



# (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112789365 B

(45) 授权公告日 2022. 09. 27

(21) 申请号 201980065501.9  
 (22) 申请日 2019.08.08  
 (65) 同一申请的已公布的文献号  
 申请公布号 CN 112789365 A  
 (43) 申请公布日 2021.05.11  
 (30) 优先权数据  
 10-2018-0094523 2018.08.13 KR  
 (85) PCT国际申请进入国家阶段日  
 2021.04.02  
 (86) PCT国际申请的申请数据  
 PCT/KR2019/009977 2019.08.08  
 (87) PCT国际申请的公布数据  
 W02020/036370 KO 2020.02.20  
 (73) 专利权人 株式会社POSCO  
 地址 韩国庆尚北道  
 (72) 发明人 李哉和 曹圭珍 金泳台

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227  
 专利代理师 蔡胜有 苏虹

(51) Int.Cl.  
 G22C 38/58 (2006.01)  
 G22C 38/42 (2006.01)  
 G22C 38/44 (2006.01)  
 G22C 38/02 (2006.01)  
 G22C 38/00 (2006.01)

(56) 对比文件  
 CN 102301028 A, 2011.12.28  
 KR 20010083939 A, 2001.09.03  
 CN 102301028 A, 2011.12.28  
 CN 1380150 A, 2002.11.20  
 CN 111212928 A, 2020.05.29  
 CN 102695815 A, 2012.09.26  
 CN 101903549 A, 2010.12.01

审查员 赵洋

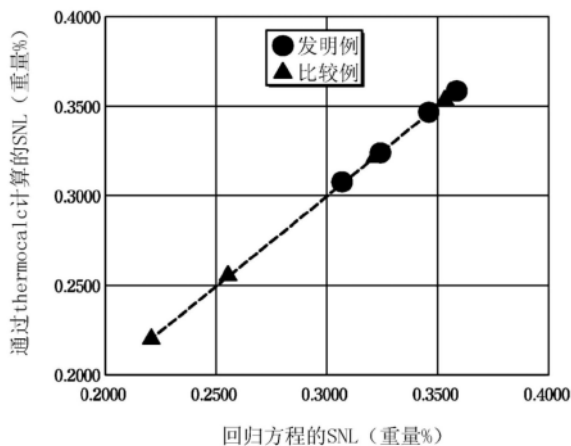
权利要求书1页 说明书9页 附图1页

## (54) 发明名称

具有改善的强度的奥氏体不锈钢

## (57) 摘要

公开了具有改善的强度的奥氏体不锈钢。公开的奥氏体不锈钢以重量%计包含:0.02%至0.14%的C、0.2%至0.6%的Si、小于0.01%的量的S、2.0%至4.5%的Mn、2.5%至5.0%的Ni、19.0%至22.0%的Cr、1.0%至3.0%的Cu、小于1.0%的量的Mo、0.25%至0.40%的N、以及余量的铁和不可避免的杂质,其中由以下关系式(1)表示的氮在液体中的溶解度(SNL)的值大于或等于N的量。关系式(1): $SNL = -0.188 - 0.0423 \times C - 0.0517 \times Si + 0.012 \times Mn + 0.0048 \times Ni + 0.0252 \times Cr - 0.00906 \times Cu + 0.00021 \times Mo$ ,其中C、Si、Mn、Ni、Cr、Cu和Mo意指各元素的量(重量%)。



1. 一种具有改善的强度的奥氏体不锈钢,以全部组成的重量百分比(%)计,所述奥氏体不锈钢包含:C:0.02%至0.14%、Si:0.2%至0.6%、S:小于0.01%、Mn:2.0%至4.5%、Ni:2.5%至5.0%、Cr:大于19.0%且为22.0%或更小、Cu:1.0%至3.0%、Mo:小于1.0%、N:大于0.25%且为0.40%或更小,剩余部分中的铁(Fe)和其他不可避免的杂质,以及

其中由以下式(1)表示的氮在液体中的溶解度(SNL)值等于或大于N的含量,

其中由以下式(4)表示的耐点蚀当量数(PREN)满足22或更大,

式(1): $SNL = -0.188 - 0.0423 \times C - 0.0517 \times Si + 0.012 \times Mn + 0.0048 \times Ni + 0.0252 \times Cr - 0.00906 \times Cu + 0.00021 \times Mo$

在此,C、Si、Mn、Ni、Cr、Cu、和Mo意指各元素的以重量%计的含量,

式(4):耐点蚀当量数(PREN) =  $16 + 3.3Mo + 16N - 0.5Mn$

在此,Mo、N、和Mn意指各元素的以重量%计的含量。

2. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢,其中C+N为0.5%或更小而不包括0。

3. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢,还包含以下中的一者或更多者:B:0.001%至0.005%和Ca:0.001%至0.003%。

4. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢,其中由以下式(2)表示的 $Md_{30}$ 值满足-50或更小,

式(2): $Md_{30} = 551 - 462 \times (C+N) - 9.2 \times Si - 8.1 \times Mn - 13.7 \times Cr - 29 \times (Ni+Cu) - 8.5 \times Mo$

在此,C、N、Si、Mn、Cr、Ni、Cu、和Mo意指各元素的以重量%计的含量。

5. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢,其中所述奥氏体不锈钢满足以下式(3),

式(3): $Creq/Nieq < 1.8$

在此, $Creq = Cr + Mo + 1.5 \times Si$ , $Nieq = Ni + 0.5 \times Mn + 30 \times (C+N) + 0.5 \times Cu$ 。

6. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢,其中屈服强度(0.2偏移)为400MPa至450MPa以及拉伸强度为700MPa至850MPa。

7. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢,其中延伸率为35%或更大。

## 具有改善的强度的奥氏体不锈钢

### 技术领域

[0001] 本公开涉及奥氏体不锈钢,特别地,涉及具有改善的强度同时确保延伸率和耐腐蚀性的奥氏体不锈钢。

### 背景技术

[0002] 不锈钢是指通过抑制腐蚀(碳钢的弱点)来具有强耐腐蚀性的钢。通常,不锈钢根据其化学组成或金属组织分类。根据金属组织,不锈钢可以分类成奥氏体、铁素体、马氏体和双相。

[0003] 其中,奥氏体不锈钢是包含大量的铬(Cr)和镍(Ni)的钢,并且是最通常使用的。例如,316L不锈钢具有基于16%至18%的Cr、10%至14%的镍、和2%至3%的钼(Mo)的组分,通过确保耐腐蚀性和模制特性应用在各种工业领域中。

[0004] 然而,在Ni和Mo的情况下,存在由于高的材料价格导致的价格竞争力方面的问题,并且由于材料价格的急剧波动导致原材料供应和需求不稳定,并且难以确保供应价格稳定性。

[0005] 因此,已经进行了研究以在确保常规316L不锈钢水平的耐腐蚀性和可成形性的同时减少Ni和Mo的含量。作为用于这样的316L不锈钢的替代物,开发出减少了Ni并增加了Mn含量的200系列不锈钢例如216钢。

[0006] 216不锈钢基本上是包含7%或更大的大量Mn的钢以通过将Ni含量减少至一定量或更小来降低材料价格,并根据Ni减少的量确保奥氏体相的稳定性。216不锈钢以重量百分比(%)计包含17.5%至22%的Cr、5%至7%的Ni、7.5%至9%的Mn和2%至3%的Mo。

[0007] 通过该基于组分的设计,216不锈钢可以确保与316L不锈钢的耐腐蚀性水平相似的耐腐蚀性水平,但是由于添加大量的Mn而在炼钢过程期间产生大量的Mn烟,因此不仅需要环境改善,而且炼钢夹杂物(MnS)的产生也会导致制造过程中的生产率降低以及最终材料的表面品质的降低。

[0008] 同时,双相不锈钢是316L不锈钢的替代物。

[0009] 双相不锈钢是具有其中奥氏体相和铁素体相混合的显微组织的不锈钢。具体地,奥氏体相和铁素体相各自以约35%至65%的体积分数存在,显示出奥氏体不锈钢和铁素体不锈钢二者的特性。

[0010] 双相不锈钢确保了与316L不锈钢相当的耐腐蚀性,并且具有低的Ni含量,使其经济且易于确保高强度。因此,其作为用于要求耐腐蚀性的工业设施例如脱盐设施、纸浆、造纸和化学设施的钢成为焦点。

[0011] 特别地,在双相不锈钢中,正在积极地进行对节约型双相(Lean Duplex)不锈钢的研究,所述节约型双相(Lean Duplex)不锈钢通过减少昂贵的合金元素例如Ni和Mo而限制为19%至23%的Cr、1.8%至3.5%的Ni、0%至2%的Mn和0.5%至1.0%的Mo,其通过添加0.16%至0.3%的高氮进一步突出了低合金成本的优点。

[0012] 然而,在节约型双相不锈钢的情况下,存在由于在奥氏体与铁素体之间形成相界

面,因此可成形性和延伸率差的问题。因此,需要开发具有改善的强度同时确保延伸率和耐腐蚀性同时减少Ni和Mo的奥氏体不锈钢。

### 发明内容

[0013] 技术问题

[0014] 本公开的实施方案旨在提供具有改善的强度同时确保现有316L不锈钢水平的延伸率和耐腐蚀性的奥氏体不锈钢。

[0015] 技术方案

[0016] 根据本公开的一个方面,具有改善的强度的奥氏体不锈钢以全部组成的重量百分比(%)计包含:C:0.02%至0.14%、Si:0.2%至0.6%、S:小于0.01%、Mn:2.0%至4.5%、Ni:2.5%至5.0%、Cr:19.0%至22.0%、Cu:1.0%至3.0%、Mo:小于1.0%、N:0.25%至0.40%,剩余部分中的铁(Fe)和其他不可避免的杂质,由以下式(1)表示的氮在液体中的溶解度(SNL,Solubility of Nitrogen in Liquid)值等于或大于N的含量。

[0017] 式(1): $SNL = -0.188 - 0.0423 \times C - 0.0517 \times Si + 0.012 \times Mn + 0.0048 \times Ni + 0.0252 \times Cr - 0.00906 \times Cu + 0.00021 \times Mo$

[0018] (在此,C、Si、Mn、Ni、Cr、Cu和Mo意指各元素的含量(重量%))。

[0019] C+N为0.5%或更小(不包括0)。

[0020] 奥氏体不锈钢还可以包含以下中的一者或更多者:B:0.001%至0.005%和Ca:0.001%至0.003%。

[0021] 由以下式(2)表示的Md<sub>30</sub>值可以满足-50或更小。

[0022] 式(2): $Md_{30} = 551 - 462 \times (C+N) - 9.2 \times Si - 8.1 \times Mn - 13.7 \times Cr - 29 \times (Ni+Cu) - 8.5 \times Mo$

[0023] (在此,C、N、Si、Mn、Cr、Ni、Cu和Mo意指各元素的含量(重量%))。

[0024] 奥氏体不锈钢可以满足以下式(3)。

[0025] 式(3): $C_{req}/N_{req} \leq 1.8$

[0026] (在此, $C_{req} = Cr + Mo + 1.5 \times Si$ , $N_{req} = Ni + 0.5 \times Mn + 30 \times (C+N) + 0.5 \times Cu$ 。)

[0027] 由以下式(4)表示的耐点蚀当量数(PREN,Pitting Resistance Equivalent Number)可以满足22或更大。

[0028] 式(4):耐点蚀当量数(PREN) =  $16 + 3.3Mo + 16N - 0.5Mn$

[0029] (在此,Mo、N和Mn意指各元素的含量(重量%))。

[0030] 屈服强度(0.2偏移)可以为400MPa至450MPa,以及拉伸强度可以为700MPa至850MPa。

[0031] 延伸率可以为35%或更大。

[0032] 有益效果

[0033] 根据本公开的一个实施方案,可以提供具有改善的强度同时确保现有316L不锈钢水平的延伸率和耐腐蚀性的奥氏体不锈钢。

### 附图说明

[0034] 图1为用于说明Thermocalc.计算结果与用于得出根据本公开的一个实施方案的

奥氏体不锈钢的氮在液体中的溶解度 (SNL) 值的回归方程应用的值之间的相关性的图。

### 具体实施方式

[0035] 根据本公开的实施方案的具有改善的强度的奥氏体不锈钢以重量计包含:C:0.02%至0.14%、Si:0.2%至0.6%、S:小于0.01%、Mn:2.0%至4.5%、Ni:2.5%至5.0%、Cr:19.0%至22.0%、Cu:1.0%至3.0%、Mo:小于1.0%、N:0.25%至0.40%,剩余部分中的铁(Fe)和不可避免的杂质,由以下式(1)表示的氮在液体中的溶解度(SNL)值大于或等于N的含量。

[0036] 式(1): $SNL = -0.188 - 0.0423 \times C - 0.0517 \times Si + 0.012 \times Mn + 0.0048 \times Ni + 0.0252 \times Cr - 0.00906 \times Cu + 0.00021 \times Mo$

[0037] (在此,C、Si、Mn、Ni、Cr、Cu和Mo意指各元素的含量(重量%。))发明实施方式

[0038] 在下文中,将参照附图详细地描述本公开的实施方案。提供以下实施方案以向本领域普通技术人员传递本公开的技术构思。然而,本公开不限于这些实施方案,并且可以以另外的形式实施。在附图中,为了阐明本公开,可能未示出与说明书无关的部分,此外,为了易于理解,部件的尺寸或多或少被放大地示出。

[0039] 在整个说明书中,除非相反地具体说明,否则当部分“包含”某个组分时,其意指还可以包含其他组分而不排除其他组分。

[0040] 除非上下文明确具有例外,否则单数形式的表达包括复数形式的表达。

[0041] 在下文中,将参考附图详细地描述根据本公开的实施方案。

[0042] 根据本公开的一个方面的奥氏体不锈钢以全部组成的重量百分比(%)计包含:C:0.02%至0.14%、Si:0.2%至0.6%、S:小于0.01%、Mn:2.0%至4.5%、Ni:2.5%至5.0%、Cr:19.0%至22.0%、Cu:1.0%至3.0%、Mo:小于1.0%、N:0.25%至0.40%,剩余部分中的铁(Fe)和其他不可避免的杂质。

[0043] 在下文中,将描述限制本公开的实施方案中的合金组分的含量数值的理由。在下文中,除非另有说明,否则单位为重量%。

[0044] C的含量为0.02%至0.14%。

[0045] 碳(C)是有效地使奥氏体相稳定的元素,但是当含量低时,因为需要另外的奥氏体稳定元素,可以添加0.02%或更大。然而,如果含量过多,则由于固溶强化作用而可能降低可加工性。此外,如果含量过多,则其可能由于热轧卷取后的潜热和焊缝的热影响区而引起Cr碳化物的晶界析出,从而不利地影响延展性、韧性、耐腐蚀性等,因此可以将上限限制为0.14%。

[0046] Si的含量为0.2%至0.6%。

[0047] 硅(Si)在炼钢过程期间用作脱氧剂并且是改善耐腐蚀性的有效元素,并且可以以0.2%或更大进行添加。然而,Si是有效地使铁素体相稳定的元素,当过量地添加时,其促进在铸造板坯时形成 $\delta$ 铁素体,从而降低热加工性。此外,当过量地添加时,可能由于固溶强化作用而降低钢材的延展性/韧性,因此可以将其上限限制为0.6%。

[0048] Mn的含量为2.0%至4.5%。

[0049] 锰(Mn)是本公开中代替镍(Ni)而添加的奥氏体相稳定元素。其通过抑制应变诱导的马氏体的产生来有效地改善冷轧特性,其是稍后描述的在炼钢过程期间增加氮(N)的溶

解度的元素,并且可以以2.0%或更大进行添加。然而,如果含量过多,则Mn可能降低钢材的延展性、韧性和耐腐蚀性,因为其导致基于S的夹杂物(MnS)的增加,因此可以将其上限限制为4.5%。

[0050] Ni的含量为2.5%至5.0%。

[0051] 镍(Ni)是强奥氏体相稳定元素,并且对于确保良好的热加工性和冷加工性是必须的。特别地,即使当添加一定量的Mn时,也必须添加2.5%或更大。然而,由于Ni是昂贵的元素,因此当大量添加时,其导致原材料成本的增加。因此,考虑到钢的成本和效率二者,可以将上限限制为5.0%。

[0052] Cr的含量为19%至22%。

[0053] 虽然铬(Cr)是铁素体稳定元素,但是其有效地抑制马氏体相的形成,并且是确保不锈钢所需的耐腐蚀性的基本元素。此外,可以添加19%或更大作为稍后描述的在炼钢过程期间增加氮(N)的溶解度的元素。然而,如果含量过多,则制造成本增加,并且在板坯中形成 $\delta$ 铁素体,导致热加工性降低。因此,存在需要另外添加奥氏体稳定元素例如Ni和Mn的问题,并且可以将其上限限制为22%。

[0054] P的含量小于0.1%。

[0055] 由于磷(P)降低耐腐蚀性或热加工性,因此可以将其上限限制为0.1%。

[0056] S的含量小于0.01%。

[0057] 由于硫(S)降低耐腐蚀性或热加工性,因此可以将其上限限制为0.01%。

[0058] 铜(Cu)的含量为1.0%至3.0%。

[0059] 铜(Cu)是本公开中代替镍(Ni)而添加的奥氏体相稳定元素,并且通过改善在还原环境中的耐腐蚀性以及减少堆垛层错能(Stacking Fault Energy, SFE)来改善可成形性。可以添加1.0%或更大以充分地表现出这样的效果。然而,如果含量过多,因为这可能会增加材料成本以及降低热加工性,可以将上限限制为3.0%。

[0060] Mo的含量小于1.0%。

[0061] 钼(Mo)是通过对钝化膜进行改性来改善不锈钢的耐腐蚀性的有效元素。然而,由于Mo是昂贵的元素,因此当添加大量的Mo时,其导致原材料成本的增加,并且具有使热加工性劣化的问题。因此,考虑到钢的成本效率和热加工性,可以将上限限制为1.0%。

[0062] N的含量为0.25%至0.40%。

[0063] 氮(N)是有效地改善耐腐蚀性的元素并且是强奥氏体稳定元素。因此,氮合金化可以通过能够减少Ni、Cu和Mn的使用而降低材料成本。可以添加0.25%或更大以充分表现出该效果。然而,如果含量过多,则可能由于固溶强化作用而使可加工性和可成型性劣化,因此可以将上限限制为0.40%。

[0064] C+N的含量为0.5%或更小。

[0065] C和N是有效于改善强度的元素,但是当含量过多时,存在降低可加工性的问题,并且可以将总的上限限制为0.5%。

[0066] 此外,根据本公开的一个实施方案的具有改善的强度的奥氏体不锈钢还可以包含以下中的一者或更多者:B:0.001%至0.005%和Ca:0.001%至0.003%。

[0067] B的含量为0.001%至0.005%。

[0068] 硼(B)是通过抑制浇铸期间裂纹的产生而有效地确保良好的表面品质的元素,并

且可以以0.001%或更大进行添加。然而,如果含量过多,则可能在退火/酸洗过程期间在产品表面上形成氮化物(BN),从而降低表面品质。因此,可以将上限限制为0.005%。

[0069] Ca的含量为0.001%至0.003%。

[0070] 钙(Ca)是通过抑制在包含高Mn时在晶界处产生的MnS炼钢夹杂物的形成来改善产品洁净度的元素,并且可以以0.001%或更大进行添加。然而,如果含量过多,则可能由于基于Ca的夹杂物的形成而导致热加工性降低和产品表面品质降低,并且可以将上限限制为0.003%。

[0071] 本公开的剩余组分是铁(Fe)。然而,由于在正常的制造过程中,来自原材料或周围环境的不期望的杂质可能不可避免地混入,因此不能排除这种情况。由于这些杂质对制造过程中的普通技术人员是已知的,因此在本说明书中没有具体提及所有的包含物。

[0072] 为了确保奥氏体不锈钢的价格竞争力,需要减少昂贵的奥氏体稳定元素(例如Ni和Mn)的含量,并且需要预测可以补偿这一点的添加的N的量。为此,需要通过考虑各合金组分计算N的溶解度极限来设定最佳的N含量。

[0073] 因此,使用状态图预测程序Thermocalc.,根据添加的各合金元素(C、Si、Mn、Ni、Cr、Cu、Mo)的量得出在1150°C下的熔融金属温度中可以溶解的N的含量。

[0074] 图1为用于说明Thermocalc.计算结果与用于得出根据本公开的一个实施方案的奥氏体不锈钢的氮在液体中的溶解度(SNL)值的回归方程应用的值之间的相关性的图。

[0075] 参照图1,计算氮溶解在熔融金属中的极限值,并且表示为“N溶解度极限(The.)”。

[0076] 基于根据组分变化的Thermocalc.的计算值推导出式(1)的SNL(氮在液体中的溶解度)回归方程。

[0077] 式(1): $SNL = -0.188 - 0.0423 \times C - 0.0517 \times Si + 0.012 \times Mn + 0.0048 \times Ni + 0.0252 \times Cr - 0.00906 \times Cu + 0.00021 \times Mo$

[0078] 当应用推导出的回归方程时,确定R(sq)值对应于100%的高相关性。此外,确定可以确保用于得出作为N熔融极限值的SNL的对于各组分的thermocalc.的计算结果与回归方程之间的关系适合性。

[0079] 在根据本公开的一个实施方案的具有改善的强度的奥氏体不锈钢中,SNL值大于或等于N含量。以这种方式,当将SNL值设定得高于N含量以增加氮溶解度极限时,确定令人满意地进行目标合金组分的炼钢操作。

[0080] 在奥氏体不锈钢的情况下,其适用于要求美观表面的产品。对于要求美观表面的产品,通常对冷轧材料进行光亮退火。光亮退火是这样的热处理技术:通过在使用氮气(N<sub>2</sub>)、氢气(H<sub>2</sub>)等的还原性气氛(露点-40°C至-60°C)中对不锈钢冷轧材料进行热处理来防止在不锈钢冷轧材料的热处理过程期间发生再氧化,从而保持表面光亮和美观而不改变表面的颜色和特性。使用氢气作为用于光亮退火的气氛气体的光亮退火是最常见的,因为其最广泛地用于抑制表面的变色以及高热容。

[0081] 与一般的奥氏体不锈钢相比,在如在本公开中具有减少的奥氏体稳定元素(例如Ni和Mn)的不锈钢中,当在氢气气氛中应用光亮退火时,存在要考虑的点。

[0082] 在光亮退火期间,由于由氢的渗透而导致的最终材料中的氢脆缺陷,差的可加工性的可能性高。在具有减少的奥氏体稳定元素(例如Ni和Mn)的不锈钢的情况下,在最终的光亮退火之前的冷轧期间,在表面层周围形成应力诱导马氏体或应变诱导马氏体。形成在

表面层上的马氏体相与作为惰性气体的氢原子接触,然后在光亮退火期间通过热处理转变成奥氏体相。这些氢原子中的一些渗透至马氏体相中。由于存在的应力诱导马氏体或应变诱导马氏体通过光亮退火相转变成奥氏体相,因此已经渗透至内部的氢原子不能被排出至外部并且以原子状态在表面处被捕获。

[0083] 对于作为一般的BCC和BCT结构的铁素体或马氏体相,渗透至表面层中的氢原子在室温下在一定时间之后被自然退火(natural bakeout),并且不显著影响物理特性。

[0084] 另一方面,当表面层的马氏体相通过光亮退火转变成奥氏体相时,即,当氢原子存在于FCC的晶格结构中时,即使在室温下已经过去了相当长的时间之后,氢原子的自然退火也不顺利并且长时间保留在材料中。

[0085] 已知氢原子为导致氢脆的因素。由于一些加工或形变而被捕获在材料中的氢原子变为氢分子(气体)的状态,并且当达到一定压力时,其充当一定负荷下裂纹的起点,导致延伸率降低。

[0086] 因此,对于具有相对低的Ni和Mn的奥氏体不锈钢,仅通过与合金组分一起加工硬化来控制形成在表面上的马氏体相的量,就可以通过光亮退火来确保美观表面品质和可加工性。

[0087] 因此,对于根据本公开的一个实施方案的具有改善的强度的奥氏体不锈钢,由以下式(2)表示的 $Md_{30}$ 值满足 $-50^{\circ}\text{C}$ 或更小的范围。

[0088] 式(2): $Md_{30}=551-462\times(C+N)-9.2\times Si-8.1\times Mn-13.7\times Cr-29\times(Ni+Cu)-8.5\times Mo$

[0089] 在奥氏体不锈钢中,马氏体转变通过在马氏体转变初始温度( $M_s$ )或更高的温度下进行塑性加工而发生。通过这样的加工引起相转变的上限温度由 $M_d$ 值表示,并且是通过加工而发生相转变的程度的标准。

[0090] 特别地,当施加30%应变时发生50%相转变成马氏体的温度定义为 $Md_{30}$ 。当 $Md_{30}$ 值高时,容易形成应变诱导马氏体相,然而当 $Md_{30}$ 值低时,应变诱导马氏体相相对难以形成。通常, $Md_{30}$ 被用作确定奥氏体不锈钢的奥氏体稳定性的指数,并且可以通过由式(2)表示的Nohara回归方程来计算。

[0091] 通过合金组分含量的差异而形成的不同种类相的原因是因为各添加的合金组分对相平衡的影响不同。

[0092] 各合金组分影响相平衡的程度可以通过 $Cr_{eq}$ 和 $Ni_{eq}$ 来计算,并且可以通过由如下式(3)中表示的 $Cr_{eq}/Ni_{eq}$ 比来预测在室温下产生的相。

[0093] 式(3): $Cr_{eq}/Ni_{eq}$

[0094] 在此, $Cr_{eq}=Cr+Mo+1.5\times Si$ , $Ni_{eq}=Ni+0.5\times Mn+30\times(C+N)+0.5\times Cu$ 。

[0095] 即,当 $Cr_{eq}/Ni_{eq}$ 比低时,由于相对高的奥氏体稳定性可以在室温下形成奥氏体单相。当 $Cr_{eq}/Ni_{eq}$ 比高时,奥氏体稳定性低,并且可能局部地形成铁素体相。

[0096] 作为通过将 $Cr_{eq}/Ni_{eq}$ 比应用于多种合金组分观察的结果,本发明人确定当 $Cr_{eq}/Ni_{eq}$ 比为1.8或更小时,可以形成奥氏体单相基体组织。

[0097] 使用多种方法作为用于评估不锈钢的耐腐蚀性的标准,但是使用耐点蚀当量数(PREN)是检验合金组分的分辨力的简单方法。

[0098] 通常使用PREN作为Cr、Mo和N的影响,但是对于具有相对高的Mn含量的钢种,由于



也需要考虑Mn的影响,因此从本公开推导出以下式(4)。

[0099] 当将通常使用的高耐腐蚀性316L不锈钢合金组成应用于以下式时,其显示出约22的值。因此,在本公开中,将PREN值设定为22或更高以确保耐腐蚀性等于或高于316L不锈钢的耐腐蚀性。

[0100] 式(4):耐点蚀当量数(PREN) = 16+3.3Mo+16N-0.5Mn

[0101] 在下文中,将通过实施例更详细地描述本公开。

[0102] 对于以下表1中示出的各种合金组分范围,通过使铸锭熔融来制备厚度为200mm的板坯,将坯板在1240℃下加热2小时,然后进行热轧以制备厚度为3mm的热轧钢板。

[0103] [表1]

[0104]

|          | C     | Si   | Mn   | S     | Ni   | Cr   | Cu   | Mo   | N     | C+N   |
|----------|-------|------|------|-------|------|------|------|------|-------|-------|
| 发明例<br>1 | 0.104 | 0.48 | 2.91 | 0.005 | 3.53 | 20.8 | 2.1  | 0.52 | 0.3   | 0.404 |
| 发明例<br>2 | 0.103 | 0.49 | 3.4  | 0.005 | 3.35 | 19.6 | 1.16 | 0.39 | 0.27  | 0.373 |
| 发明例<br>3 | 0.088 | 0.31 | 3.41 | 0.004 | 3.7  | 21.7 | 2.51 | 0.10 | 0.34  | 0.428 |
| 发明例<br>4 | 0.035 | 0.31 | 3.8  | 0.006 | 4.2  | 21   | 2.48 | 0.20 | 0.33  | 0.365 |
| 比较例<br>1 | 0.02  | 0.52 | 1.4  | 0.004 | 10.4 | 16.6 | 0.39 | 2.00 | 0.018 | 0.038 |
| 比较例<br>2 | 0.014 | 0.55 | 2.4  | 0.006 | 2.4  | 20.3 | 0.1  | 1.30 | 0.2   | 0.166 |
| 比较例<br>3 | 0.1   | 0.38 | 3.8  | 0.006 | 3.4  | 17.2 | 1.45 | 0.10 | 0.21  | 0.310 |
| 比较例<br>4 | 0.15  | 0.46 | 3.8  | 0.004 | 3.6  | 21.6 | 2.04 | 0.32 | 0.35  | 0.500 |

[0105] 在1150℃下进行固溶处理1分钟之后,进行各种机械特性的显微组织观察和评估。

[0106] 使用日本工业标准JIS Z 2201中指定的第5号试样测量机械特性。具体地,使用JIS Z 2201进行拉伸测试,并且在以下表2中描述测得的屈服强度、拉伸强度和延伸率。

[0107] 此外,在以下表2中示出了表1中的4个发明例和4个比较例的SNL计算结果、Md<sub>30</sub>计算结果、Creq/Nieq比计算结果和PREN计算结果。

[0108] [表2]

| 钢种              | N溶解度<br>极限<br>(The.) | N溶解度<br>极限<br>(Reg.) | Md <sub>30</sub><br>(°C) | Creq/Ni<br>eq | PREN   | 相分析 | 机械特性        |             |           |
|-----------------|----------------------|----------------------|--------------------------|---------------|--------|-----|-------------|-------------|-----------|
|                 |                      |                      |                          |               |        |     | YS(M<br>Pa) | TS(M<br>Pa) | El(<br>%) |
| 发明例<br>1        | 0.3238               | 0.3244               | -121                     | 1.2140        | 25.861 | 奥氏体 | 490         | 780         | 44<br>%   |
| 发明例<br>2        | 0.3067               | 0.3080               | -60                      | 1.2322        | 23.507 | 奥氏体 | 460         | 760         | 50<br>%   |
| 发明例<br>3        | 0.3582               | 0.3590               | -170                     | 1.0914        | 25.765 | 奥氏体 | 510         | 800         | 44<br>%   |
| [0109] 发明例<br>4 | 0.3472               | 0.3488               | -136                     | 1.1845        | 25.04  | 奥氏体 | 470         | 750         | 42<br>%   |
| 比较例<br>1        | 0.2205               | 0.2204               | -60                      | 1.5585        | 22.788 | 奥氏体 | 220         | 540         | 58<br>%   |
| 比较例<br>2        | 0.3230               | 0.3233               | 76                       | 2.6076        | 25.822 | 奥氏体 | 480         | 700         | 45<br>%   |
| 比较例<br>3        | 0.2552               | 0.2556               | -5                       | 1.1661        | 18.99  | 奥氏体 | 380         | 720         | 54<br>%   |
| 比较例<br>4        | 0.3544               | 0.3550               | -180                     | 1.0507        | 26.356 | 奥氏体 | 530         | 830         | 32<br>%   |

[0110] 在对应于一般的316L不锈钢的组成的比较例1的情况下,其表示由奥氏体相组成的组织,并且可以看出PREN值为22或更高。然而,添加了小于0.25%的氮,并且机械特性评估结果显示220MPa的屈服强度和540MPa的拉伸强度。这对应于通常广泛使用的软奥氏体不锈钢的物理特性,因此具有难以应用于要求高强度的材料的问题。

[0111] 在Creq/Nieq比超过1.8的比较例2的情况下,由于添加了多于一定水平的Mo,因此PREN值为约26,表明优异的耐点蚀性。此外,可以看出机械特性评估结果显示480MPa的屈服强度、700MPa的拉伸强度和45%的延伸率。

[0112] 然而,作为其中Ni和N二者均相对低的合金组分,当在室温下观察显微组织时,确定奥氏体相和铁素体相形成了约5:5的双相组织。这是由于铁素体在相平衡中的稳定性比316L不锈钢的铁素体在相平衡中的稳定性相对更高。在双相组织中,可能在奥氏体相与铁素体相之间的界面处产生裂纹,因此存在难以应用于要求成型(例如弯曲)的材料的问题。

[0113] 在与比较例2相比Ni和Mn的含量略有增加以及将Creq/Nieq比设定为1.8或更小的比较例3的情况下,当观察显微组织时,形成了由奥氏体相组成的组织,并且机械特性比比较例1的316L更硬,并且比比较例2的双相不锈钢更软。

[0114] 然而,Md<sub>30</sub>值为-5°C,并且当在将来生产具有美观表面的光亮退火材料时,可能发生氢脆。此外,由于受到Cr含量显著影响的N溶解度极限低,因此添加的N量为0.21%,并且不能使PREN值的氮因子最大化,使得难以确保316L水平的耐点蚀性。

[0115] 在与比较例3相比N、C和Cr的含量增加的比较例4的情况下,因为比较例4显示出-180°C的水平 $Md_{30}$ 值,因此其适合用于制造光亮退火材料,并且通过将 $C_{req}/Ni_{eq}$ 比设定为1.8或更小,可以看出可以确保奥氏体单相组织。

[0116] 然而,可以看出C+N含量为0.5%,超过作为本公开的上限的0.5%,显示出硬的机械特性和小于35%的延伸率。

[0117] 参照表2,在本公开的发明例1至4的情况下,可以确保 $Md_{30}$ 值低于-50°C,因此在光亮退火期间氢脆的可能性低。此外,镍当量( $Ni_{eq}$ )与铬当量( $Cr_{eq}$ )的比( $Cr_{eq}/Ni_{eq}$ )满足1.8或更小的范围,使得可以在室温下形成奥氏体单相组织。

[0118] 此外,确定Ni和Mo的含量相对低,并且在确保价格竞争力的同时,PREN值为22或更大。作为机械特性评估的结果,确定可以实现与316L相比的高强度特性,并且确保35%或更大的良好延伸率。

[0119] 从以上奥氏体不锈钢的结果,所述奥氏体不锈钢以全部组成的重量百分比(%)计包含:C:0.02%至0.14%、Si:0.2%至0.6%、P:小于0.1%、S:小于0.01%、Mn:2.0%至4.5%、Ni:2.5%至5.0%、Cr:19.0%至22.0%、Cu:1.0%至3.0%、Mo:小于1.0%、N:0.25%至0.40%,剩余部分中的铁(Fe)和其他不可避免的杂质,可以通过用于确保价格竞争力和使本公开新提出的炼钢容易的SNL(氮在液体中的溶解度)值控制、用于确保奥氏体相稳定性的 $Md_{30}$ 值控制、用于在显微组织中形成奥氏体相的 $C_{req}/Ni_{eq}$ 比控制以及用于确保耐腐蚀性的PREN控制,来确保现有316L不锈钢水平的可加工性和耐腐蚀性。此外,可以看出可以制造可以改善价格竞争力和强度的不锈钢。

[0120] 在前述内容中已经描述了本公开的示例性发明例,但是本公开不限于此,并且相关技术领域中的普通技术人员将理解,可以在不脱离所附权利要求的构思和范围内进行各种改变和修改。

[0121] 工业适用性

[0122] 根据本发明的奥氏体不锈钢在具有改善的强度同时确保了延伸率和耐腐蚀性,因此可以用作现有316L不锈钢的替代材料。

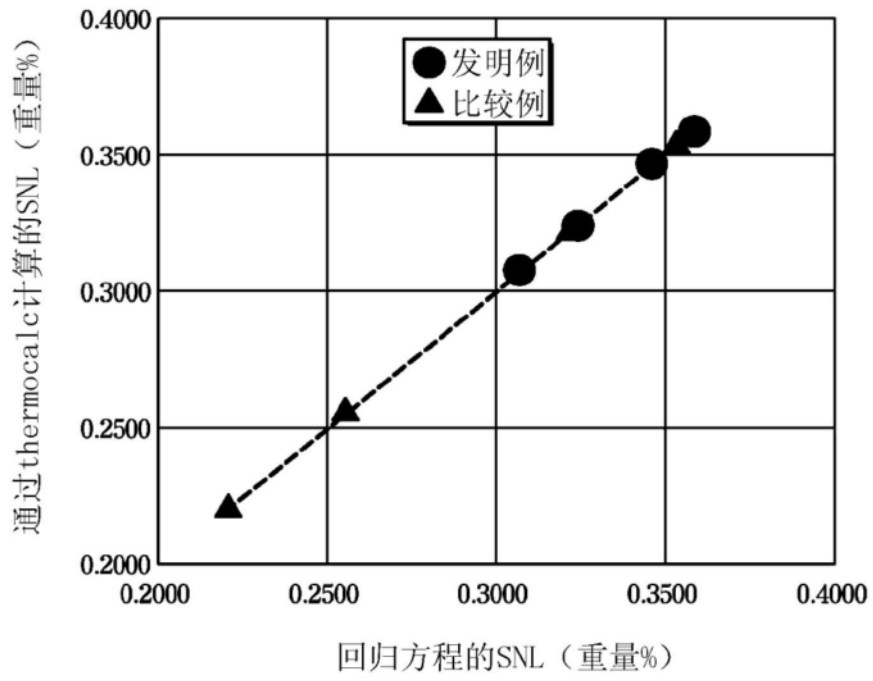


图1