



# (12)发明专利申请



(10)申请公布号 CN 111183238 A

(43)申请公布日 2020.05.19

(21)申请号 201780095297.6

(51)Int.Cl.

(22)申请日 2017.09.28

C22C 38/00(2006.01)

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

C21D 8/02(2006.01)

2020.03.26

C22C 38/06(2006.01)

C22C 38/58(2006.01)

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2017/035330 2017.09.28

(87)PCT国际申请的公布数据

W02019/064459 JA 2019.04.04

(71)申请人 杰富意钢铁株式会社

地址 日本东京都

(72)发明人 安田恭野 横田智之

(74)专利代理机构 北京市金杜律师事务所

11256

代理人 杨宏军

权利要求书1页 说明书11页 附图1页

## (54)发明名称

耐酸管线管用高强度钢板及其制造方法以及使用了耐酸管线管用高强度钢板的高强度钢管

## (57)摘要

本发明提供中心偏析部及表层部的耐HIC性优异的耐酸管线管用高强度钢板。本发明的耐酸管线管用高强度钢板的特征在于,具有下述成分组成,所述成分组成以规定量含有C、Si、Mn、P、S、Al及Ca,余量为Fe及不可避免的杂质,所述耐酸管线管用高强度钢板中,板厚中央处的氢扩散系数为 $5.0 \times 10^{-6} \text{cm}^2/\text{s}$ 以上,钢板表面下0.5mm处的维氏硬度HV0.1的最大值为250以下,具有520MPa以上的拉伸强度。

1.耐酸管线管用高强度钢板,其特征在于,具有下述成分组成,所述成分组成以质量%计含有C:0.02~0.08%、Si:0.01~0.50%、Mn:0.50~1.80%、P:0.001~0.015%、S:0.0002~0.0015%、Al:0.01~0.08%及Ca:0.0005~0.005%,余量为Fe及不可避免的杂质,

所述耐酸管线管用高强度钢板中,板厚中央处的氢扩散系数为 $5.0 \times 10^{-6} \text{cm}^2/\text{s}$ 以上,

钢板表面下0.5mm处的维氏硬度HV0.1的最大值为250以下,

所述耐酸管线管用高强度钢板具有520MPa以上的拉伸强度。

2.根据权利要求1所述的耐酸管线管用高强度钢板,其中,所述成分组成以质量%计还含有选自Cu:0.50%以下、Ni:0.50%以下、Cr:0.50%以下及Mo:0.50%以下中的1种或2种以上。

3.根据权利要求1或2所述的耐酸管线管用高强度钢板,其中,所述成分组成以质量%计还含有选自Nb:0.005~0.1%、V:0.005~0.1%及Ti:0.005~0.1%中的1种或2种以上。

4.耐酸管线管用高强度钢板的制造方法,其特征在于,将具有下述成分组成的钢片加热至1000~1300℃的温度后、进行热轧而制成钢板,所述成分组成以质量%计含有C:0.02~0.08%、Si:0.01~0.50%、Mn:0.50~1.80%、P:0.001~0.015%、S:0.0002~0.0015%、Al:0.01~0.08%及Ca:0.0005~0.005%,余量为Fe及不可避免的杂质,

然后,对所述钢板以下述条件进行控制冷却:

冷却开始时的钢板表面温度:( $A_{r3}-10^\circ\text{C}$ )以上,

以钢板表面下0.5mm处的钢板温度计从750℃至550℃的平均冷却速度:100℃/s以下,

以板厚中央处的钢板温度计从750℃至550℃的平均冷却速度:15℃/s以上且60℃/s以下,以及

以板厚中央处的钢板温度计冷却停止温度:250~550℃。

5.根据权利要求4所述的耐酸管线管用高强度钢板的制造方法,其中,所述成分组成以质量%计还含有选自Cu:0.50%以下、Ni:0.50%以下、Cr:0.50%以下及Mo:0.50%以下中的1种或2种以上。

6.根据权利要求4或5所述的耐酸管线管用高强度钢板的制造方法,其中,所述成分组成以质量%计还含有选自Nb:0.005~0.1%、V:0.005~0.1%及Ti:0.005~0.1%中的1种或2种以上。

7.高强度钢管,其使用了权利要求1~3中任一项所述的耐酸管线管用高强度钢板。

## 耐酸管线管用高强度钢板及其制造方法以及使用了耐酸管线管用高强度钢板的高强度钢管

### 技术领域

[0001] 本发明涉及适合使用于建筑、海洋结构物、造船、土木、建设产业用机械领域的管线管的、钢板内的材质均匀性优异的耐酸管线管用高强度钢板及其制造方法。另外,本发明涉及使用了上述耐酸管线管用高强度钢板的高强度钢管。

### 背景技术

[0002] 一般而言,管线管通过将由厚板轧机、热轧机制造的钢板利用UOE成型、压弯成型及辊轧成型等成型为钢管来制造。

[0003] 在此,用于输送包含硫化氢的原油、天然气的管线管除了需要强度、韧性、焊接性等以外还需要耐氢致开裂性(耐HIC(Hydrogen Induced Cracking)性)、耐硫化物应力腐蚀开裂性(耐SSCC(Sulfide Stress Corrosion Cracking)性)这样的所谓耐酸性。其中,对于HIC而言,由腐蚀反应而生成的氢离子吸附于钢材表面,以原子状的氢的形式侵入到钢内部,并扩散、集聚到钢中的MnS等非金属夹杂物、硬的第2相组织周围,成为分子状的氢,因其内压而产生裂纹。

[0004] 为了防止这样的HIC,提出了若干方法。专利文献1中公开了下述耐HIC性优异的管线管用钢的制造方法:通过添加相对于S量为适量的Ca、Ce,从而抑制针状的MnS的生成,形态变成应力集中小的、微细分散的球状夹杂物而抑制裂纹的产生・扩展。专利文献2、专利文献3中公开了下述耐HIC性优异的钢,所述钢中,通过偏析倾向高的元素(C、Mn、P等)的减少、板坯(slab)加热阶段的均热处理、冷却时的相变途中的加速冷却,抑制了成为中心偏析部中的裂纹起点的岛状马氏体、成为裂纹的扩展路径的马氏体、贝氏体等硬化组织的生成。另外,专利文献4、专利文献5、专利文献6提出了下述方法:关于高强度钢板,以低S且添加Ca的方式进行夹杂物的形态控制,并且以低C、低Mn的形式抑制中心偏析,针对与此相伴的强度降低,通过添加Cr、Mn、Ni等和加速冷却来进行弥补。

[0005] 通常,在管线管用高强度钢板的制造时,可应用组合了控制轧制和控制冷却的、所谓TMCP(Thermo-Mechanical Control Process,控轧控冷)技术。为了使用该TMCP技术来进行钢材的高强度化,使控制冷却时的冷却速度变大是有效的。然而,在以高冷却速度进行控制冷却的情况下,钢板表层部被骤冷,因此与钢板内部相比表层部的硬度变高,存在表层部产生HIC的问题。

[0006] 为了解决上述的问题,例如专利文献7、专利文献8公开了下述钢板的制造方法:通过在轧制后且表层部完成贝氏体相变之前进行使表面回热的高冷却速度的控制冷却,由此使板厚方向的材质差小。另外,专利文献9、专利文献10公开了下述管线管用钢板的制造方法:使用高频感应加热装置,将加速冷却后的钢板表面加热至温度高于内部,从而降低表层部的硬度。

[0007] 现有技术文献

[0008] 专利文献

- [0009] 专利文献1:日本特开昭54-110119号公报
- [0010] 专利文献2:日本特开昭61-60866号公报
- [0011] 专利文献3:日本特开昭61-165207号公报
- [0012] 专利文献4:日本特开平5-9575号公报
- [0013] 专利文献5:日本特开平5-271766号公报
- [0014] 专利文献6:日本特开平7-173536号公报
- [0015] 专利文献7:日本专利第3951428号公报
- [0016] 专利文献8:日本专利第3951429号公报
- [0017] 专利文献9:日本特开2002-327212号公报
- [0018] 专利文献10:日本专利第3711896号公报

## 发明内容

[0019] 发明要解决的课题

[0020] 然而,上述专利文献1~6记载的技术均以中心偏析部为对象。在用TMCP技术制造钢板的情况下,担心在板厚方向上的材质不均,因此从表层部的耐HIC性这样的观点考虑,尚有改善的余地。

[0021] 另一方面,在专利文献7、专利文献8记载的制造方法中,若因钢板的成分而相变行为不同,则有时无法得到由回热所带来的充分的材质均质化的效果。就专利文献9、专利文献10中记载的制造方法而言,由于加速冷却中的表层部的冷却速度大,因此仅通过钢板表面的加热有时不能充分地降低表层部的硬度。

[0022] 因此,鉴于上述课题,本发明的目的在于:一并提供中心偏析部及表层部的耐HIC性优异的耐酸管线管用高强度钢板及其有利的制造方法。另外,本发明的目的在于提供了使用了上述耐酸管线管用高强度钢板的高强度钢管。

[0023] 用于解决课题的手段

[0024] 为了确保中心偏析部及表层部的耐HIC性,本申请的发明人对钢材的成分组成、显微组织及制造条件进行了深入研究。其结果发现:当在高强度钢管的表层部产生HIC的情况下,在钢板的极表层部(具体而言为从钢板表面至深度为0.5mm左右的范围)的局部具有硬度高的部位,氢从该部位入侵,产生HIC裂纹。即,可知:为了提高表层部的耐HIC性,仅抑制表层硬度是不充分的,尤其重要的是将钢板的极表层部、具体而言为钢板表面下0.5mm的硬度的最大值抑制为规定以下。另外,关于中心偏析部的耐HIC性,发现重要的是控制板厚中央处的氢扩散系数。进而,为了制造这样的钢板,需要严密地控制在钢板表面下0.5mm处的冷却速度、和板厚中央处的冷却速度,并且成功地找出其条件。本发明基于该见解而完成。

[0025] 即,本发明的主旨构成如下所示。

[0026] [1]耐酸管线管用高强度钢板,其特征在于,具有下述成分组成,所述成分组成以质量%计含有C:0.02~0.08%、Si:0.01~0.50%、Mn:0.50~1.80%、P:0.001~0.015%、S:0.0002~0.0015%、Al:0.01~0.08%及Ca:0.0005~0.005%,余量为Fe及不可避免的杂质,

[0027] 所述耐酸管线管用高强度钢板中,板厚中央处的氢扩散系数为 $5.0 \times 10^{-6} \text{cm}^2/\text{s}$ 以上,

- [0028] 钢板表面下0.5mm处的维氏硬度HV0.1的最大值为250以下，
- [0029] 所述耐酸管线管用高强度钢板具有520MPa以上的拉伸强度。
- [0030] [2]根据上述[1]所述的耐酸管线管用高强度钢板，其中，前述成分组成以质量%计还含有选自Cu:0.50%以下、Ni:0.50%以下、Cr:0.50%以下及Mo:0.50%以下中的1种或2种以上。
- [0031] [3]根据上述[1]或[2]所述的耐酸管线管用高强度钢板，其中，前述成分组成以质量%计还含有选自Nb:0.005~0.1%、V:0.005~0.1%、及Ti:0.005~0.1%中的1种或2种以上。
- [0032] [4]耐酸管线管用高强度钢板的制造方法，其特征在于，将具有下述成分组成的钢片加热至1000~1300℃的温度后、进行热轧而制成钢板，所述成分组成以质量%计含有C:0.02~0.08%、Si:0.01~0.50%、Mn:0.50~1.80%、P:0.001~0.015%、S:0.0002~0.0015%、Al:0.01~0.08%及Ca:0.0005~0.005%，余量为Fe及不可避免的杂质，
- [0033] 然后，对前述钢板以下述条件进行控制冷却：
- [0034] 冷却开始时的钢板表面温度： $(Ar_3-10^{\circ}\text{C})$ 以上，
- [0035] 以钢板表面下0.5mm处的钢板温度计从750℃至550℃的平均冷却速度：100℃/s以下，
- [0036] 以板厚中央处的钢板温度计从750℃至550℃的平均冷却速度：15℃/s以上且60℃/s以下，以及
- [0037] 以板厚中央处的钢板温度计冷却停止温度：250~550℃。
- [0038] [5]根据上述[4]所述的耐酸管线管用高强度钢板的制造方法，其中，前述成分组成以质量%计还含有选自Cu:0.50%以下、Ni:0.50%以下、Cr:0.50%以下及Mo:0.50%以下中的1种或2种以上。
- [0039] [6]根据上述[4]或[5]所述的耐酸管线管用高强度钢板的制造方法，其中，前述成分组成以质量%计还含有选自Nb:0.005~0.1%、V:0.005~0.1%及Ti:0.005~0.1%中的1种或2种以上。
- [0040] [7]高强度钢管，其使用了上述[1]~[3]中任一项所述的耐酸管线管用高强度钢板。
- [0041] 发明效果
- [0042] 本发明的耐酸管线管用高强度钢板及使用了该耐酸管线管用高强度钢板的高强度钢管的中心偏析部及表层部的耐HIC性优异。另外，根据本发明的耐酸管线管用高强度钢板的制造方法，能够制造中心偏析部及表层部的耐HIC性优异的耐酸管线管用高强度钢板。

## 附图说明

- [0043] 图1是对用于测定实施例中的氢扩散系数的试验片的采集方法进行说明的示意图。

## 具体实施方式

- [0044] 以下，对本公开文本的耐酸管线管用高强度钢板进行具体说明。
- [0045] [成分组成]

[0046] 首先,对基于本公开文本的高强度钢板的成分组成及其限定理由进行说明。在以下的说明中,用%表示的单位全部为质量%。

[0047] C:0.02~0.08%

[0048] C有助于有效地提高强度,但是,若含量小于0.02%,则不能确保充分的强度,另一方面,若超过0.08%,则在加速冷却时硬度升高。另外,由于会促进马氏体、岛状马氏体(MA)等硬质相的生成,因此中心偏析部及表层部的耐HIC性劣化。而且,韧性也劣化。因此,C量限定在0.02~0.08%的范围。

[0049] Si:0.01~0.50%

[0050] Si是为了脱氧而添加的,若含量小于0.01%,则脱氧效果不充分,另一方面,若超过0.50%,则使韧性、焊接性劣化,因此,Si量限定在0.01~0.50%的范围。

[0051] Mn:0.50~1.80%

[0052] Mn有助于有效地提高强度、韧性,但是,若含量小于0.50%,则其添加效果不足,另一方面,若超过1.80%,则在加速冷却时硬度升高。另外,由于会促进马氏体、岛状马氏体(MA)等硬质相的生成,因此中心偏析部及表层部的耐HIC性劣化。而且,焊接性也劣化。因此,Mn量限定在0.50~1.80%的范围。

[0053] P:0.001~0.015%

[0054] P是不可避免的杂质元素,其使焊接性劣化,并且使中心偏析部的硬度升高,由此使中心偏析部的耐HIC性劣化。若超过0.015%,则该倾向变得显著,因此将上限规定为0.015%。优选为0.008%以下。含量越低越好,但从精炼成本的观点考虑,设为0.001%以上。

[0055] S:0.0002~0.0015%

[0056] S是不可避免的杂质元素,在钢中成为MnS夹杂物而使中心偏析部的耐HIC性劣化,因此优选较少,0.0015%以下是可接受的。含量越低越好,但从精炼成本的观点考虑,设为0.0002%以上。

[0057] Al:0.01~0.08%

[0058] Al作为脱氧剂而添加,但是,若小于0.01%则没有添加效果,另一方面,若超过0.08%,则钢的洁净度降低,韧性劣化,因此Al量限定在0.01~0.08%的范围。

[0059] Ca:0.0005~0.005%

[0060] Ca是对基于硫化物系夹杂物的形态控制来提高中心偏析部的耐HIC特性有效的元素,但是,若小于0.0005%,则其添加效果不充分。另一方面,在超过0.005%的情况下,不仅效果饱和,而且因钢的洁净度降低而使表层的耐HIC特性劣化,因此Ca量限定在0.0005~0.005%的范围。

[0061] 以上,对本公开文本的基本成分进行了说明,但为了进一步改善钢板的强度、韧性,本公开文本的成分组成可以在以下范围内任意含有选自Cu、Ni、Cr及Mo中的1种或2种以上。

[0062] Cu:0.50%以下

[0063] Cu是对韧性的改善和强度的提高有效的元素,为了得到该效果,优选含有0.05%以上,但是,若含量过多,则焊接性劣化,因此在添加Cu的情况下,以0.50%作为上限。

[0064] Ni:0.50%以下

[0065] Ni是对韧性的改善和强度的提高有效的元素,为了得到该效果,优选含有0.05%以上,若含量过多,则不仅在经济性上不利,而且使焊接热影响区的韧性劣化,因此,在添加Ni的情况下,以0.50%作为上限。

[0066] Cr:0.50%以下

[0067] 与Mn同样,Cr是对即便在低C下也可得到充分的强度有效的元素,为了得到该效果,优选含有0.05%以上,若含量过多,则焊接性劣化,因此,在添加Cr的情况下,以0.50%作为上限。

[0068] Mo:0.50%以下

[0069] Mo是对韧性的改善和强度的提高有效的元素,为了得到该效果,优选含有0.05%以上,但是,若含量过多,则焊接性劣化,因此,在添加Mo的情况下,以0.50%作为上限。

[0070] 本公开文本的成分组成也可以进一步在以下范围内任意含有选自Nb、V及Ti中的1种或2种以上。

[0071] 选自Nb:0.005~0.1%、V:0.005~0.1%及Ti:0.005~0.1%中的1种或2种以上

[0072] Nb、V和Ti均是为了提高钢板的强度及韧性而可以任意添加的元素。就各元素而言,若含量小于0.005%,则其添加效果不足,另一方面,若超过0.1%,则焊接部的韧性劣化,因此,在添加的情况下,均优选在0.005~0.1%的范围。

[0073] 为了满足中心偏析部的耐HIC性,例如优选将利用下述(1)式求得的CP值设为1.00以下。需要说明的是,未添加的元素代入0即可。

[0074] 
$$CP = 4.46[\%C] + 2.37[\%Mn]/6 + (1.74[\%Cu] + 1.7[\%Ni])/15 + (1.18[\%Cr] + 1.95[\%Mo] + 1.74[\%V])/5 + 22.36[\%P] \cdots (1)$$

[0075] 其中,[%X]表示X元素的钢中含量(质量%)。

[0076] 在此,上述CP值是为了由各合金元素的含量来推定中心偏析部的材质而设计的式子,上述式(1)的CP值越高,则中心偏析部的成分浓度越高,从而使得中心偏析部的硬度越发升高。因此,通过将在上述的式(1)中求出的CP值设为1.00以下,能够抑制HIC试验中的中心偏析部的裂纹产生。另外,CP值越低,中心偏析部的硬度越低,因此在要求中心偏析部的耐HIC性更高的情况下,将其上限设为0.95即可。

[0077] 需要说明的是,除上述元素以外的余量为Fe及不可避免的杂质。但是,只要不损害本发明的作用效果,含有其他的微量元素也无妨。

[0078] [氢扩散系数]

[0079] 在本公开文本中,重要的是,板厚中央处的氢扩散系数为 $5.0 \times 10^{-6} \text{cm}^2/\text{s}$ 以上。若氢扩散系数变大,则能够降低钢中的氢量,因此能够抑制酸性环境中的HIC的产生。即,通过制成氢扩散系数为 $5.0 \times 10^{-6} \text{cm}^2/\text{s}$ 以上的贝氏体组织,从而可得到提高中心偏析部的耐HIC性的效果。

[0080] 就钢组织而言,使也包括表层部在内的钢板整体为贝氏体组织。尤其在生成马氏体、岛状马氏体(MA)等硬质相的情况下,裂纹的扩展被促进,因此表层及中心偏析部的耐HIC性劣化。在此,贝氏体组织包含有助于相变强化的在加速冷却时或加速冷却后进行相变的被称为贝氏体铁素体或粒状铁素体的组织。若贝氏体组织中铁素体、马氏体、珠光体、岛状马氏体、残余奥氏体等不同种的组织混合存在,则发生强度的降低、韧性的劣化、耐HIC性的劣化,因此贝氏体相以外的组织分率越少越好。但是,在贝氏体相以外的组织的体积分率

充分低的情况下,它们的影响可以忽略,因此若为某种程度的量则可以被接受。具体而言,在本公开文本中,若贝氏体以外的钢组织(铁素体、马氏体、珠光体、岛状马氏体、残余奥氏体等)的合计以体积分率计小于5%,则没有大的影响,因此可以被接受。

[0081] [极表层部的硬度的最大值]

[0082] 在本公开文本中,重要的是在钢板表面下0.5mm处的维氏硬度HV0.1的最大值为250以下。由此,能够确保表层部的耐HIC性。需要说明的是,在本公开文本中,就“钢板表面下0.5mm处的维氏硬度HV0.1的最大值”而言,在钢板表面下0.5mm处的任意100处以上测定HV0.1,采用其最大值。

[0083] [拉伸强度]

[0084] 本公开文本的高强度钢板是具有API 5L的X60等级以上的强度的钢管用的钢板,因此具有520MPa以上的拉伸强度。

[0085] [制造方法]

[0086] 以下,对用于制造上述耐酸管线管用高强度钢板的制造方法及制造条件进行具体说明。就本公开文本的制造方法而言,将具有上述成分组成的钢片加热后、进行热轧而制成钢板,其后,对该钢板进行规定条件下的控制冷却。

[0087] (板坯加热温度)

[0088] 板坯加热温度:1000~1300℃

[0089] 若板坯加热温度小于1000℃,则碳化物的固溶不充分,无法得到所需的强度,另一方面,若超过1300℃,则韧性劣化,因此将板坯加热温度设为1000~1300℃。需要说明的是,该温度为加热炉的炉内温度,板坯的直至中心部被加热至该温度。

[0090] (轧制结束温度)

[0091] 在热轧工序中,为了得到高母材韧性,轧制结束温度越低越好,但另一方面,轧制效率降低,因此以钢板表面温度计的轧制结束温度需要考量所需的母材韧性和轧制效率而设定。从提高强度和中心偏析部及表层部的耐HIC性的观点考虑,优选将轧制结束温度以钢板表面温度计设为Ar<sub>3</sub>相变点以上。在此,Ar<sub>3</sub>相变点是指冷却中的铁素体相变开始温度,例如,可以基于钢的成分由以下公式求出。另外,为了得到高母材韧性,优选将相当于奥氏体未再结晶温度区域的950℃以下的温度区域的压下率设为60%以上。需要说明的是,钢板的表面温度可以用辐射温度计等测定。

[0092] 
$$Ar_3(^\circ\text{C}) = 910 - 310[\%C] - 80[\%Mn] - 20[\%Cu] - 15[\%Cr] - 55[\%Ni] - 80[\%Mo]$$

[0093] 其中,[%X]表示X元素的钢中含量(质量%)。

[0094] (控制冷却的冷却开始温度)

[0095] 冷却开始温度:以钢板表面温度计为(Ar<sub>3</sub>-10℃)以上

[0096] 若冷却开始时的钢板表面温度低,则控制冷却前的铁素体生成量增多,尤其是若从Ar<sub>3</sub>相变点起的温度下降量超过10℃,则生成以体积分率计超过5%的铁素体,强度降低变大,并且中心偏析部及表层部的耐HIC性劣化,因此将冷却开始时的钢板表面温度设为(Ar<sub>3</sub>-10℃)以上。

[0097] (控制冷却的冷却速度)

[0098] 为了确保中心偏析部及表层部的耐HIC性,需要控制钢板表面下0.5mm处的冷却速

度、和板厚中央处的冷却速度,以便使板厚中央处的氢扩散系数为 $5.0 \times 10^{-6} \text{cm}^2/\text{s}$ 以上、且使钢板表面下0.5mm处的硬度的最大值以HV0.1计为250以下。

[0099] 以钢板表面下0.5mm处的钢板温度计从750℃至550℃的平均冷却速度:100℃/s以下

[0100] 若以钢板表面下0.5mm处的钢板温度计从750℃至550℃的平均冷却速度超过100℃/s,则钢板表面下0.5mm处的HV0.1超过250,表层部的耐HIC性劣化。因此,将该平均冷却速度设为100℃/s以下。优选为80℃/s以下。该平均冷却速度的下限并无特别限定,若冷却速度变得过小,则生成铁素体、珠光体而强度变得不足,因此从防止该情况的观点考虑,优选为20℃/s以上。

[0101] 以板厚中央处的钢板温度计从750℃至550℃的平均冷却速度:15℃/s以上且60℃/s以下

[0102] 若以板厚中央处的钢板温度计从750℃至550℃的平均冷却速度小于15℃/s,则生成铁素体、珠光体而发生强度降低,或者氢扩散系数降低而发生中心偏析部的耐HIC性的劣化。因此,将该平均冷却速度设为15℃/s以上。从钢板强度和硬度的不均的观点考虑,该平均冷却速度优选为20℃/s以上。另一方面,在该平均冷却速度超过60℃/s的情况下,板厚中央处的氢扩散系数也会下降而发生中心偏析部的耐HIC性的劣化。因此,将该平均冷却速度设为60℃/s以下。优选为50℃/s以下。

[0103] (冷却停止温度)

[0104] 冷却停止温度:以板厚中央处的钢板温度计为250~550℃

[0105] 在轧制结束后,通过控制冷却而骤冷至贝氏体相变的温度区域即250~550℃,由此生成贝氏体相。若板厚中央处的冷却停止温度超过550℃,则无法得到充分的强度。而且,贝氏体相变不完全,中心偏析部生成MA、珠光体等,氢扩散系数也降低,中心偏析部的耐HIC性劣化。另外,若板厚中央处的冷却停止温度小于250℃,则在中心偏析部生成马氏体,因此中心偏析部的耐HIC性劣化。因此,为了抑制中心偏析部的耐HIC性的劣化,将控制冷却的冷却停止温度以板厚中央处的钢板温度计设为250~550℃。

[0106] 需要说明的是,钢板表面下0.5mm处和板厚中央处的钢板温度无法以物理学的方式直接测定,但可以基于利用辐射温度计测定的冷却开始时的表面温度和目标的冷却停止时的表面温度、并例如使用程序计算机通过差值计算而实时地求出板厚截面内的温度分布。以该温度分布中的钢板表面下0.5mm处的温度作为本说明书中的“在钢板表面下0.5mm处的钢板温度”,以该温度分布中的板厚中央的温度作为本说明书中的“板厚中央处的钢板温度”。

[0107] [高强度钢管]

[0108] 通过将本公开文本的高强度钢板利用压弯成型、辊轧成型、UOE成型等成型为管状后,将对接部焊接,从而能够制造适合于输送原油、天然气的、钢板内的材质均匀性优异的耐酸管线管用高强度钢管(UOE钢管、电阻焊钢管、螺旋钢管等)。

[0109] 例如,就UOE钢管而言,通过对钢板的端部进行坡口加工,利用C压制、U压制、O压制而成型为钢管形状后,利用内表面焊接和外表面焊接将对接部进行缝焊,进一步根据需要经过扩管工序而制造。另外,若焊接方法能够得到充分的接头强度和接头韧性,则可以为任意方法,从优异的焊接品质和制造效率的观点考虑,优选使用埋弧焊。

[0110] 实施例

[0111] 利用连续铸造法将成为表1所示的成分组成的钢(钢种A~I)制成板坯,加热至表2所示的温度后,进行热轧而制成表2所示的板厚的钢板。其后,在表2所示的条件下使用水冷型的控制冷却装置对钢板进行控制冷却。

[0112] [组织的鉴定]

[0113] 利用光学显微镜和扫描电子显微镜对所得到的钢板的显微组织进行观察。将钢板表面下0.5mm位置处的组织和板厚中央( $t/2$ 位置)处的组织示于表2。

[0114] [氢扩散系数]

[0115] 氢扩散系数使用如图1所示的从板厚中央部采集的 $1 \times 40 \times 40$ mm的试验片来进行评价。对试验片的一面实施镀Ni,使用Devanathan型的电解池(cell),将未实施镀Ni的面浸渍于0.2%NaCl溶液,进行阴极充氢,将实施了镀Ni的面浸渍于0.1N NaOH水溶液,将析氢电位设为0V。将作为第2次的渗透电流上升的氢渗透开始时间(2nd Build up)与理论曲线拟合,求出扩散系数。将结果示于表2。

[0116] [维氏硬度的测定]

[0117] 对于与轧制方向垂直的截面,依据JIS Z 2244在钢板表面下0.5mm位置处测定100处的维氏硬度(HV0.1),求出其最大值。将结果示于表2。

[0118] [拉伸强度的测定]

[0119] 将与轧制方向垂直的方向的全厚试验片作为拉伸试验片进行拉伸试验,测定拉伸强度。将结果示于表2。

[0120] [耐HIC性的评价]

[0121] 关于耐HIC性,实施依据NACE标准TM00284的浸渍时间为96小时的HIC试验,测定表层及 $t/2$ 位置处的裂纹面积率(CAR, Cracking Area Ratio),将CAR为3.0%以下的情况判断为耐HIC性良好而设为“○”,另外,将超过3.0%的情况判断为不良而设为“×”。将结果示于表2。

[0122] 就本发明的目标范围而言,作为耐酸管线管用高强度钢板,拉伸强度为520MPa以上,在HIC试验中CAR在表层及 $t/2$ 位置处分别为3.0%以下。

[0123] [表1]

[0124]

表1

| 钢种 | 成分组成 (质量%)   |      |             |              |        |       |       |      |      |      |      |       |       |       | CP   | Ar <sub>3</sub> 温度<br>(°C) |
|----|--------------|------|-------------|--------------|--------|-------|-------|------|------|------|------|-------|-------|-------|------|----------------------------|
|    | C            | Si   | Mn          | P            | S      | Al    | Ca    | Cu   | Ni   | Cr   | Mo   | Nb    | V     | Ti    |      |                            |
| A  | 0.066        | 0.36 | 1.38        | 0.005        | 0.0005 | 0.021 | 0.002 |      |      |      |      |       |       |       | 0.95 | 779                        |
| B  | 0.039        | 0.23 | 1.31        | 0.005        | 0.0004 | 0.025 | 0.002 | 0.20 | 0.28 |      | 0.15 |       |       |       | 0.92 | 762                        |
| C  | 0.042        | 0.29 | 1.63        | 0.005        | 0.0006 | 0.023 | 0.003 |      |      |      |      | 0.023 |       |       | 0.94 | 767                        |
| D  | 0.043        | 0.32 | 1.36        | 0.004        | 0.0005 | 0.022 | 0.002 |      |      | 0.28 | 0.12 | 0.022 |       |       | 0.93 | 774                        |
| E  | 0.042        | 0.26 | 1.37        | 0.005        | 0.0004 | 0.031 | 0.002 | 0.24 | 0.26 | 0.33 |      | 0.026 | 0.007 |       | 0.98 | 763                        |
| F  | 0.044        | 0.18 | 1.39        | 0.004        | 0.0006 | 0.027 | 0.002 |      |      | 0.35 |      | 0.023 |       | 0.008 | 0.92 | 780                        |
| G  | <u>0.086</u> | 0.30 | 1.33        | 0.005        | 0.0006 | 0.023 | 0.002 |      |      | 0.22 | 0.05 | 0.025 |       |       | 1.09 | 770                        |
| H  | 0.042        | 0.33 | <u>1.87</u> | 0.006        | 0.0006 | 0.030 | 0.003 |      |      |      |      | 0.027 |       |       | 1.06 | 747                        |
| I  | 0.040        | 0.27 | 1.38        | <u>0.019</u> | 0.0005 | 0.027 | 0.002 |      |      | 0.27 | 0.15 | 0.026 |       |       | 1.27 | 771                        |

注意事项1: 余量为Fe及不可避免的杂质。  
注意事项2: 下划线表示处于本发明的范围外。

[0125] [表2]

[0126]

| No. | 钢种 | 板厚<br>(mm) | 加热<br>温度<br>(℃) | 冷却开始<br>温度<br>(表面)<br>(℃) | 冷却开始<br>温度-A <sub>13</sub><br>(表面)<br>(℃) | 平均冷却速度         |              | 冷却停止<br>温度<br>(t/2)<br>(℃) | 显微组织  |      | 氢扩散<br>系数<br>(cm <sup>2</sup> /s) | HV0.1<br>(S+0.5) | 拉伸<br>强度<br>(MPa) | HIC性能 |     | 备注  |
|-----|----|------------|-----------------|---------------------------|-------------------------------------------|----------------|--------------|----------------------------|-------|------|-----------------------------------|------------------|-------------------|-------|-----|-----|
|     |    |            |                 |                           |                                           | S+0.5<br>(℃/s) | t/2<br>(℃/s) |                            | S+0.5 | t/2  |                                   |                  |                   | 表层    | t/2 |     |
| 1   | A  | 25         | 1082            | 824                       | 45                                        | 62             | 26           | 451                        | B     | B    | 1.1E-05                           | 212              | 564               | ○     | ○   | 发明例 |
| 2   | B  | 25         | 1060            | 818                       | 56                                        | 55             | 23           | 476                        | B     | B    | 9.1E-06                           | 213              | 571               | ○     | ○   |     |
| 3   | C  | 35         | 1082            | 842                       | 75                                        | 63             | 25           | 476                        | B     | B    | 7.9E-06                           | 218              | 579               | ○     | ○   |     |
| 4   | D  | 30         | 1068            | 820                       | 46                                        | 58             | 22           | 463                        | B     | B    | 6.5E-06                           | 223              | 595               | ○     | ○   |     |
| 5   | D  | 30         | 1083            | 768                       | -6                                        | 69             | 27           | 459                        | B     | B    | 8.7E-06                           | 218              | 573               | ○     | ○   |     |
| 6   | D  | 30         | 1035            | 822                       | 48                                        | 92             | 33           | 500                        | B     | B    | 8.9E-06                           | 227              | 581               | ○     | ○   |     |
| 7   | D  | 30         | 1038            | 823                       | 49                                        | 51             | 18           | 504                        | B     | B    | 1.1E-05                           | 204              | 543               | ○     | ○   |     |
| 8   | D  | 30         | 1091            | 810                       | 36                                        | 68             | 48           | 431                        | B     | B    | 5.3E-06                           | 220              | 605               | ○     | ○   |     |
| 9   | D  | 30         | 1038            | 831                       | 57                                        | 71             | 29           | 301                        | B     | B    | 5.2E-06                           | 226              | 616               | ○     | ○   |     |
| 10  | D  | 30         | 1051            | 831                       | 57                                        | 73             | 28           | 545                        | B     | B    | 1.1E-05                           | 210              | 547               | ○     | ○   |     |
| 11  | E  | 40         | 1061            | 838                       | 75                                        | 61             | 19           | 455                        | B     | B    | 7.5E-06                           | 223              | 588               | ○     | ○   |     |
| 12  | F  | 30         | 1067            | 824                       | 44                                        | 59             | 22           | 459                        | B     | B    | 7.4E-06                           | 222              | 592               | ○     | ○   |     |
| 13  | D  | 30         | 960             | 811                       | 37                                        | 72             | 27           | 476                        | B     | B    | 1.4E-05                           | 197              | 507               | ○     | ○   | 比较例 |
| 14  | D  | 30         | 1065            | 736                       | -38                                       | 62             | 24           | 468                        | F+B   | F+B  | 4.8E-06                           | 263              | 502               | ×     | ×   |     |
| 15  | D  | 30         | 1078            | 826                       | 52                                        | 142            | 48           | 474                        | B     | B    | 5.3E-06                           | 273              | 628               | ×     | ○   |     |
| 16  | D  | 30         | 1066            | 837                       | 63                                        | 15             | 6            | 473                        | B     | F+P  | 4.2E-06                           | 182              | 506               | ○     | ×   |     |
| 17  | D  | 35         | 1073            | 830                       | 56                                        | 72             | 30           | 232                        | B     | B+M  | 3.1E-06                           | 261              | 639               | ×     | ×   |     |
| 18  | D  | 25         | 1073            | 827                       | 53                                        | 138            | 63           | 469                        | B     | B    | 4.0E-06                           | 269              | 630               | ×     | ×   |     |
| 19  | D  | 30         | 1049            | 832                       | 58                                        | 49             | 23           | 597                        | B     | B+MA | 4.2E-06                           | 186              | 498               | ○     | ×   |     |
| 20  | G  | 30         | 1059            | 826                       | 52                                        | 63             | 24           | 471                        | B     | B+MA | 4.9E-06                           | 267              | 604               | ×     | ×   |     |
| 21  | H  | 30         | 1071            | 822                       | 48                                        | 59             | 21           | 463                        | B     | B+MA | 4.7E-06                           | 255              | 608               | ×     | ×   |     |
| 22  | I  | 30         | 1063            | 819                       | 49                                        | 59             | 23           | 466                        | B     | B    | 4.4E-06                           | 221              | 591               | ○     | ×   |     |

表2

注意事项1: 下划线表示处于本发明的范围外。  
注意事项2: S+0.5表示钢板表面下0.5mm的位置。  
注意事项3: 关于显微组织, B表示贝氏体, F表示铁素体, P表示珠光体, MA表示岛状马氏体。

[0127] 如表2所示, No.1~No.12是成分组成及制造条件满足本发明的适当范围的发明例。作为钢板, 拉伸强度均为520MPa以上, 氢扩散系数均为 $5.0 \times 10^{-6} \text{cm}^2/\text{s}$ 以上, 在钢板表面下0.5mm处的HV0.1均为250以下, 在使用该钢板造管而得的高强度钢管中表层部及中心偏析部的耐HIC性均良好。

[0128] 与此相对, No.13~No.19是成分组成处于本发明的范围内、但制造条件处于本发明的范围外的比较例。因此, 钢板表面下0.5mm处的HV0.1超过250, 或者氢扩散系数小于5.0

$\times 10^{-6} \text{cm}^2/\text{s}$ , 因此表层部或中心偏析部的耐HIC性差。

[0129] 就No.20~No.22而言, 钢板的成分组成处于本发明的范围外, 钢板表面下0.5mm处的HV0.1超过250, 或者氢扩散系数小于 $5.0 \times 10^{-6} \text{cm}^2/\text{s}$ , 因此表层部或中心偏析部的耐HIC性差。

[0130] 产业上的可利用性

[0131] 本发明的耐酸管线管用高强度钢板的中心偏析部及表层部的耐HIC性优异。因此, 对该钢板进行冷成型而制造的钢管 (电阻焊钢管、螺旋钢管、UOE钢管等) 能够优选用于要求耐酸性的、包含硫化氢的原油、天然气的输送。

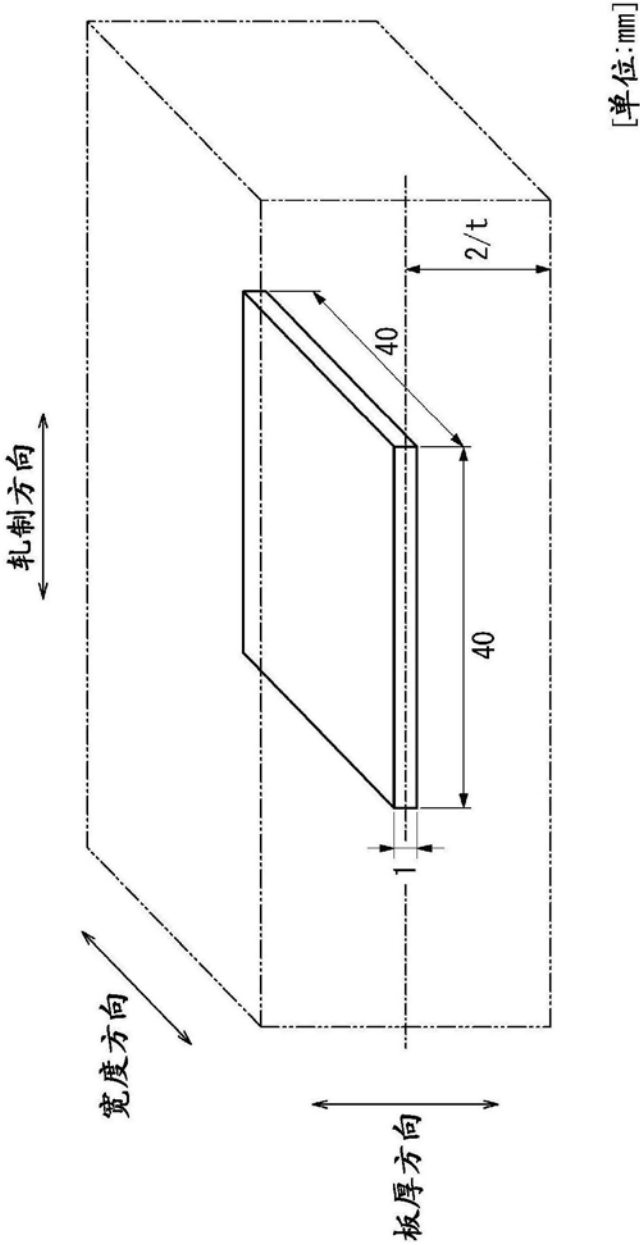


图1