的发生率最小化以提高生产良率并降低处理负载，其中，合金组分包括 19.5%~22.5% 的 Cr、0.5%~2.5% 的 Mo、1.0%~3.0% 的 Ni、1.5%~4.5% 的 Mn、0.15%~0.25% 的 N、Fe 和不可避免的元素，根据合金组分的组成范围调整所述合金组分的组成范围以使所述 CPT 高于 20°C。因此，降低 Cr、Mo 和 Ni 的含量且略微提高 Mn 的含量，使得钢的生产成本降低；保障耐蚀性能优于 STS 304 钢和 316L 钢；减少被热轧时边裂的发生率，从而降低接下来的过程上的负载；减少了表面缺陷，从而提高了生产良率。



1、一种具有优异的耐蚀性能的低 Ni 双相不锈钢，所述双相不锈钢具有的合金组分包括 19.5% ~ 22.5% 的 Cr、0.5% ~ 2.5% 的 Mo、1.0% ~ 3.0% 的 Ni、1.5% ~ 4.5% 的 Mn、0.15% ~ 0.25% 的 N、Fe 和不可避免的元素，其中，通过下面的利用所述合金组分的组成范围作为函数的方程式来计算 CPT:

$$\text{CPT}(\text{°C}) = -150.47 + 2.65\text{Cr} + 11.71\text{Mo} - 1.3\text{Mn} + 64.58\text{N}$$

调整所述合金组分的组成范围以使所述 CPT 高于 20°C。

2、如权利要求 1 所述的双相不锈钢，还包括 0.03% 及小于 0.03% 的 C、0.03% 及小于 0.03% 的 P 和 2% 及小于 2% 的 Si。

具有优异的耐蚀性能的低镍双相不锈钢

技术领域

本发明涉及一种双相不锈钢，与 S32205 双相不锈钢相比较而言，该双相不锈钢包含了高含量的 Mn 和低含量的 Cr、Mo、N 和 Ni。更具体地讲，本发明涉及一种双相不锈钢，该双相不锈钢包含了低含量的 Cr、Mo、N 和 Ni，由此降低该不锈钢的生产成本、具有优于 STS 304 钢和 316L 钢的优异的耐蚀性能，并在被热轧时具有低的边裂发生率。

背景技术

通常，成型性能 (formability) 和耐蚀性能 (corrosion resistance) 优异的奥氏体(austenite)不锈钢采用 Fe 为母材 (base metal)，并主要包含 Cr 和 Ni。此外，为了达到各种各样的目的，已通过添加诸如 Mo、Cu 等其他元素对奥氏体不锈钢进行了各种各样的开发。

在奥氏体不锈钢中，316L 钢具有优异的耐蚀性能、抗点蚀性能 (pitting resistance) 和高温强度。然而，316L 钢是低碳钢，且包含了大于 10wt% 的 Ni 和大于 2wt% 的 Mo，使得其成本价格随 Ni 和 Mo 的价格波动严重，从而降低了竞争力。

为了提高竞争力，钢铁业通过降低 Ni 和 Mo 的含量并保障耐蚀性能优于 316L 钢的耐蚀性能来努力开发新钢。

作为具有奥氏体相和铁素体 (ferrite phase) 相混合形成的双相不锈钢的例子，S32205 双相不锈钢 (以下称作“2205 钢”) 包含高百分比的 Cr、Mo 和 N 以保障优异的耐蚀性能，并包含大于 5wt% 的 Ni 以保障体积分数。

与包含 10% 的 Ni 的 STS 316L 钢相比较而言，这种双相不锈钢包含相对低的百分比的 Ni，使得其生产成本低，因此其价格具有竞争力，从而提高了附加值 (added value)。然而，2205 钢的热成型性能差，因此具有 80% 的非常低的生产良率。此外，2205 钢具有高含量的 Cr 和 Mo，使得 σ (sigma) 相的沉积速度高，从而使钢的特性变差，并对缠绕和冷却处理具有高负载。因此，难以用 2205 钢取代 316L 钢。

发明内容

因此，本发明的目的是提供一种双相不锈钢，与 2205 钢相比较而言，该双相不锈钢具有低含量的 Cr、Mo、N 和 Ni，由此降低钢的生产成本，通过降低被热轧时边裂的发生率来提高生产良率，且该双相不锈钢还具有优于 STS 304 钢和 316L 钢的优异的耐蚀性能。

本发明人开发了一种双相不锈钢，该双相不锈钢包含了相对低的含量的 Ni，并限制了 Cr-Mo-Mn-N 的组分以使 α 和 γ 的体积分数具有大约 50: 50，使得生产成本降低；保障 CPT 高于 STS 304 钢和 316L 钢的 CPT 的 20°C；将边裂发生率最小化以提高生产良率并降低处理负载。

在本发明的示例性实施例中，双相不锈钢包含 19.5~22.5% 的 Cr、0.5~2.5% 的 Mo、1.0~ 3.0% 的 Ni、1.5~4.5% 的 Mn、0.15%~0.25% 的 N、0.03% 及小于 0.03% 的 C、0.03% 及小于 0.03% 的 P、2% 及小于 2% 的 Si、Fe 和不可避免的元素。

附图说明

从下面优选实施例的结合附图的描述中，本发明的这些和/或其他目的和优势将变得清楚并更易于理解，在附图中：

图 1 是根据合金组分示出被热轧的样品的边裂的照片；

图 2 是示出根据本发明的钢样品和对比钢样品的合金组分和体积分数的表格；

图 3 是示出图 2 的样品的临界点蚀温度 (CPT) 的表格；

图 4 是示出关于耐蚀性能和热成型性能的图 2 的样品的总测试结果的表格；

图 5 是示出根据本发明的钢和传统的钢的氧化增量的表格。

具体实施方式

以下，将参照附图描述本发明的实施例。下面，将基本组分进行如下的限制。

碳 (C): C 对于通过固溶强化来强化材料是有效的。然而，当 C 的含量过量时，C 易于与诸如 Cr 的碳化物形成元素 (carbide-forming element) 结合，

其中，碳化物形成元素对于铁素体相和奥氏体相之间的边界的耐蚀性能是有影响的。因此，C 降低了晶界 (grain boundary) 周围的 Cr 的含量，使得耐蚀性能变差。为了使耐蚀性能最大化，将 C 的含量降低到 0.03 % 以及 0.03 % 以下。

氮 (N): N 与 Ni 一起是有助于奥氏体相稳定的元素中的一种。当 N 含量增加时，耐蚀性能和高强度得以实现。然而，当 N 的含量过高时，钢的热成型性能变差，从而降低了钢的生产良率。另一方面，当 N 的含量过低时，应该降低 Cr 和 Mo 的含量，来保障钢的体积分数，否则难以保障焊接部件的强度和相稳定性。因此，N 的含量优选地在 0.15 % 和 0.25 % 之间。

锰 (Mn): Mn 通常具有大约 1.5 % 的含量以调整金属流率 (metal flow rate)。同时，可附加地包含 Mn 来代替 Ni。在这种情况下，热成型性能可再次得到提高。然而，当 Mn 的含量过量时，Mn 与钢中的 S 结合并形成 MnS，从而使耐蚀性能和热成型性能变差。因此，Mn 含量的上限被限制为 4.5 %。优选地，Mn 的含量在 1.5 % 和 4.5 % 之间。

铬 (Cr): Cr 与 Mo 一起用作使铁素体相稳定的元素。这里，Cr 不仅对于主要保障双相不锈钢的铁素体相来说是必要的，而且对于保障优异的耐蚀性能来说也是必要的。当 Cr 的含量增加时，耐蚀性能提高，但也应该提高昂贵的 Ni 的含量以保持体积分数。结果，优选地限定 Cr 的含量在 19.5 % 和 22.5 % 之间以保持双相不锈钢的体积分数和优于 STS 304 钢和 316L 钢的耐蚀性能。

钼 (Mo): 像 Cr 一样，Mo 不仅用于稳定铁素体相而且大大地提高了耐蚀性能。然而，如果 Mo 的含量过量，则当进行退火时 Mo 可能形成 σ 相，从而使得耐蚀性能和耐冲击性能变差。在本实施例中，Mo 只是辅助 Cr 保障铁素体的体积分数并保障适当的耐蚀性能，从而优选地限定 Mo 的含量在 0.5 % 和 2.5 % 之间。

镍 (Ni): Ni 与 Mn 和 N 一起是稳定奥氏体相的元素，并主要用作保障双相不锈钢的奥氏体相。为了降低生产成本，如果降低昂贵的 Ni 的含量，则可通过提高形成奥氏体相的 Mn 和 N 的含量来代替 Ni 的减量。然而，如果过度地降低 Ni 的含量，则将会过度地需要 Mn 和 N，这使得耐蚀性能和热成型性能变差，或者降低 Cr 和 Mo 的含量，这使得难以保障耐蚀性能优于 316L 钢。因此，Ni 的含量优选地位于 1.0 % 和 3.0 % 之间。

磷 (P): P 在晶界或界面处发生偏析, 这可能使耐蚀性能和韧性变差。因此, 尽可能地降低 P 的含量。优选地, 考虑到精炼处理的效率, 限制 P 含量的上限为 0.03%。

硫 (S): S 使热成型性能变差, 或者与 Mn 一起形成 MnS, 从而使得耐蚀性能变差。因此, 尽可能地降低 S 的含量。优选地, S 的含量低于 0.03%。

硅 (Si): 为了脱氧而添加 Si, 然而 Si 可作为用于稳定铁素体相的元素。如果 Si 的含量过量, 则 Si 使得钢的诸如冲击韧性的机械特性变差。因此, Si 的含量优选地限制在 2% 和 2% 以下。

同时, 制备具有根据本发明的实施例的组分的双相不锈钢样品, 并关于体积分数、耐蚀性能和热成型性能进行测试。图 2 示出了将样品在 1050°C 的温度下退火后样品的合金组分和 α -体积分数。在这些合金中, 它们的 α -体积分数在大约 40% 至大约 60% 的范围内。鉴于焊接、相稳定性等, 确定 α -体积分数在 44% 至 51% 范围内的双相不锈钢为优异 (O); α -体积分数低于 44% 或高于 54% 的双相不锈钢为有缺陷的 (X); α -体积分数在 51% 至 54% 范围内的双相不锈钢为良好 (Δ)。

在图 2 的样品中, 对除了 Cr、Mo、Mn 和 N 之外的合金组分进行统一 (unify) 以满足双相不锈钢的总的含量范围, 但是为了实验上的便利, 将 Ni 的含量范围限制在 2.5wt%。

图 3 是示出图 2 的样品的临界点蚀温度 (CPT) 的表格, 在表格中 CPT 意味着耐蚀性能。这里, 确定 CPT 为 20°C 和 20°C 以下的钢为有缺陷的 (X); CPT 在 20°C 至 25°C 范围内的钢为良好 (Δ); CPT 为 20°C 和 20°C 以上的钢为优秀 (O)。

上述 CPT 由下面的步骤产生: 基于美国材料试验协会 (ASTM) G48 方法, 在 1050°C 的温度下将具有 50mm(L)×25mm(W)×3mm(T) 尺寸的被热轧的样品退火, 然后在酸化的氯化铁溶液中沉淀 24 小时。

根据 ASTM G48 方法, 由下面的方程式得到测量起始温度的 CPT:

$$\text{CPT}(\text{°C}) = (2.5 \times \% \text{Cr}) + (7.6 \times \% \text{Mo}) + (31.9 \times \% \text{N}) - 41.0.$$

ASTM G48 方法建议以 5°C 为间隔计算 CPT 并选择最接近的数值。

然而, 通过 ASTM G48 方法估计的测量起始温度的 CPT 具有很大的偏差。偏差很大的原因是没有考虑到 Mn 会劣化耐蚀性能。也就是说, 因为具有降低的 Ni 含量的双相不锈钢具有相对高的 Mn 含量, 所以在由上述的 ASTM

G48 方法得到的估计的 CPT 中产生了偏差。

为了补偿该偏差，本发明人通过考虑 Mn 来计算了 CPT，结果如下：

$$\text{CPT}(\text{°C}) = -150.47 + 2.65\text{Cr} + 11.71\text{Mo} - 1.3\text{Mn} + 64.58\text{N}.$$

根据本发明，估计的 CPT 近似等于测量的 CPT。

同时，在钢具有低含量的 Cr 和 Mo 或者具有高含量的 Mn 的情况下，测量的 CPT 比估计的 CPT 相对低一些。因此，不希望为了保障低 Ni 双相不锈钢的体积分数而过度地提高 Mn 的含量或者过度地降低 Cr 和 Mo 的含量。

当生产低 Ni 双相不锈钢时，应该降低边裂的发生率以提高生产良率，并应该保障热成型性能以将固定负载最小化。将具有图 2 的组分的钢生产为 50Kg 的钢锭 (ingot) 并锻压以具有 20mm (T) 和 30mm (T)，然后观察它们的边裂的发生率，从而通过选择与 2205 钢相比较而言在边裂的发生率中性能显著改进的钢而得到了如图 1 的测试结果。

这里，确定具有像 2205 钢一样的边裂的钢为有缺陷的 (X)；具有局部边裂的钢为良好 (Δ)；几乎没有边裂的钢为优异 (O)。

图 4 示出了图 2 的样品关于体积分数、耐蚀性能和热成型性能的总测试结果。四种钢 (3、4、14 和 15 号钢) 满足了双相不锈钢的成型特性，具有优于 316L 钢的耐蚀性能，且热成型性能优异。另外，可选择其它钢 (1、2、5、6、7、8、9、10、11、12、13、15、16、20、21 和 22 号钢) 作为优选的钢，然而它们次于前面所述的钢。因此，随着 Mn 含量变高，热成型性能和耐蚀性能变差。另外，随着 N 含量变高，热成型性能变差。同样，具有高含量的 Mn 的钢需要相对较高含量的 Mo。

图 5 示出了当为了热轧而将钢作为钢坯 (slab) 再次加热时，根据本发明的实施例的优异的钢和良好的钢与对比钢 (诸如 STS 304、STS 316L 和 2205) 之间在高温氧化方面的差异。通过测量一定条件下的氧化增量来进行高温氧化测量，所述条件如下：在 1250 °C 的温度下加热具有 10mm(L)×10mm(W)×3mm(T) 尺寸的被热轧样品，并在加热炉中保持 180 分钟。

此时，在加热炉的气氛下，将 S 的含量调整到 200ppm。结果，根据本发明的钢的氧化增量为传统的 2205 钢的 4 至 6 倍，其性能比传统的 2205 钢低，且为 316L 钢的大约 1/3 至 1/2 倍，其性能比 316L 钢高。与传统的 2205 钢相比较而言，通过由于被热轧时形成在被再次加热的钢坯表面上的氧化层而导致的表面润滑效应减少了表面缺陷，所以提高了根据本发明的钢的表面质量。

与 2205 双相不锈钢相比较而言，在根据本发明的双相不锈钢中，降低 Cr、Mo 和 Ni 的含量且略微提高 Mn 的含量，使得钢的生产成本降低；保障了耐蚀性能优于 STS 304 钢和 316L 钢；减少了被热轧时边裂的发生率，从而降低了接下来的过程上的负载；减少了表面缺陷，从而提高了生产良率。

虽然已示出和描述了本发明的一些实施例，但本领域技术人员要理解的是，在不脱离本发明的原理和精神以及不脱离权利要求及其等同物所限定的范围的情况下，可对实施例进行改变。

| 钢号 | 合金组分 | | | | | 20mmt 侧视图 | 3mmt 俯视图 | 测试结果 | |
|-------|------|------|-----|-----|------|-----------|----------|------|---|
| | Cr | Mo | Mn | N | Ni | | | | |
| 本发明的钢 | 1 | 20.0 | 1.0 | 2.5 | 0.16 | 2.5 | | | △ |
| | 2 | 21.0 | 1.0 | 2.5 | 0.16 | 2.5 | | | △ |
| | 3 | 20.0 | 2.0 | 2.5 | 0.16 | 2.5 | | | ○ |
| | 4 | 20.0 | 2.0 | 4.5 | 0.16 | 2.5 | | | ○ |
| | 5 | 21.0 | 2.0 | 4.5 | 0.16 | 2.5 | | | ○ |
| | 6 | 21.0 | 1.0 | 2.5 | 0.18 | 2.5 | | | △ |
| | 7 | 20.0 | 2.0 | 2.5 | 0.18 | 2.5 | | | △ |
| | 8 | 21.0 | 2.0 | 2.5 | 0.18 | 2.5 | | | △ |
| | 9 | 20.0 | 2.0 | 4.5 | 0.18 | 2.5 | | | △ |
| | 10 | 21.0 | 2.0 | 4.5 | 0.18 | 2.5 | | | △ |
| | 11 | 19.5 | 1.5 | 3.5 | 0.17 | 2.5 | | | ○ |
| | 12 | 21.5 | 1.5 | 3.5 | 0.17 | 2.5 | | | ○ |
| | 13 | 20.5 | 1.5 | 1.5 | 0.17 | 2.5 | | | △ |
| | 14 | 20.5 | 1.5 | 3.5 | 0.15 | 2.5 | | | ○ |
| | 15 | 20.5 | 1.5 | 3.5 | 0.17 | 2.5 | | | ○ |
| 对比钢 | 16 | 23.0 | 2.0 | 2.5 | 0.16 | 2.5 | | | △ |
| | 17 | 19.0 | 1.0 | 4.5 | 0.16 | 2.5 | | | × |
| | 18 | 20.0 | 1.0 | 5.5 | 0.18 | 2.5 | | | × |
| | 19 | 21.0 | 1.0 | 5.5 | 0.18 | 2.5 | | | × |
| | 20 | 20.5 | 0.0 | 3.5 | 0.17 | 2.5 | | | × |
| | 21 | 20.5 | 3.0 | 3.5 | 0.17 | 2.5 | | | × |
| | 22 | 20.5 | 1.5 | 5.5 | 0.17 | 2.5 | | | × |
| | 23 | 20.5 | 1.5 | 3.5 | 0.25 | 2.5 | | | × |

测试标准：有缺陷的(X)，良好(△)，优异(O)

图1

| 钢号 | 合金组分 | | | | | | | | | | α 体积 分数 | 测试 结果 |
|-------|------|-------|------|-------|-----|------|-----|-----|------|-----|------------|----------|
| | C | P | S | Si | Cr | Mo | Mn | N | Ni | | | |
| 本发明的钢 | 1 | 0.027 | 0.02 | 0.001 | 0.5 | 20.0 | 1.0 | 2.5 | 0.16 | 2.5 | 44.90 | ○ |
| | 2 | 0.027 | 0.02 | 0.001 | 0.5 | 21.0 | 1.0 | 2.5 | 0.16 | 2.5 | 52.01 | △ |
| | 3 | 0.027 | 0.02 | 0.001 | 0.5 | 20.0 | 2.0 | 2.5 | 0.16 | 2.5 | 50.56 | ○ |
| | 4 | 0.027 | 0.02 | 0.001 | 0.5 | 20.0 | 2.0 | 4.5 | 0.16 | 2.5 | 48.36 | ○ |
| | 5 | 0.027 | 0.02 | 0.001 | 0.5 | 21.0 | 2.0 | 4.5 | 0.16 | 2.5 | 53.05 | △ |
| | 6 | 0.027 | 0.02 | 0.001 | 0.5 | 21.0 | 1.0 | 2.5 | 0.18 | 2.5 | 50.25 | ○ |
| | 7 | 0.027 | 0.02 | 0.001 | 0.5 | 20.0 | 2.0 | 2.5 | 0.18 | 2.5 | 48.80 | ○ |
| | 8 | 0.027 | 0.02 | 0.001 | 0.5 | 21.0 | 2.0 | 2.5 | 0.18 | 2.5 | 53.49 | △ |
| | 9 | 0.027 | 0.02 | 0.001 | 0.5 | 20.0 | 2.0 | 4.5 | 0.18 | 2.5 | 46.60 | ○ |
| | 10 | 0.027 | 0.02 | 0.001 | 0.5 | 21.0 | 2.0 | 4.5 | 0.18 | 2.5 | 51.29 | △ |
| | 11 | 0.027 | 0.02 | 0.001 | 0.5 | 19.5 | 1.5 | 3.5 | 0.17 | 2.5 | 42.80 | △ |
| | 12 | 0.027 | 0.02 | 0.001 | 0.5 | 21.5 | 1.5 | 3.5 | 0.17 | 2.5 | 54.60 | △ |
| | 13 | 0.027 | 0.02 | 0.001 | 0.5 | 20.5 | 1.5 | 1.5 | 0.17 | 2.5 | 50.90 | ○ |
| | 14 | 0.027 | 0.02 | 0.001 | 0.5 | 20.5 | 1.5 | 3.5 | 0.15 | 2.5 | 50.46 | ○ |
| | 15 | 0.027 | 0.02 | 0.001 | 0.5 | 20.5 | 1.5 | 3.5 | 0.17 | 2.5 | 48.70 | ○ |
| 对比钢 | 16 | 0.027 | 0.02 | 0.001 | 0.5 | 23.0 | 2.0 | 2.5 | 0.16 | 2.5 | 64.63 | X |
| | 17 | 0.027 | 0.02 | 0.001 | 0.5 | 19.0 | 1.0 | 4.5 | 0.16 | 2.5 | 35.59 | X |
| | 18 | 0.027 | 0.02 | 0.001 | 0.5 | 20.0 | 1.0 | 5.5 | 0.18 | 2.5 | 39.84 | X |
| | 19 | 0.027 | 0.02 | 0.001 | 0.5 | 21.0 | 1.0 | 5.5 | 0.18 | 2.5 | 46.95 | ○ |
| | 20 | 0.027 | 0.02 | 0.001 | 0.5 | 20.5 | 0.0 | 3.5 | 0.17 | 2.5 | 42.02 | △ |
| | 21 | 0.027 | 0.02 | 0.001 | 0.5 | 20.5 | 3.0 | 3.5 | 0.17 | 2.5 | 55.37 | △ |
| | 22 | 0.027 | 0.02 | 0.001 | 0.5 | 20.5 | 1.5 | 5.5 | 0.17 | 2.5 | 46.50 | ○ |
| | 23 | 0.027 | 0.02 | 0.001 | 0.5 | 20.5 | 1.5 | 3.5 | 0.25 | 2.5 | 41.67 | △ |

测试标准:有缺陷的(X),良好(△),优异(O)

图2

| 钢号 | 合金组分 | | | | | CPT (°C) | 测试结果 | |
|-------|------|------|-----|-----|------|-------------|------|---|
| | Cr | Mo | Mn | N | Ni | | | |
| 本发明的钢 | 1 | 20.0 | 1.0 | 2.5 | 0.16 | 2.5 | 22.5 | △ |
| | 2 | 21.0 | 1.0 | 2.5 | 0.16 | 2.5 | 25.0 | ○ |
| | 3 | 20.0 | 2.0 | 2.5 | 0.16 | 2.5 | 32.5 | ○ |
| | 4 | 20.0 | 2.0 | 4.5 | 0.16 | 2.5 | 32.0 | ○ |
| | 5 | 21.0 | 2.0 | 4.5 | 0.16 | 2.5 | 32.5 | ○ |
| | 6 | 21.0 | 1.0 | 2.5 | 0.18 | 2.5 | 25.0 | ○ |
| | 7 | 20.0 | 2.0 | 2.5 | 0.18 | 2.5 | 35.0 | ○ |
| | 8 | 21.0 | 2.0 | 2.5 | 0.18 | 2.5 | 37.5 | ○ |
| | 9 | 20.0 | 2.0 | 4.5 | 0.18 | 2.5 | 30.0 | ○ |
| | 10 | 21.0 | 2.0 | 4.5 | 0.18 | 2.5 | 35.0 | ○ |
| | 11 | 19.5 | 1.5 | 3.5 | 0.17 | 2.5 | 25.0 | ○ |
| | 12 | 21.5 | 1.5 | 3.5 | 0.17 | 2.5 | 30.0 | ○ |
| | 13 | 20.5 | 1.5 | 1.5 | 0.17 | 2.5 | 30.0 | ○ |
| | 14 | 20.5 | 1.5 | 3.5 | 0.15 | 2.5 | 27.5 | ○ |
| | 15 | 20.5 | 1.5 | 3.5 | 0.17 | 2.5 | 27.5 | ○ |
| 对比钢 | 16 | 23.0 | 2.0 | 2.5 | 0.16 | 2.5 | 42.5 | ○ |
| | 17 | 19.0 | 1.0 | 4.5 | 0.16 | 2.5 | 15.0 | X |
| | 18 | 20.0 | 1.0 | 5.5 | 0.18 | 2.5 | 17.5 | X |
| | 19 | 21.0 | 1.0 | 5.5 | 0.18 | 2.5 | 22.5 | △ |
| | 20 | 20.5 | 0.0 | 3.5 | 0.17 | 2.5 | 10.0 | X |
| | 21 | 20.5 | 3.0 | 3.5 | 0.17 | 2.5 | 45.0 | ○ |
| | 22 | 20.5 | 1.5 | 5.5 | 0.17 | 2.5 | 22.5 | △ |
| | 23 | 20.5 | 1.5 | 3.5 | 0.25 | 2.5 | 30.0 | ○ |

测试标准: 有缺陷的(X), 良好(△), 优异(O)

图3

| 钢号 | 合金组分 | | | | | 耐蚀性能 | 热成型性能 | 总测试结果 | |
|-------|------|------|-----|-----|------|------|-------|-------|---|
| | Cr | Mo | Mn | N | Ni | | | | |
| 本发明的钢 | 1 | 20.0 | 1.0 | 2.5 | 0.16 | 2.5 | △ | △ | △ |
| | 2 | 21.0 | 1.0 | 2.5 | 0.16 | 2.5 | ○ | △ | △ |
| | 3 | 20.0 | 2.0 | 2.5 | 0.16 | 2.5 | ○ | ○ | ○ |
| | 4 | 20.0 | 2.0 | 4.5 | 0.16 | 2.5 | ○ | ○ | ○ |
| | 5 | 21.0 | 2.0 | 4.5 | 0.16 | 2.5 | ○ | ○ | △ |
| | 6 | 21.0 | 1.0 | 2.5 | 0.18 | 2.5 | ○ | △ | △ |
| | 7 | 20.0 | 2.0 | 2.5 | 0.18 | 2.5 | ○ | △ | △ |
| | 8 | 21.0 | 2.0 | 2.5 | 0.18 | 2.5 | ○ | △ | △ |
| | 9 | 20.0 | 2.0 | 4.5 | 0.18 | 2.5 | ○ | △ | △ |
| | 10 | 21.0 | 2.0 | 4.5 | 0.18 | 2.5 | ○ | △ | △ |
| | 11 | 19.5 | 1.5 | 3.5 | 0.17 | 2.5 | ○ | ○ | △ |
| | 12 | 21.5 | 1.5 | 3.5 | 0.17 | 2.5 | ○ | ○ | △ |
| | 13 | 20.5 | 1.5 | 1.5 | 0.17 | 2.5 | ○ | △ | △ |
| | 14 | 20.5 | 1.5 | 3.5 | 0.15 | 2.5 | ○ | ○ | ○ |
| | 15 | 20.5 | 1.5 | 3.5 | 0.17 | 2.5 | ○ | ○ | ○ |
| 对比钢 | 16 | 23.0 | 2.0 | 2.5 | 0.16 | 2.5 | ○ | △ | X |
| | 17 | 19.0 | 1.0 | 4.5 | 0.16 | 2.5 | X | X | X |
| | 18 | 20.0 | 1.0 | 5.5 | 0.18 | 2.5 | X | X | X |
| | 19 | 21.0 | 1.0 | 5.5 | 0.18 | 2.5 | △ | X | X |
| | 20 | 20.5 | 0.0 | 3.5 | 0.17 | 2.5 | X | X | X |
| | 21 | 20.5 | 3.0 | 3.5 | 0.17 | 2.5 | ○ | X | X |
| | 22 | 20.5 | 1.5 | 5.5 | 0.17 | 2.5 | △ | X | X |
| | 23 | 20.5 | 1.5 | 3.5 | 0.25 | 2.5 | ○ | X | X |

测试标准：有缺陷的(X)，良好(△)，优异(O)

图4

| 钢 | | 合金组分 | | | | | 根据S含量的氧化增量 (mg/cm ²)* |
|-------|------|------|------|------|-------|-------|--------------------------------------|
| | | Cr | Mo | Mn | N | Ni | |
| 传统钢 | 304 | 18.3 | 0.11 | 1.09 | 0.041 | 8.14 | 56.5 |
| | 316L | 17.7 | 2.21 | 0.71 | 0.020 | 12.22 | 22.1 |
| | 2205 | 22.5 | 3.06 | 1.47 | 0.159 | 5.87 | 1.56 |
| 本发明的钢 | 1 | 20.0 | 1.0 | 2.5 | 0.16 | 2.5 | 8.32 |
| | 2 | 21.0 | 1.0 | 2.5 | 0.16 | 2.5 | 7.44 |
| | 3 | 20.0 | 2.0 | 2.5 | 0.16 | 2.5 | 9.06 |
| | 4 | 20.0 | 2.0 | 4.5 | 0.16 | 2.5 | 7.10 |
| | 5 | 21.0 | 2.0 | 4.5 | 0.16 | 2.5 | 6.53 |
| | 6 | 21.0 | 1.0 | 2.5 | 0.18 | 2.5 | 6.78 |
| | 7 | 20.0 | 2.0 | 2.5 | 0.18 | 2.5 | 7.26 |
| | 8 | 21.0 | 2.0 | 2.5 | 0.18 | 2.5 | 5.87 |
| | 9 | 20.0 | 2.0 | 4.5 | 0.18 | 2.5 | 9.28 |
| | 10 | 21.0 | 2.0 | 4.5 | 0.18 | 2.5 | 4.27 |
| | 11 | 19.5 | 1.5 | 3.5 | 0.17 | 2.5 | 7.24 |
| | 12 | 21.5 | 1.5 | 3.5 | 0.17 | 2.5 | 6.05 |
| 13 | 20.5 | 1.5 | 1.5 | 0.17 | 2.5 | 7.22 | |
| 14 | 20.5 | 1.5 | 3.5 | 0.15 | 2.5 | 7.26 | |
| 15 | 20.5 | 1.5 | 3.5 | 0.17 | 2.5 | 7.04 | |

*: 1250℃加热(120分钟), 200分钟基准
S含量为200ppm时的气氛

图5