



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 119173647 A

(43) 申请公布日 2024. 12. 20

(21) 申请号 202380041674.3

(22) 申请日 2023.05.15

(30) 优先权数据

2022-090799 2022.06.03 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2024.11.20

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2023/018030 2023.05.15

(87) PCT国际申请的公布数据

W02023/233980 JA 2023.12.07

(71) 申请人 杰富意钢铁株式会社

地址 日本

(72) 发明人 岩田直道 松本晃英 井手信介

(74) 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限
责任公司 11219

专利代理师 满凤 金龙河

(51) Int.Cl.

G22C 38/00 (2006.01)

B21B 3/00 (2006.01)

G21D 8/02 (2006.01)

G22C 38/60 (2006.01)

B21C 37/15 (2006.01)

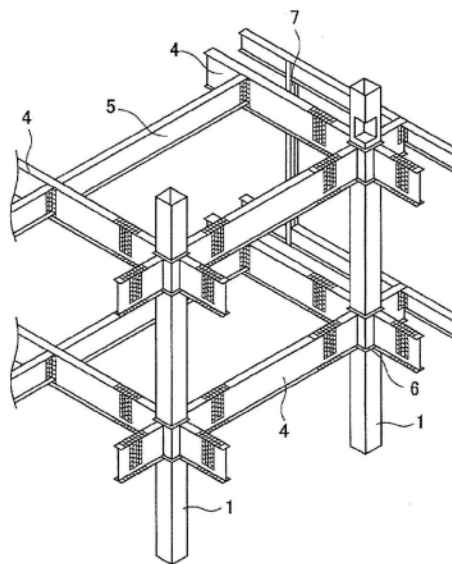
权利要求书2页 说明书25页 附图2页

(54) 发明名称

热轧钢板、矩形钢管、它们的制造方法和建筑结构物

(57) 摘要

本发明提供强度和低温韧性优良的热轧钢板、矩形钢管、它们的制造方法和建筑结构物。具有规定的成分组成,板厚中心部和板表背面的钢组织具有由铁素体构成的主相以及珠光体和伪珠光体的合计面积率为6~25%且上贝氏体的面积率为5%以下的第二相,在板厚中心部,将由相邻的晶体的取向差为 15° 以上的边界围成的区域作为晶粒时,板厚中央部的钢组织的平均结晶粒径为 $10.0 \sim 30.0 \mu\text{m}$,以等效圆直径计为 $40.0 \mu\text{m}$ 以上的晶粒以面积率计为20%以下,并且,长径与短径之比(=长径/短径)为3.0以上的晶粒的个数为 30 个/ mm^2 以下,在板厚方向上距钢板表背面为 1.0mm 内部的位置与板厚中心部的硬度差为 40HV 以下。



1. 一种热轧钢板,其具有以质量%计含有C:0.07%以上且0.20%以下、Si:0.40%以下、Mn:0.20%以上且1.00%以下、P:0.100%以下、S:0.050%以下、Al:0.005%以上且0.100%以下、N:0.0100%以下、或者还含有选自Nb:0.005%以上且0.020%以下、Ti:0.005%以上且0.020%以下、V:0.01%以上且0.10%以下、Cr:0.01%以上且0.50%以下、Mo:0.01%以上且0.50%以下、Cu:0.01%以上且0.30%以下、Ni:0.01%以上且0.30%以下、Ca:0.0005%以上且0.0100%以下、B:0.0003%以上且0.0100%以下中的一种或两种以上、Mn和Si的含量满足下述(1)式、余量由Fe和不可避免的杂质构成的成分组成,

板厚中心部和板表背面的钢组织具有由铁素体构成的主相以及珠光体和伪珠光体的合计面积率为6~25%且上贝氏体的面积率为5%以下的第二相,

在所述板厚中心部,将由相邻的晶体的取向差为 15° 以上的边界围成的区域作为晶粒时,

所述板厚中心部的所述钢组织的平均结晶粒径为 $10.0 \sim 30.0 \mu\text{m}$,

以等效圆直径计为 $40.0 \mu\text{m}$ 以上的所述晶粒以面积率计为20%以下,并且,

长径相对于短径的比即(长径)/(短径)为3.0以上的所述晶粒的个数为30个/ mm^2 以下,

在板厚方向上距板表背面为1.0mm内部的位置与板厚中心部的硬度差为40HV以下,

$$1.0 \leq \% \text{Mn} / \% \text{Si} \leq 3.5 \quad \cdots (1)$$

在此,%Mn、%Si为各元素的含量(质量%)。

2. 根据权利要求1所述的热轧钢板,其中,

屈服强度为250MPa以上,

拉伸强度为400MPa以上,

屈服比为0.75以下,

-20°C下的夏比吸收能为100J以上,

延脆转变温度为-20°C以下。

3. 根据权利要求1或2所述的热轧钢板,其中,所述钢组织以面积率计具有5~15%的所述伪珠光体。

4. 根据权利要求1~3中任一项所述的热轧钢板,其板厚为20mm以上。

5. 一种热轧钢板的制造方法,其是权利要求1~4中任一项所述的热轧钢板的制造方法,其包括:

将钢原材在加热温度为 1100°C 以上且 1300°C 以下的条件下加热后实施粗轧结束温度为 850°C 以上且 1150°C 以下、精轧结束温度为 750°C 以上且 850°C 以下、并且 930°C 以下的合计压下率为40%以上且59%以下的热轧的热轧工序;

接着在板厚中心部的平均冷却速度 V_c ($^{\circ}\text{C}/\text{s}$)和从板表背面起到厚度方向1.0mm深度为止的板表层部的平均冷却速度 V_s ($^{\circ}\text{C}/\text{s}$)满足下述(2)式和(3)式、从冷却开始到冷却停止的期间将热轧钢板空冷5秒以上、板厚中心部的冷却停止温度为 550°C 以上且 680°C 以下的条件下实施冷却的冷却工序;以及

接着在板厚中心温度为 550°C 以上且 680°C 以下的条件下进行卷取的卷取工序,

$$2 \leq V_c \leq 15 \quad \cdots (2)$$

$$V_s / V_c \leq 2.0 \quad \cdots (3)。$$

6. 一种矩形钢管,其以权利要求1~4中任一项所述的热轧钢板作为原材。

7. 一种矩形钢管的制造方法,其中,通过将权利要求1~4中任一项所述的热轧钢板进行冷辊轧成形而得到矩形钢管。

8. 一种建筑物,其使用权利要求6所述的矩形钢管作为柱材。

热轧钢板、矩形钢管、它们的制造方法和建筑结构物

技术领域

[0001] 本发明涉及热轧钢板和以该热轧钢板作为原材通过冷辊轧成形制造的矩形钢管(方柱)。特别是涉及适合用于大型建筑物的建筑结构构件的矩形钢管。此外,涉及使用该矩形钢管得到的建筑结构物。

背景技术

[0002] 近年来,对于例如在工厂、仓库、商业设施等大型建筑物(以下称为建筑物)中使用的建筑结构构件而言,为了通过轻量化来削减施工成本,正在推进高强度化。特别是在作为建筑物的柱材使用的具有平板部和角部的矩形钢管(方柱)中,对于平板部要求高强度。同时,对于建筑结构构件中使用的矩形钢管,从耐震性的观点出发,还要求具备优良的韧性。

[0003] 矩形钢管通常以热轧钢板(热轧钢带)或厚钢板作为原材,通过将原材进行冷成形来制造。作为进行冷成形的方法,存在有进行冷冲压弯曲成形的方法或进行冷辊轧成形的方法。

[0004] 将原材进行辊轧成形而制造的矩形钢管(以下有时也称为辊轧成形矩形钢管)是将热轧钢板进行冷辊轧成形而制成圆筒状的开口管并将其对接部分进行电阻焊。然后,通过配置于开口管的上下左右的辊,对圆筒状的开口管(圆形钢管)在管轴方向上施加百分之几的拉深,接着成形为矩形而制造矩形钢管。另一方面,将原材进行冲压弯曲成形而制造的矩形钢管(以下有时也称为冲压成形矩形钢管)通过将厚钢板进行冷冲压弯曲成形而使截面形状为口字型(四边形)或者 \square 字型(U字形)并通过埋弧焊将它们接合来制造。

[0005] 与冲压成形矩形钢管的制造方法相比,辊轧成形矩形钢管的制造方法具有生产率高、能够在短期间内制造这样的优点。但是,在冲压成形矩形钢管中,不对平板部施加冷成形而仅角部发生加工硬化,与此相对,在辊轧成形矩形钢管中,特别是在冷成形为圆筒状时遍及钢管整周在管轴方向上导入大的加工应变。因此,辊轧成形矩形钢管不仅在角部而且在平板部也存在管轴方向的屈服比高、韧性低的问题。

[0006] 此外,对于辊轧成形矩形钢管而言,壁厚越大,则辊轧成形时的加工硬化越大,因此,屈服比变得更高,韧性进一步降低。因此,特别是在制造厚壁的辊轧成形矩形钢管的情况下,需要选择能够耐受由辊轧成形引起的屈服比的升高和韧性的降低的原材。

[0007] 对于这样的要求,例如,在专利文献1中提出了一种矩形钢管,其中,通过将以重量%计含有0.20%以下的C、进而含有Mn:0.40~0.90%、Nb:0.005~0.040%和Ti:0.005~0.050%中的一种或两种的钢原材通过未再结晶温度范围中的压下率为55%以上、轧制结束温度为730~830℃、卷取温度为550℃以下的热轧而制成卷的热轧工序,使钢管成形工序中的外周长拉深为板厚的3倍以下,由此屈服比为90%以下且试验温度0℃下的夏比吸收能为27J以上。

[0008] 在专利文献2中提出了一种矩形钢管,其中,将以质量%计含有C:0.07~0.18%、Mn:0.3~1.5%的钢加热至1100~1300℃的加热温度后,实施将粗轧结束温度设为1150~950℃的粗轧和将精轧开始温度设为1100~850℃、将精轧结束温度设为900~750℃的精轧后,实

施按照以表面温度计冷却停止温度为550°C以上的方式进行冷却的一次冷却、进行3~15s空冷的二次冷却和按照以板厚中央部温度计750~650°C的温度范围的平均冷却速度为4~15°C/s的冷却速度冷却至650°C以下的三次冷却,使钢组织中包含的第二相频度的值为0.20~0.42,由此,示出80%以下的低屈服比,具备试验温度0°C下的夏比冲击试验的吸收能为150J以上的机械特性。

[0009] 在专利文献3中提出了一种矩形钢管,其中,将以质量%计含有C:0.07~0.18%、Mn:0.3~1.5%的钢加热至1100~1300°C的加热温度后,接着实施将粗轧结束温度设为1150~950°C的粗轧和将精轧开始温度设为1100~850°C、将精轧结束温度设为900~750°C的精轧后,按照以表面温度计750~650°C的温度范围的平均冷却速度为20°C/s以下、至板厚中心部温度达到650°C为止的时间为35s以内并且板厚中心部的750~650°C的温度范围的平均冷却速度为4~15°C/s的方式,冷却至500~650°C的卷取温度,由此,示出80%以下的低屈服比,具备试验温度0°C下夏比冲击试验的吸收能为150J以上的机械特性。

[0010] 在专利文献4中提出了一种矩形钢管,其中,将具有以质量%计含有C:0.07~0.20%、Mn:0.3~2.0%、P:0.03%以下、S:0.015%以下、Al:0.01~0.06%、N:0.006%以下、余量由Fe和不可避免的杂质构成的成分组成的钢加热至1100~1300°C的加热温度后,接着实施将粗轧结束温度设为1150~950°C的粗轧和将精轧开始温度设为1100~850°C、将精轧结束温度设为900~750°C的精轧后,按照以板厚中心温度计从冷却开始到冷却停止的平均冷却速度为4~25°C/s的冷却速度实施冷却至580°C以下的冷却停止温度,在冷却开始10s期间的初期冷却工序中具有一次以上的0.2s以上且小于3.0s的放冷工序,然后在580°C以下的卷取温度下进行卷取后,进行放冷,由此,板厚中心部的钢组织具有由铁素体构成的主相以及由选自珠光体、伪珠光体和上贝氏体中的一种或两种以上构成且面积率为8~20%的第二相,包含主相和第二相的钢组织的平均结晶粒径为7~20 μm ,板厚表背面的钢组织为铁素体单相或贝氏体铁素体单相,平均结晶粒径为2~20 μm ,示出90%以下的低屈服比,具备试验温度0°C下的夏比冲击试验的吸收能为27J以上的机械特性。

[0011] 现有技术文献

[0012] 专利文献

[0013] 专利文献1:日本特开平9-87743号公报

[0014] 专利文献2:日本专利第5594165号公报

[0015] 专利文献3:日本专利第5589885号公报

[0016] 专利文献4:日本专利第6388091号公报

发明内容

[0017] 发明所要解决的问题

[0018] 在此,对于通过冷辊轧成形制造的矩形钢管而言,其壁厚越大、或者边的长度越小,则导入矩形钢管的加工应变越增加,屈服比的升高和韧性的降低变得更大。因此,对于成为原材的热轧钢板,需要具备抑制成形时的屈服比的升高的钢组织和可耐受过大的加工应变引起的韧性劣化的优良的低温韧性。但是,对于通过上述专利文献1~3中公开的方法制造的矩形钢管而言,特别是在板厚超过25mm的情况下,存在屈服比变高而不能满足屈服比90%以下这样的问题。

[0019] 在专利文献4记载的技术中,为了得到低屈服比和高韧性,需要板表背面的钢组织为铁素体单相或贝氏体铁素体单相,为了抑制珠光体、伪珠光体的生成,在制造热轧钢板时的冷却工序中进行急冷等,存在可制造的设备、条件受到制约这样的问题。

[0020] 本发明是鉴于上述问题而完成的,目的在于提供屈服强度和拉伸强度高、屈服比低、低温韧性优良的热轧钢板、使用了该热轧钢板的矩形钢管、它们的制造方法和使用了上述矩形钢管的建筑结构物。

[0021] 在此,(1)屈服强度高、(2)拉伸强度高、(3)屈服比低是指:使用以拉伸方向与轧制方向平行的方式裁取的JIS5号拉伸试验片,通过依据JIS Z 2241(2011)的规定的拉伸试验,依次地,(1)屈服强度为250MPa以上、(2)拉伸强度为400MPa以上、(3)屈服比为0.75以下。

[0022] 另外,低温韧性优良是指:使用依据JIS Z 2242(2018)的规定在板厚 t 的 $t/2$ 位置(板厚中心部)以试验片长度方向与轧制方向平行的方式裁取的V型缺口标准试验片,在试验温度为 -80°C 、 -60°C 、 -40°C 、 -20°C 、 0°C 的条件下进行夏比冲击试验, -20°C 下的夏比吸收能为100J以上、延脆转变温度为 -20°C 以下。

[0023] 另外,本发明中的矩形钢管是指如下所述的矩形钢管:使用以拉伸方向与管轴方向平行的方式裁取的JIS5号拉伸试验片,通过依据JIS Z 2241(2011)的规定的拉伸试验,平板部的屈服强度为295MPa以上,平板部的拉伸强度为400MPa以上,平板部的屈服比为0.90以下,进而,使用依据JIS Z 2242(2018)的规定在距管外表面为壁厚 t 的 $t/4$ 位置以试验片长度方向与管轴方向平行的方式裁取的V型缺口标准试验片,在试验温度为 -60°C 、 -40°C 、 -20°C 、 0°C 、 $+20^{\circ}\text{C}$ 的条件下进行夏比冲击试验,平板部在 -20°C 下的夏比吸收能为40J以上,平板部的延脆转变温度为 -5°C 以下。

[0024] 用于解决问题的方法

[0025] 本发明人为了解决上述问题进行了深入研究。其结果得出以下的见解(1)~(3)。

[0026] (1)对于热轧钢板而言,为了满足本发明中的目标屈服强度和拉伸强度,需要使C的含量为0.07质量%以上。此外,需要使热轧钢板的板厚中心部和板表背面的主体组织(主相)为铁素体。

[0027] (2)对于热轧钢板而言,在满足上述(1)的钢组织中,为了进一步得到本发明中的目标低温韧性和屈服比,需要在上述(1)的基础上,具有由选自珠光体、伪珠光体和贝氏体中的一种或两种以上构成的第二相,使珠光体和伪珠光体的合计面积率为6~25%,使上贝氏体的面积率为5%以下,在板厚中心部,将由相邻的晶体的取向差为 15° 以上的边界围成的区域作为晶粒时,包含主相和第二相的钢组织的平均结晶粒径为 $10.0\sim 30.0\mu\text{m}$,以等效圆直径计为 $40.0\mu\text{m}$ 以上的晶粒以面积率计为20%以下、并且长径与短径之比(=长径)/(短径)为3.0以上的晶粒的个数为 $30\text{个}/\text{mm}^2$ 以下,使在板厚方向上距板表背面为1.0mm内部的位置与板厚中心部的硬度差为40HV以下。

[0028] (3)为了得到上述钢组织,需要将成分组成调整为适当的范围,并且将Mn和Si的含量控制在特定的范围,进而将热轧工序后的冷却工序中的冷却停止温度和卷取温度调整为适当的范围。

[0029] 本发明是基于这些见解而完成的,由下述主旨构成。

[0030] [1]一种热轧钢板,其具有以质量%计含有C:0.07%以上且0.20%以下、Si:0.40%以

下、Mn:0.20%以上且1.00%以下、P:0.100%以下、S:0.050%以下、Al:0.005%以上且0.100%以下、N:0.0100%以下、或者还含有选自Nb:0.005%以上且0.020%以下、Ti:0.005%以上且0.020%以下、V:0.01%以上且0.10%以下、Cr:0.01%以上且0.50%以下、Mo:0.01%以上且0.50%以下、Cu:0.01%以上且0.30%以下、Ni:0.01%以上且0.30%以下、Ca:0.0005%以上且0.0100%以下、B:0.0003%以上且0.0100%以下中的一种或两种以上、Mn和Si的含量满足下述(1)式、余量由Fe和不可避免的杂质构成的成分组成,

[0031] 板厚中心部和板表背面的钢组织具有由铁素体构成的主相以及珠光体和伪珠光体的合计面积率为6~25%且上贝氏体的面积率为5%以下的第二相,

[0032] 在上述板厚中心部,将由相邻的晶体的取向差为 15° 以上的边界围成的区域作为晶粒时,

[0033] 上述板厚中心部的上述钢组织的平均结晶粒径为 $10.0 \sim 30.0 \mu\text{m}$,

[0034] 以等效圆直径计为 $40.0 \mu\text{m}$ 以上的上述晶粒以面积率计为20%以下,并且,

[0035] 长径相对于短径的比即(长径)/(短径)为3.0以上的上述晶粒的个数为 $30 \text{个}/\text{mm}^2$ 以下,

[0036] 在板厚方向上距板表背面为1.0mm内部的位置与板厚中心部的硬度差为40HV以下。

[0037] $1.0 \leq \% \text{Mn} / \% \text{Si} \leq 3.5 \quad \dots (1)$

[0038] 在此,%Mn、%Si为各元素的含量(质量%)。

[0039] [2]根据上述[1]所述的热轧钢板,其中,

[0040] 屈服强度为250MPa以上,

[0041] 拉伸强度为400MPa以上,

[0042] 屈服比为0.75以下,

[0043] -20°C 下的夏比吸收能为100J以上,

[0044] 延脆转变温度为 -20°C 以下。

[0045] [3]根据上述[1]或[2]所述的热轧钢板,其中,上述钢组织以面积率计具有5~15%的上述伪珠光体。

[0046] [4]根据上述[1]~[3]中任一项所述的热轧钢板,其板厚为20mm以上。

[0047] [5]一种热轧钢板的制造方法,其是上述[1]~[4]中任一项所述的热轧钢板的制造方法,其包括:

[0048] 将钢原材在加热温度为 1100°C 以上且 1300°C 以下的条件下加热后实施粗轧结束温度为 850°C 以上且 1150°C 以下、精轧结束温度为 750°C 以上且 850°C 以下、并且 930°C 以下的合计压下率为40%以上且59%以下的热轧的热轧工序;

[0049] 接着在板厚中心部的平均冷却速度 V_c ($^\circ\text{C}/\text{s}$)和从板表背面起到厚度方向1.0mm深度为止的板表层部的平均冷却速度 V_s ($^\circ\text{C}/\text{s}$)满足下述(2)式和(3)式、从冷却开始到冷却停止的期间将热轧钢板空冷5秒以上、板厚中心部的冷却停止温度为 550°C 以上且 680°C 以下的条件下实施冷却的冷却工序;以及

[0050] 接着在板厚中心温度为 550°C 以上且 680°C 以下的条件下进行卷取的卷取工序。

[0051] $2 \leq V_c \leq 15 \quad \dots (2)$

[0052] $V_s / V_c \leq 2.0 \quad \dots (3)$

- [0053] [6]一种矩形钢管,其以上述[1]~[4]中任一项所述的热轧钢板作为原材。
- [0054] [7]一种矩形钢管的制造方法,其中,通过将上述[1]~[4]中任一项所述的热轧钢板进行冷辊轧成形而得到矩形钢管。
- [0055] [8]一种建筑结构物,其使用上述[6]所述的矩形钢管作为柱材。
- [0056] 发明效果
- [0057] 根据本发明,提供屈服强度和拉伸强度高、屈服比低、低温韧性优良的热轧钢板、使用了该热轧钢板的矩形钢管、它们的制造方法和使用了上述矩形钢管的建筑结构物。

附图说明

- [0058] 图1是示意性地示出使用了本发明的矩形钢管的建筑结构物的一例的立体图。
- [0059] 图2是示出本发明中实施的平板部拉伸试验片的截取位置的示意图。
- [0060] 图3是示出本发明中实施的夏比试验片的截取位置的示意图。

具体实施方式

[0061] 以下,对本发明进行详细说明。

[0062] <热轧钢板>

[0063] 本发明的热轧钢板的特征在于,具有以质量%计含有C:0.07%以上且0.20%以下、Si:0.40%以下、Mn:0.20%以上且1.00%以下、P:0.100%以下、S:0.050%以下、Al:0.005%以上且0.100%以下、N:0.0100%以下、Mn和Si的含量满足下述(1)式、余量由Fe和不可避免的杂质构成的成分组成,板厚中心部和板表背面的钢组织具有由铁素体构成的主相以及珠光体和伪珠光体的合计面积率为6~25%且上贝氏体的面积率为5%以下的第二相,在板厚中心部,将由相邻的晶体的取向差为15°以上的边界围成的区域作为晶粒时,上述板厚中心部的钢组织的平均结晶粒径为10.0~30.0 μm ,以等效圆直径计为40.0 μm 以上的上述晶粒相对于板厚中心部的钢组织整体以面积率计为20%以下,并且,长径相对于短径的比(长径与短径之比(=长径)/(短径))为3.0以上的晶粒的个数为30个/ mm^2 以下,在板厚方向上距板表背面为1.0mm内部的位置与板厚中心部的硬度差为40HV以下。需要说明的是,“热轧钢板”包括热轧钢板、热轧钢带。

[0064] $1.0 \leq \% \text{Mn} / \% \text{Si} \leq 3.5 \quad \dots (1)$

[0065] 在此,%Mn、%Si为各元素的含量(质量%)。

[0066] 以下,对本发明的热轧钢板的成分组成进行说明。需要说明的是,只要没有特别说明,表示钢组成的“%”为“质量%”。

[0067] C:0.07%以上且0.20%以下

[0068] C是通过固溶强化使钢的强度升高的元素。另外,C是有助于作为第二相之一的珠光体和伪珠光体的形成的元素。为了确保本发明中的目标强度和屈服比,需要含有0.07%以上的C。但是,C含量超过0.20%时,硬质相的比例变高,韧性降低,并且屈服比超过0.90,得不到期望的屈服比。另外,焊接性也劣化。因此,C含量设定为0.07%以上且0.20%以下。C含量优选为0.08%以上、更优选为0.10%以上。另外,C含量优选为0.18%以下、更优选为0.17%以下。

[0069] Si:0.40%以下

[0070] Si是通过固溶强化使钢的强度升高的元素,可以根据需要含有。为了得到这样的

效果,优选含有0.01%以上的Si。但是,Si含量超过0.40%时,容易在电阻焊接部生成氧化物,焊接部特性降低。并且电阻焊接部以外的母材部的韧性也降低。因此,Si含量设定为0.40%以下。Si含量优选为0.01%以上、更优选为0.05%以上。另外,Si含量优选为0.37%以下、更优选为0.35%以下。

[0071] Mn:0.20%以上且1.00%以下

[0072] Mn是通过固溶强化使钢的强度升高的元素。另外,Mn是通过降低铁素体相变开始温度而有助于组织的微细化的元素。为了确保本发明中的目标强度和组织,需要含有0.20%以上的Mn。但是,Mn含量超过1.00%时,贝氏体的生成量变得过多,由此屈服比超过0.90,得不到期望的屈服比。另外,Mn含量超过1.00%时,中心偏析部的硬度升高,焊接时有可能成为裂纹的原因。因此,Mn含量设定为0.20%以上且1.00%以下。Mn含量优选为0.25%以上、更优选为0.30%以上。另外,Mn含量优选为0.95%以下、更优选为0.90%以下。

[0073] P:0.100%以下

[0074] P在晶界偏析,导致材料的不均匀,因此作为不可避免的杂质优选尽可能减少,但可以允许至0.100%。因此,P含量设定为0.100%以下的范围内。P含量优选为0.030%以下、更优选为0.020%以下。需要说明的是,P的下限没有特别规定,但过度的减少导致冶炼成本的高涨,因此P优选设定为0.002%以上。

[0075] S:0.050%以下

[0076] S在钢中通常以MnS的形式存在,但是MnS在热轧工序被拉伸得很薄,对延展性带来不良影响。因此,在本发明中优选尽可能减少S,但可以允许至0.050%。因此,S含量设定为0.050%以下。S含量优选为0.015%以下、更优选为0.010%以下、进一步优选为0.008%以下。需要说明的是,S的下限没有特别规定,但过度的减少导致冶炼成本的高涨,因此S优选设定为0.001%以上。

[0077] Al:0.005%以上且0.100%以下

[0078] Al是作为强力的脱氧剂发挥作用的元素。为了得到这样的效果,需要含有0.005%以上的Al。但是,Al含量超过0.100%时,焊接性劣化,并且氧化铝系夹杂物变多,表面性状劣化。并且焊接部的韧性也降低。因此,Al含量设定为0.005%以上且0.100%以下。Al含量优选为0.010%以上、更优选为0.015%以上。另外,Al含量优选为0.070%以下、更优选为0.050%以下。

[0079] N:0.0100%以下

[0080] N是不可避免的杂质,是具有通过牢固地固定位错的运动而降低韧性的作用的元素。在本发明中,N作为杂质优选尽可能减少,但N的含量可以允许至0.0100%。因此,N含量设定为0.0100%以下。N含量优选为0.0080%以下、更优选为0.0040%以下、进一步优选为0.0035%以下。需要说明的是,过度的减少导致冶炼成本的高涨,因此N含量优选设定为0.0010%以上、更优选设定为0.0015%以上。

[0081] $1.0 \leq \%Mn/\%Si \leq 3.5 \quad \dots (1)$

[0082] 在此,%Mn、%Si为各元素的含量(质量%)。

[0083] 在本发明中,需要使Mn和Si的含量为上述范围,进一步,需要满足作为(1)式的 $1.0 \leq \%Mn/\%Si \leq 3.5$ 。通过满足本关系式,能够得到如后所述的具有珠光体和/或伪珠光体的面积率为6~25%且上贝氏体的面积率为5%以下的第二相的钢组织,能够得到本发明中的目标

强度、屈服比、夏比吸收能、延脆转变温度。 $\%Mn/\%Si$ 优选为1.2以上、更优选为1.4以上。另外, $\%Mn/\%Si$ 优选为3.2以下、更优选为3.0以下。

[0084] 余量为Fe和不可避免的杂质。但是,在不损害本发明效果的范围内,不拒绝含有0.005%以下的O(氧)。

[0085] 另外,对于后述的作为任选元素的Nb、Ti、V、Cr、Mo、Cu、Ni、Ca、B,将Nb:大于0%且小于0.005%、Ti:大于0%且小于0.005%、V:大于0%且小于0.01%、Cr:大于0%且小于0.01%、Mo:大于0%且小于0.01%、Cu:大于0%且小于0.01%、Ni:大于0%且小于0.01%、Ca:大于0%且小于0.0005%、B:大于0%且小于0.0003%作为不可避免的杂质来对待。

[0086] 上述成分是本发明中的热轧钢板的基本的成分组成。通过上述必需元素可以得到本发明中的目标特性,但根据需要也可以含有下述元素。

[0087] 选自Nb:0.005%以上且0.020%以下、Ti:0.005%以上且0.020%以下、V:0.01%以上且0.10%以下、Cr:0.01%以上且0.50%以下、Mo:0.01%以上且0.50%以下、Cu:0.01%以上且0.30%以下、Ni:0.01%以上且0.30%以下、Ca:0.0005%以上且0.0100%以下、B:0.0003%以上且0.0100%以下中的一种或两种以上

[0088] Nb:0.005%以上且0.020%以下、Ti:0.005%以上且0.020%以下

[0089] Nb和Ti是在钢中形成微细的碳化物、氮化物并通过析出强化而有助于钢的强度提高的元素。为了得到这样的效果,在含有Nb的情况下,含有0.005%以上的Nb。另外,在含有Ti的情况下,含有0.005%以上的Ti。

[0090] 另一方面,Nb、Ti分别含有超过0.020%时,有可能形成粗大的碳化物、氮化物,导致韧性的降低。因此,在含有Nb的情况下,Nb的含量设定为0.005%以上且0.020%以下,在含有Ti的情况下,Ti的含量设定为0.005%以上且0.020%以下。Nb、Ti分别优选为0.007%以上、更优选为0.009%以上。另外,Nb、Ti分别优选为0.018%以下、更优选为0.016%以下。

[0091] V:0.01%以上且0.10%以下、Cr:0.01%以上且0.50%以下、Mo:0.01%以上且0.50%以下

[0092] V、Cr、Mo是提高钢的淬透性、使钢的强度升高的元素,可以根据需要含有。为了得到上述效果,在含有V、Cr、Mo的情况下,V含量设定为0.01%以上、Cr含量设定为0.01%以上、Mo含量设定为0.01%以上。优选V含量为0.02%以上、Cr含量为0.05%以上、Mo含量为0.05%以上,更优选V含量为0.03%以上、Cr含量为0.08%以上、Mo含量为0.08%以上。

[0093] 另一方面,过度的含有有可能导致韧性的降低和焊接性的劣化。因此,在含有V、Cr、Mo的情况下,分别地,V含量设定为0.10%以下、Cr含量设定为0.50%以下、Mo含量设定为0.50%以下。优选V含量为0.08%以下、Cr含量为0.40%以下、Mo含量为0.40%以下,更优选V含量为0.07%以下、Cr含量为0.35%以下、Mo含量为0.35%以下。

[0094] Cu:0.01%以上且0.30%以下、Ni:0.01%以上且0.30%以下

[0095] Cu、Ni是通过固溶强化使钢的强度升高的元素,可以根据需要含有。为了得到上述效果,在含有Cu、Ni的情况下,分别地,Cu含量设定为0.01%以上、Ni含量设定为0.01%以上。优选Cu含量为0.02%以上、Ni含量为0.02%以上。更优选Cu含量为0.10%以上、Ni含量为0.10%以上。另一方面,过度的含有有可能导致韧性的降低和焊接性的劣化。因此,在含有Cu、Ni的情况下,分别地,Cu含量设定为0.30%以下、Ni含量设定为0.30%以下。优选Cu含量为0.20%以下、Ni含量为0.20%以下。更优选Cu含量为0.15%以下、Ni含量为0.15%以下。

[0096] Ca:0.0005%以上且0.0100%以下

[0097] Ca是通过使在热轧工序中被拉伸得很薄的MnS等硫化物球状化而有助于钢的韧性提高的元素,可以根据需要含有。为了得到这样的效果,在含有Ca的情况下,优选含有0.0005%以上的Ca。但是,Ca含量超过0.0100%时,有时在钢中形成Ca氧化物簇,韧性劣化。因此,在含有Ca的情况下,Ca含量优选设定为0.0100%以下。需要说明的是,Ca含量优选设定为0.0005%以上。更优选Ca含量为0.0010%以上。优选Ca含量为0.0050%以下。

[0098] B:0.0003%以上且0.0100%以下

[0099] B是通过降低铁素体相变开始温度而有助于组织的微细化的元素。为了得到这样的效果,在含有B的情况下,优选含有0.0003%以上的B。但是,B含量超过0.0100%时,有时屈服比升高。因此,在含有B的情况下,优选设定为0.0100%以下。更优选B含量为0.0005%以上。优选B含量为0.0050%以下。

[0100] 接着,对限定本发明的热轧钢板的钢组织的理由进行说明。

[0101] 本发明的热轧钢板中的板厚中心部和板表背面的钢组织具有由铁素体构成的主相以及珠光体和伪珠光体的合计面积率为6~25%且上贝氏体的面积率为5%以下的第二相,在板厚中心部,将由相邻的晶体的取向差为 15° 以上的边界围成的区域作为晶粒时,上述板厚中心部的钢组织的平均结晶粒径为 $10.0\sim 30.0\mu\text{m}$,以等效圆直径计为 $40.0\mu\text{m}$ 以上的上述晶粒相对于板厚中心部的钢组织整体以面积率计为20%以下,并且,长径相对于短径之比(长径与短径之比(=(长径)/(短径))为3.0以上的晶粒的个数为 $30\text{个}/\text{mm}^2$ 以下,在板厚方向上距板表背面为1.0mm内部的位置与板厚中心部的硬度差为40HV以下。

[0102] 需要说明的是,在本发明中,等效圆直径(结晶粒径)设定为面积与作为对象的晶粒相等的圆的直径。另外,钢组织将热轧钢板的板厚中心部和板表面(板表背面)作为对象。在此,板表面(板表背面)是指在板厚方向上距钢板的表面为1.0mm内部的位置。

[0103] 主相:铁素体

[0104] 铁素体是软质的组织,为了得到期望的屈服强度和低屈服比,在本发明中作为主相。优选铁素体以面积率计为70%以上、更优选为72%以上。铁素体的面积率超过94%时,有时强度降低,得不到期望的屈服强度和拉伸强度。因此,优选铁素体以面积率计为94%以下,更优选铁素体以面积率计为92%以下。

[0105] 珠光体和伪珠光体的合计面积率:6~25%、上贝氏体的面积率:5%以下

[0106] 珠光体和伪珠光体是硬质的组织,是用于使钢的强度升高、并且得到低屈服比的最重要的钢组织。为了得到本发明中的目标屈服强度、拉伸强度、屈服比,需要将珠光体和伪珠光体的合计面积率设定为6%以上。该合计面积率优选为7%以上、更优选为9%以上。珠光体和伪珠光体的面积率超过25%时,有时韧性劣化。因此,珠光体和伪珠光体的合计面积率需要为25%以下。该合计面积率优选为23%以下、更优选为21%以下。

[0107] 另外,伪珠光体的面积率优选为5%以上。伪珠光体以面积率计存在5%以上时,制造矩形钢管时屈服比被抑制得较低,因此能够得到更优良的耐震性。为了使伪珠光体的面积率超过15%,需要在热轧中的冷却工序中生成珠光体的温度范围进行急冷,因此制造条件被限定。因此,伪珠光体的面积率优选为15%以下。

[0108] 上贝氏体是具有铁素体与珠光体的中间的硬度的组织,使钢的强度升高。但是,上贝氏体的面积率超过5%时,得不到本发明中的目标低屈服比。因此,上贝氏体的面积率需要

为5%以下。优选为4%以下。上贝氏体可以为0%。

[0109] 需要说明的是,铁素体、珠光体、伪珠光体、上贝氏体的面积率可以通过以下记载的方法进行测定。

[0110] 在板厚中心部,将由相邻的晶体的取向差(晶体取向差)为 15° 以上的边界围成的区域作为晶粒时,板厚中心部的钢组织的平均结晶粒径为 $10.0 \sim 30.0\mu\text{m}$,以等效圆直径计为 $40.0\mu\text{m}$ 以上的上述晶粒以面积率计为20%以下,并且,长径与短径之比(=(长径)/(短径))为3.0以上的上述晶粒的个数为 $30\text{个}/\text{mm}^2$ 以下

[0111] 如上所述,为了得到本发明中的目标低屈服比、屈服强度和拉伸强度,本发明的钢组织设定为混合有软质组织和硬质组织的钢(以下称为“复合组织钢”)。但是,复合组织钢与单一组织钢相比韧性较差。因此,在本发明中,为了兼顾上述机械特性和优良的韧性,将由晶体取向差为 15° 以上的边界围成的区域作为晶粒时,规定包含主相和第二相的钢组织的结晶粒径、粗大的晶粒的面积率和伸长的晶粒的个数。

[0112] 包含主相和第二相的钢组织的平均结晶粒径(等效圆直径)小于 $10.0\mu\text{m}$ 时,屈服比增加而得不到本发明中的目标屈服比。另一方面,包含主相和第二相的钢组织的平均结晶粒径超过 $30.0\mu\text{m}$ 时,韧性劣化。因此,包含主相和第二相的钢组织的平均结晶粒径需要为 $10.0 \sim 30.0\mu\text{m}$ 。优选为 $11.0\mu\text{m}$ 以上、进一步优选为 $12.5\mu\text{m}$ 以上。另外,平均结晶粒径优选为 $28.0\mu\text{m}$ 以下、进一步优选为 $26.0\mu\text{m}$ 以下。

[0113] 但是,即使平均结晶粒径在 $10.0 \sim 30.0\mu\text{m}$ 的范围内,有时也得不到本发明中的目标屈服比和夏比吸收能。本发明人进行深入研究,结果发现,为了得到本发明中的目标韧性,需要以等效圆直径计为 $40.0\mu\text{m}$ 以上的晶粒相对于板厚中心部的钢组织整体以面积率计为20%以下,为了得到本发明中的目标屈服比,需要长径与短径之比(=(长径)/(短径))为3.0以上的晶粒的个数为 $30\text{个}/\text{mm}^2$ 以下。

[0114] 需要说明的是,晶体取向差、平均结晶粒径和结晶粒径(等效圆直径)为 $40.0\mu\text{m}$ 以上的晶粒的面积率可以通过SEM/EBSD法进行测定。在此,可以通过以下记载的方法进行测定。

[0115] 在组织观察中,从热轧钢板的宽度方向中央部且板厚 $t/2$ 的位置(t :板厚)(本发明中的板厚中心部)和板表面(钢板背面(热轧时的下表面))的位置截取试验片。使观察面成为热轧时的轧制方向截面,研磨后进行硝酸乙醇溶液腐蚀而制作。

[0116] 关于组织观察,使用光学显微镜(倍率:1000倍)或扫描电子显微镜(SEM、倍率:1000倍),对热轧钢板的板厚 $t/2$ 位置(板厚中心部)和钢板背面(板表面)的组织进行观察、拍摄。根据得到的光学显微镜图像和SEM图像,求出铁素体、珠光体、伪珠光体、上贝氏体的面积率。

[0117] 关于各组织的面积率,在5个视野进行观察,以在各视野得到的值的平均值的形式计算出。在此,将通过组织观察得到的面积率作为各组织的面积率。关于铁素体、珠光体、伪珠光体、上贝氏体的面积率,使用光学显微镜图像或SEM图像,利用以下所示的形状和颜色辨别各相并计算出各相的面积,除以光学显微镜图像或SEM图像的整体面积,从而计算出各相的面积率。

[0118] 在此,铁素体是由扩散相变得到的产物,呈现位错密度低且基本恢复的组织。铁素体包括多边形铁素体和准多边形铁素体。珠光体是渗碳体和铁素体以层状排列的组织,伪

珠光体是在铁素体中确认到以点列状排列的渗碳体的组织。另外,上贝氏体是位错密度高的板条状铁素体与渗碳体的复相组织。除了上述形状以外,根据铁素体为白色、珠光体为黑色、伪珠光体为黑色或灰色、上贝氏体为白色或灰色来辨别。

[0119] 另外,关于平均结晶粒径(平均等效圆直径),以板厚 $t/2$ 位置(板厚中心部)作为对象,使用SEM/EBSD法进行测定。测定区域设为 $500\mu\text{m} \times 1000\mu\text{m}$ ($=0.5\text{mm}^2$),测定步长设为 $0.5\mu\text{m}$ 。关于结晶粒径,求出相邻的晶粒之间的取向差,将取向差为 15° 以上的边界作为晶界进行测定。根据得到的晶界计算出各晶粒的粒径(等效圆直径),求出其算术平均,作为平均结晶粒径(平均等效圆直径)。另外,计算出等效圆直径为 $40.0\mu\text{m}$ 以上的晶粒的面积之和,除以测定区域的面积(0.5mm^2),由此计算出等效圆直径为 $40.0\mu\text{m}$ 以上的晶粒的面积率。上述等效圆直径和晶粒的面积通过使用EDAX公司制造的OIM Analysis对通过SEM/EBSD法的测定得到的数据进行分析而得到。

[0120] 另外,晶粒的长径和短径通过JIS R 1670(2006)记载的方法进行测定,计算出长径与短径之比($=$ (长径)/(短径))。测定长径与短径之比($=$ (长径)/(短径))为3.0以上的晶粒的数量,除以测定区域的面积(0.5mm^2),由此计算出长径与短径之比为3.0以上的晶粒的个数(个/ mm^2)。需要说明的是,在结晶粒径分析和晶粒个数的测定中,结晶粒径小于 $2.0\mu\text{m}$ 的晶粒作为测定噪音从分析对象中排除。

[0121] 在板厚方向上距板表背面为 1.0mm 内部的位置与板厚中心部的硬度差:40HV以下

[0122] 本发明的热轧钢板中的在板厚方向上距板表背面为 1.0mm 内部的位置与板厚中心部的硬度差为40HV以下。在板厚方向上距板表背面为 1.0mm 内部的位置与板厚中心部的硬度差超过40HV的情况下,制造矩形钢管时,矩形钢管的平板部的屈服比有可能超过0.90。另外,有时韧性也劣化。在板厚方向上距板表背面为 1.0mm 内部的位置与板厚中心部的硬度差优选为35HV以下、更优选为30HV以下。

[0123] 在此,在板厚方向上距板表背面为 1.0mm 内部的位置的硬度和板厚中心部的硬度中,在板厚方向上距板表背面为 1.0mm 内部的位置的硬度更大,因此,在本发明中,测定板厚方向上距钢板表面为 1.0mm 内部的位置和距钢板的背面为 1.0mm 内部的位置的硬度,将较大的硬度作为在板厚方向上距钢板表背面为 1.0mm 内部的位置的硬度。

[0124] 另外,作为上述的硬度的测定方法,首先,依据JIS Z 2244(2020)的规定,以 9.8N (1kgf)的试验力测定维氏硬度。测定各10个点,计算出除最大值和最小值以外的8个点的平均值,将平均值(8个点的维氏硬度的合计/8)作为该试验片的硬度。试验片使用上述组织观察用试验片,对在板厚方向上距钢板表背面为 1.0mm 内部的位置进行镜面研磨后,进行硬度测定。然后,计算出板表背面的硬度与板厚中心部的硬度之差(硬度差)。

[0125] 通过满足上述成分组成和钢组织,进而满足特定的硬度差,能够得到具有本发明的目标强度、屈服比和韧性(-20°C 下的夏比吸收能、延脆转变温度)的热轧钢板。

[0126] 具体而言,对于本发明的热轧钢板而言,可以使屈服强度为 250MPa 以上、拉伸强度为 400MPa 以上、屈服比为0.75以下、 -20°C 下的夏比吸收能为 100J 以上、延脆转变温度为 -20°C 以下。

[0127] 本发明的热轧钢板能够适合用作低屈服比矩形钢管用途的热轧钢板,能够得到具有后述的低屈服比的矩形钢管。

[0128] 本发明的热轧钢板优选板厚为 20mm 以上。另外,本发明的热轧钢板优选板厚为 20

~ 32mm。

[0129] <热轧钢板的制造方法>

[0130] 接着,作为本发明的热轧钢板的制造方法,对本发明的一个实施方式的热轧钢板的制造方法进行说明。

[0131] 本发明的热轧钢板的制造方法中,例如,在热轧工序中,将具有上述成分组成的钢原材加热至1100°C以上且1300°C以下的加热温度后,实施粗轧结束温度为850°C以上且1150°C以下、精轧结束温度为750°C以上且850°C以下、并且930°C以下的合计压下率为40%以上且59%以下的热轧。

[0132] 接着,在冷却工序中,在板厚中心部的平均冷却速度 V_c (°C/s) 和从板表面起到厚度方向1.0mm深度为止的板表层部的平均冷却速度 V_s (°C/s) 满足下述(2)式和(3)式、从冷却开始到冷却停止的期间将热轧钢板空冷5秒以上、板厚中心的冷却停止温度为550°C以上且680°C以下的条件下实施冷却,接着,在卷取工序中,在板厚中心温度为550°C以上且680°C以下的条件下进行卷取,制成热轧钢板。

[0133] $2 \leq V_c \leq 15$... (2)

[0134] $V_s/V_c \leq 2.0$... (3)

[0135] 需要说明的是,在以下的制造方法的说明中,只要没有特别说明,与温度相关的“°C”表示设为钢原材、钢板(热轧板、原材钢板)的表面温度。

[0136] 这些表面温度可以利用辐射温度计等进行测定。另外,关于钢板板厚中心部的温度,通过传热分析计算钢板截面内的温度分布,将其结果利用钢板的表面温度进行修改,由此求出。另外,“热轧钢板”包括热轧钢板、热轧钢带。

[0137] 在本发明中,钢原材(钢坯)的熔炼方法没有特别限定,转炉、电炉、真空熔化炉等公知的熔炼方法均适合。铸造方法也没有特别限定,通过连铸法等公知的铸造方法,制造成期望的尺寸。需要说明的是,应用铸锭-开坯轧制法代替连铸法也没有任何问题。可以对钢水进一步实施浇包精炼等二次精炼。

[0138] (热轧工序)

[0139] 接着,在热轧工序中,将加热温度设定为1100°C以上且1300°C以下对得到的钢原材(钢坯)进行加热后,实施将粗轧结束温度设定为850°C以上且1150°C以下的粗轧,实施将精轧结束温度设定为750°C以上且850°C以下的精轧,并且,实施930°C以下的合计压下率为40%以上且59%以下的热轧,制成热轧钢板。

[0140] 加热温度:1100°C以上且1300°C以下

[0141] 加热温度低于1100°C时,被轧制材料的变形阻力变大,轧制变得困难。另一方面,加热温度超过1300°C时,奥氏体晶粒粗大化,在之后的轧制(粗轧、精轧)中得不到微细的奥氏体晶粒,难以确保本发明中的目标的热轧钢板的钢组织的平均结晶粒径。另外,难以抑制粗大的贝氏体的生成,难以将结晶粒径为40.0 μm 以上的晶粒的面积率控制在本发明的目标范围内。因此,热轧工序中的加热温度设定为1100°C以上且1300°C以下。热轧工序中的加热温度优选为1120°C以上。另外,热轧工序中的加热温度优选为1280°C以下。

[0142] 需要说明的是,在本发明中,制造钢坯(钢坯)后,暂时冷却至室温,然后再次加热,除了这样的现有方法以外,也可以没有问题地应用不冷却至室温而以温片的状态装入加热炉的直送轧制的节能工艺。

[0143] 粗轧结束温度:850°C以上且1150°C以下

[0144] 粗轧结束温度低于850°C时,在之后的精轧中钢板表面温度变为铁素体相变开始温度以下,生成大量的铁素体,成为在轧制方向上伸长的加工铁素体晶粒,成为屈服比升高的原因。另一方面,粗轧结束温度超过1150°C时,奥氏体未再结晶温度范围内的压下量不足,得不到微细的奥氏体晶粒。其结果是得不到本发明中作为目标的热轧钢板的钢组织,难以得到将由相邻的晶体的取向差为15°以上的边界围成的区域作为晶粒时平均结晶粒径为10.0~30.0 μm 、并且长径与短径之比(=长径)/(短径)为3.0以上的晶粒的个数为30个/ mm^2 以下、以等效圆直径计为40.0 μm 以上的上述晶粒相对于钢组织整体以面积率计为20%以下的钢组织。

[0145] 另外,难以抑制粗大的贝氏体的生成。因此,粗轧结束温度设定为850°C以上且1150°C以下。粗轧结束温度优选为860°C以上、更优选为870°C以上。另外,粗轧结束温度优选为1100°C以下、更优选为1050°C以下。

[0146] 精轧结束温度:750°C以上且850°C以下

[0147] 精轧结束温度低于750°C时,精轧中钢板表面温度变为铁素体相变开始温度以下,形成在轧制方向上伸长的铁素体,加工性有可能降低。另一方面,精轧结束温度超过850°C时,奥氏体未再结晶温度范围内的压下量不足,得不到微细的奥氏体晶粒。其结果是,晶粒变得粗大,难以确保本发明中的目标强度。另外,难以抑制粗大的贝氏体的生成。因此,精轧结束温度设定为750°C以上且850°C以下。精轧结束温度优选为770°C以上、更优选为780°C以上。另外,精轧结束温度优选为830°C以下、更优选为820°C以下。

[0148] 930°C以下的合计压下率:40%以上且59%以下

[0149] 在本发明中,通过在热轧工序中使奥氏体中的亚晶粒微细化,从而使在后续的冷却工序、卷取工序中生成的铁素体、贝氏体微细化,得到具有本发明中的目标强度和韧性的热轧钢板的钢组织。为了在热轧工序中使奥氏体中的亚晶粒微细化,需要提高奥氏体未再结晶温度范围内的压下率、导入充分的加工应变。但是,合计压下率超过59%时,容易生成长径与短径之比大的晶粒,导致韧性的降低。因此,在本发明中,将930°C以下的合计压下率设定为59%以下。930°C以下的合计压下率优选为57%以下、更优选为55%以下。930°C以下的合计压下率小于40%时,铁素体、贝氏体的结晶粒径变大,导致韧性的降低。因此,930°C以下的合计压下率设定为40%以上。930°C以下的合计压下率优选为42%以上、更优选为45%以上。

[0150] 需要说明的是,设定为930°C以下是因为,超过930°C时,在轧制工序中奥氏体发生再结晶,通过轧制而导入的位错消失,得不到微细化的奥氏体。

[0151] 上述合计压下率可以在930°C以下的温度范围的轧制道次中使用轧制开始前的板厚 T_E (mm)、轧制结束后的最终板厚 T_0 (mm)通过以下的式子来计算。

[0152] 合计压下率(%)=100×(T_E-T₀)/T_E

[0153] 需要说明的是,对钢坯进行热轧时,可以进行在上述粗轧和精轧两者中将930°C以下的合计压下率设定为40%以上且59%以下的热轧。或者,可以进行仅在精轧中将930°C以下的合计压下率设定为40%以上且59%以下的热轧。后一情况下,如果仅通过精轧无法使930°C以下的合计压下率为40%以上且59%以下,则在粗轧的中途将钢坯冷却而使温度为930°C以下后,将粗轧和精轧两者中的930°C以下的合计压下率设定为40%以上且59%以下。

[0154] 在本发明中,精轧板厚(精轧后的钢板的板厚)的上限没有特别规定,从确保必要

压下率、钢板温度管理的观点出发,精轧板厚优选设定为32mm以下。

[0155] (冷却工序)

[0156] 热轧工序后,通过冷却工序对热轧板(热轧钢板用原材钢板,以下简称原材钢板)实施冷却。在冷却工序中,如下实施冷却:将板厚中心部的至冷却停止温度为止的平均冷却速度 V_c 设定为 $2^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以上且 $15^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以下,使从板表背面起到厚度方向1.0mm深度为止的板表层部的至冷却停止温度为止的平均冷却速度 V_s 与 V_c 之间满足 $V_s/V_c \leq 2.0$,在从冷却开始到冷却停止的期间将热轧钢板空冷5秒以上,将板厚中心部的冷却停止温度设定为 550°C 以上且 680°C 以下。

[0157] 板厚中心部的从冷却开始到冷却停止温度($550 \sim 680^{\circ}\text{C}$)为止的平均冷却速度 V_c :
 $2^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以上且 $15^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以下

[0158] 以热轧钢板的板厚中心部的温度计,从冷却开始到后述的冷却停止温度($550 \sim 680^{\circ}\text{C}$)为止的温度范围中的平均冷却速度 V_c 小于 $2^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时,铁素体的成核频率减少,铁素体晶粒粗大化,因此得不到期望的强度。另外,难以将本发明中作为目标的平均结晶粒径为 $40.0\mu\text{m}$ 以上的晶粒的面积率控制在期望的范围。另一方面,平均冷却速度 V_c 超过 $15^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时,生成大量的上贝氏体,得不到本发明中的目标屈服比。平均冷却速度 V_c 优选为 $4^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以上、更优选为 $5^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以上。优选为 $12^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以下、更优选为 $10^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以下。

[0159] $V_s/V_c \leq 2.0$

[0160] 板表层部的从冷却开始到冷却停止温度($550 \sim 680^{\circ}\text{C}$)的平均冷却速度 V_s ($^{\circ}\text{C}/\text{s}$)超过板厚中心部的至冷却停止为止的平均冷却速度 V_c ($^{\circ}\text{C}/\text{s}$)的2.0倍时,在板表层部生成大量贝氏体,得不到本发明的目标钢组织,得不到期望的屈服比和夏比吸收能。

[0161] 优选为 $V_s/V_c \leq 1.8$ 、更优选为 $V_s/V_c \leq 1.7$ 。下限没有特别规定,由于热轧钢板从表背面开始冷却,因此板表层部的至冷却停止为止的平均冷却速度 V_s 为板厚中心部的至冷却停止为止的平均冷却速度 V_c 以上的值($1.0 \leq V_s/V_c$)。在此,板表层部的至冷却停止为止的平均冷却速度 V_s 使用距板表面或板背面为1.0mm内部的位置的平均冷却速度中较大的值。

[0162] 需要说明的是,在本发明中,从抑制结晶粒径变得粗大的观点出发,优选精轧结束后立即开始冷却。

[0163] 空冷时间:5s以上

[0164] 在冷却工序中,将热轧钢板空冷5s以上,由此热轧板的板表层部与板厚中心部的温度差变小,能够得到具有本发明中的目标机械特性的热轧钢板。空冷时间小于5s时,板表层部与板厚中心部的温度差变大,得不到期望的屈服比。空冷时间优选为10s以上。上限没有特别规定,但空冷时间超过100s时,生产率显著降低,因此空冷时间优选为100s以下。更优选为90s以下。需要说明的是,空冷在从冷却开始到冷却停止的期间进行。

[0165] 空冷没有特别限定,是指在板表层部以 $0.01 \sim 0.90^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 进行的冷却。

[0166] 冷却停止温度: 550°C 以上且 680°C 以下

[0167] 以热轧板(原材钢板)的板厚中心温度计,冷却停止温度低于 550°C 时,在冷却中在热轧板的长度方向和/或宽度方向上容易产生温度不均,有可能机械特性产生偏差。另一方面,以热轧板的板厚中心温度计,冷却停止温度超过 680°C 时,铁素体晶粒粗大化,得不到期望的平均结晶粒径。冷却停止温度以热轧板的板厚中心温度计优选为 560°C 以上、更优选为 580°C 以上。优选为 660°C 以下、更优选为 650°C 以下。

[0168] 需要说明的是,在本发明中,平均冷却速度是通过((冷却前(冷却开始时)的热轧钢板的温度(°C)-冷却停止温度(550~680°C)为止的热轧钢板的温度(°C))/冷却时间(s))求出的值,可以根据通过传热分析得到的热轧钢板截面内的温度分布计算出。计算该平均冷却速度时使用的冷却时间中也包括进行空冷的时间。

[0169] 冷却方法可以列举从喷嘴喷射水等水冷、利用冷却气体的喷射进行的冷却等。在本发明中,优选以热轧板的两面在相同条件下进行冷却的方式对热轧板两面实施冷却操作(处理)。另外,为了得到上述冷却速度,调整冷却水或冷却气体的量、压力、喷射时间和角度以及热轧钢板的输送速度等。如果始终向热轧钢板表面的特定位置喷射冷却水或冷却气体、或者向热轧钢板表面瞬间喷射大量的冷却水或冷却气体,则钢板表面被急速冷却,因此板表层部与板厚中心部的冷却速度之差变大。因此,通过以热轧钢板的特定位置不被急速冷却的方式适当地配置喷射冷却水或冷却气体的喷嘴的位置、适当地调整冷却水或冷却气体的喷射量和时间,能够将板表层部与板厚中心部的冷却速度之差控制在规定的范围内。可以以得到本发明中规定的冷却速度的方式预先进行传热分析而决定热轧钢板的冷却处理的条件下,使该条件反映于制造条件。

[0170] (卷取工序)

[0171] 冷却工序后,在卷取工序中,对热轧钢板进行卷取,然后进行放冷。卷取工序中,从钢板组织的观点出发,以热轧钢板的板厚中心温度计,将卷取温度设定为550°C以上且680°C以下进行卷取。卷取温度低于550°C时,有时在钢板表面生成大量的上贝氏体,面积率超过5%。卷取温度超过680°C时,铁素体晶粒粗大化,并且得不到期望的结晶粒径。卷取温度更优选为570°C以上、进一步优选为580°C以上。另外,卷取温度更优选为660°C以下、进一步优选为650°C以下。

[0172] <矩形钢管>

[0173] 本发明的矩形钢管以上述本发明的热轧钢板作为原材。对于本发明的矩形钢管而言,在管轴方向上,在平板部,屈服强度为295MPa以上,拉伸强度为400MPa以上,示出0.90以下的低屈服比,在平板部,可以具备-20°C的试验温度下的夏比冲击试验的吸收能为40J以上、延脆转变温度为-5°C以下的低温韧性,例如可以适合用作气温为冰点下的寒冷地区等低温环境下的建筑物的结构构件。

[0174] 作为本发明的矩形钢管的制造方法,在制管工序中,将热轧钢板通过辊轧成形制成圆筒状的开口管(圆形钢管),将其对接部分进行电阻焊接。然后,通过配置于圆形钢管的上下左右的辊,在保持圆筒状的状态下在管轴方向上施加百分之几的拉深,成形为矩形而得到矩形钢管。

[0175] 例如,将卷状的本发明的热轧钢板通过使用辊的冷辊轧成形法成形为圆形而制造圆形钢管后,将圆形钢管通过使用辊的辊轧成形法成形为矩形而制造矩形钢管。如果进行向圆形钢管的冷辊轧成形,则在管轴方向上导入大的加工应变,因此存在管轴方向的屈服比容易升高、韧性容易降低的问题。但是,对于本发明的矩形钢管而言,由于以上述本发明的热轧钢板作为原材,因此抑制了屈服比的升高等,例如,即使是20mm以上的厚壁的钢管,也能够具备低屈服比和低温韧性。

[0176] 需要说明的是,本发明的矩形钢管不限于在管轴方向垂直剖视图中各个边长全相等((长边长度/短边长度)的值为1.0)的矩形钢管,也包含(长边长度/短边长度)的值超过

1.0的矩形钢管。但是,矩形钢管的(长边长度/短边长度)的值超过2.5时,在长边侧容易产生局部压曲,管轴方向的压缩强度降低。因此,矩形钢管的(长边长度/短边长度)的值优选设定为1.0以上且2.5以下。(长边长度/短边长度)的值更优选为1.0以上且2.0以下。

[0177] 通过如上所述,制造本发明的矩形钢管。根据本发明,可以得到平板部的屈服强度为295MPa以上、平板部的拉伸强度为400MPa以上、平板部的屈服比为0.90以下、平板部在-20°C下的夏比吸收能为40J以上、平板部的延脆转变温度为-5°C以下的矩形钢管。本发明的矩形钢管的延脆转变温度低于0°C,因此能够适合用作气温为冰点下的寒冷地区的建筑物的结构构件。

[0178] <建筑物>

[0179] 图1是示出本发明的建筑物的一例的示意图。

[0180] 本发明的建筑物使用上述本发明的矩形钢管(低屈服比矩形钢管)1作为柱材。符号4、5、6、7依次表示大梁、小梁、隔板、间柱。

[0181] 如上所述,本发明的矩形钢管的平板部的机械特性优良。因此,使用了该矩形钢管作为柱材的本发明的建筑物发挥优良的抗震性能。

[0182] 实施例

[0183] 以下,基于实施例进一步详细地说明本发明。需要说明的是,本发明不限于以下的实施例。

[0184] 对具有表1所示的成分组成的钢水进行铸造而制成钢坯。使得到的钢坯经过表2所示条件的热轧工序、冷却工序、卷取工序,制成热轧钢板。卷取工序后,进行以下所示的制管工序中的制管处理。需要说明的是,在热轧工序中规定的930°C以下的合计压下率是仅精轧中的合计压下率。

[0185]

[表1]

钢种	成分组成(质量%) ※1																
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Nb	Ti	V	Cr	Mo	Cu	Ni	Ca	B	Mn/Si
A	0.13	0.11	0.31	0.017	0.003	0.025	0.0032	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.8
B	0.12	0.16	0.37	0.015	0.002	0.033	0.0028	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.3
C	0.09	0.18	0.62	0.022	0.003	0.019	0.0047	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.4
D	0.17	0.34	0.98	0.026	0.004	0.022	0.0038	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.9
E	0.13	0.14	0.41	0.021	0.004	0.037	0.0025	0.010	-	-	-	-	-	-	-	-	2.9
F	0.07	0.30	0.36	0.017	0.003	0.019	0.0041	0.017	-	-	-	-	-	-	-	-	1.2
G	0.15	0.22	0.56	0.026	0.003	0.031	0.0033	-	0.008	-	-	-	-	-	-	-	2.5
H	0.20	0.12	0.36	0.016	0.004	0.025	0.0030	-	0.016	-	-	-	-	-	-	-	3.0
I	0.13	0.21	0.52	0.020	0.005	0.028	0.0025	-	-	0.02	-	-	-	-	-	-	2.5
J	0.11	0.28	0.74	0.018	0.003	0.036	0.0042	-	-	0.08	-	-	-	-	-	-	2.6
K	0.14	0.16	0.49	0.024	0.003	0.019	0.0037	-	-	-	0.17	-	-	-	-	-	3.1
L	0.19	0.21	0.37	0.033	0.004	0.022	0.0033	-	-	-	0.41	-	-	-	-	-	1.8
M	0.11	0.31	0.50	0.024	0.003	0.023	0.0027	-	-	-	-	0.24	-	-	-	-	1.6
N	0.14	0.15	0.39	0.033	0.004	0.034	0.0030	-	-	-	-	0.43	-	-	-	-	2.6
O	0.12	0.27	0.62	0.037	0.003	0.039	0.0046	-	-	-	-	-	0.12	-	-	-	2.3
P	0.13	0.21	0.71	0.031	0.004	0.041	0.0041	-	-	-	-	-	0.22	-	-	-	3.4
Q	0.18	0.11	0.33	0.017	0.004	0.017	0.0044	-	-	-	-	-	-	0.11	-	-	3.0
R	0.13	0.27	0.55	0.026	0.004	0.044	0.0037	-	-	-	-	-	-	0.24	-	-	2.0
S	0.11	0.30	1.00	0.034	0.005	0.038	0.0031	-	-	-	-	-	-	-	0.0040	-	3.3
T	0.15	0.18	0.48	0.027	0.003	0.037	0.0033	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.7
U	0.13	0.32	0.25	0.026	0.003	0.031	0.0035	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.8
V	0.19	0.07	0.55	0.032	0.004	0.026	0.0027	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.9
W	0.35	0.13	0.42	0.033	0.005	0.029	0.0029	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.2
X	0.11	0.63	0.63	0.025	0.005	0.022	0.0025	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0
Y	0.09	0.35	1.20	0.031	0.003	0.021	0.0031	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.4
Z	0.16	0.15	0.37	0.027	0.004	0.031	0.0027	0.050	-	-	-	-	-	-	-	-	2.5
AA	0.18	0.12	0.34	0.034	0.005	0.020	0.0033	-	0.044	-	-	-	-	-	-	-	2.8
AB	0.13	0.28	0.61	0.027	0.003	0.025	0.0031	-	-	0.29	-	-	-	-	-	-	2.2
AC	0.10	0.26	0.52	0.041	0.003	0.033	0.0027	-	-	-	2.51	-	-	-	-	-	2.0
AD	0.14	0.17	0.42	0.042	0.004	0.036	0.0025	-	-	-	-	3.22	-	-	-	-	2.5
AE	0.17	0.14	0.49	0.036	0.003	0.036	0.0021	-	-	-	-	-	1.67	-	-	-	3.5
AF	0.20	0.15	0.39	0.029	0.005	0.028	0.0028	-	-	-	-	-	-	1.79	-	-	2.6
AG	0.15	0.19	0.29	0.030	0.006	0.029	0.0030	-	-	-	-	-	-	-	0.0313	-	1.5
AH	0.09	0.20	0.55	0.025	0.004	0.023	0.0035	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.8
AI	0.05	0.14	0.33	0.021	0.003	0.032	0.0036	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.4

※1 成分组成中, 上述以外为余量Fe和不可避免的杂质。

[表2]

钢板 No.	钢种	热轧工序				冷却工序					卷取工序	热轧钢板的板厚 (mm)
		加热温度 (°C)	粗轧结束温度 (°C)	精轧结束温度 (°C)	930°C 以下的合计压下率 (%)	板厚中心部的平均冷却速度 Vc (°C/s)	板表层部的平均冷却速度 Vs (°C/s)	Vs/Vc	冷却停止温度 (°C)	空冷时间 (s)	卷取温度 (°C)	
1	A	1200	990	825	52	10	14	1.4	590	32	570	24
2	B	1200	950	800	50	9	10	1.1	550	7	550	28
3	C	1150	1000	795	48	2	4	2.0	620	45	600	22
4	D	1250	975	805	58	13	14	1.1	560	14	555	26
5	E	1150	880	760	55	12	13	1.1	590	28	585	32
6	F	1250	860	795	43	11	14	1.3	555	6	550	26
7	G	1200	1100	810	51	7	9	1.3	670	55	665	22
8	H	1150	1040	825	59	8	9	1.1	580	22	575	25
9	I	1200	1055	840	54	5	7	1.4	555	18	555	24
10	J	1250	950	810	48	6	11	1.8	620	38	600	25
11	K	1200	1015	795	49	9	9	1.0	670	67	640	20
12	L	1150	915	800	46	10	10	1.0	580	31	565	24
13	M	1250	970	805	50	3	6	2.0	595	10	570	20
14	N	1200	860	765	51	14	15	1.1	680	89	675	20
15	O	1250	1035	815	52	15	16	1.1	650	64	630	22
16	P	1150	1135	845	55	9	9	1.0	645	58	630	26
17	Q	1300	1150	850	47	7	8	1.1	600	62	585	25
18	R	1300	1075	835	49	8	9	1.1	615	47	600	28
19	S	1200	1010	820	41	9	12	1.3	605	36	595	32
20	T	1300	1060	835	59	11	12	1.1	555	46	550	24
21	U	1200	995	795	57	14	18	1.3	575	50	555	20
22	V	1200	935	780	56	7	8	1.1	620	62	605	20
23	W	1200	1015	800	55	8	14	1.8	590	33	580	26
24	X	1150	865	805	46	9	10	1.1	605	27	590	20
25	Y	1150	970	810	49	10	11	1.1	560	17	550	22
26	Z	1150	955	795	40	13	14	1.1	580	41	570	28
27	AA	1250	1070	810	41	7	12	1.7	660	87	645	25
28	AB	1250	1085	800	52	9	10	1.1	610	64	585	22
29	AC	1150	1005	805	46	12	13	1.1	605	40	585	26
30	AD	1150	910	815	45	11	13	1.2	590	39	570	24
31	AE	1300	1100	835	50	10	14	1.4	600	44	580	20
32	AF	1300	1125	835	53	8	12	1.5	580	21	565	28
33	AG	1200	970	805	51	12	15	1.3	630	33	610	32
34	AH	1200	950	790	55	11	14	1.3	610	46	595	24
35	AI	1200	985	760	52	6	10	1.7	585	20	570	26
36	C	1350	1000	795	48	2	4	2.0	620	43	600	22
37	C	1150	1100	925	35	2	4	2.0	620	59	600	22
38	C	1150	920	795	68	2	4	2.0	620	56	600	22
39	C	1150	1000	795	48	25	35	1.4	620	3	600	22
40	C	1150	1000	795	48	12	30	2.5	620	45	600	22
41	C	1150	1000	795	48	2	4	2.0	540	11	500	22
42	C	1150	1000	815	48	2	4	2.0	770	96	750	22
43	C	1150	1000	795	48	1	2	2.0	670	59	660	22
44	C	1150	1000	795	70	30	36	1.2	560	32	550	20
45	C	1150	1000	795	48	15	29	1.9	570	2	550	22

[0186]

[0187] 将得到的热轧钢板通过辊轧成形而成为圆筒状的圆形钢管,将其对接部分进行电阻焊接。然后,通过配置于圆形钢管的上下左右的辊,成形为矩形(在管轴方向垂直剖视图中为正方形),得到具有角部和平板部的表4所示的边长(mm)和壁厚(mm)的辊轧成形矩形钢管。

[0188] 从得到的热轧钢板截取试验片,实施以下所示的组织观察、硬度测定、拉伸试验、夏比冲击试验。

[0189] [组织观察]

[0190] 组织观察用试验片从热轧钢板的宽度方向中央部且板厚 $t/2$ 的位置(t :板厚)(本发明中的板厚中心部)和板表背面中的钢板背面(热轧时的下表面)的位置截取。钢板表面(热轧时的上表面)和钢板背面(热轧时的下表面)的组织同等,从钢板表背面中的任一面截取组织观察用试验片均可,在此,将组织观察用试验片的截取位置统一为钢板背面(热轧时的下表面)。以观察面为与热轧时的轧制方向平行的垂直截面(观察面的法线方向为板宽方

向的截面)的方式进行研磨后,进行硝酸乙醇溶液腐蚀,从而制作。

[0191] 需要说明的是,关于最终得到的钢板的两面中的哪个面为背面,在冷却后的卷取中,以热轧的表面侧(上表面侧)为热轧卷的外侧的方式进行卷取,因此如果将卷取后的热轧钢板的一部分切断则得到圆弧状的钢板,因此,根据圆弧状的钢板的形状来辨别热轧卷的外侧和内侧,确定轧制时的表背面。

[0192] 关于组织观察,使用光学显微镜(倍率:1000倍)或扫描电子显微镜(SEM、倍率:1000倍),对热轧钢板的板厚 $t/2$ 位置(板厚中心部)和钢板背面(板表背面)的组织进行观察、拍摄。根据得到的光学显微镜图像和SEM图像,求出铁素体、珠光体、伪珠光体、上贝氏体的面积率。

[0193] 各组织的面积率在5个视野进行观察,以各视野得到的值的平均值的方式计算出。在此,将通过组织观察得到的面积率作为各组织的面积率。关于铁素体、珠光体、伪珠光体、上贝氏体的面积率,使用光学显微镜图像或SEM图像,根据以下所示的形状和颜色辨别各相并计算出各相的面积,除以光学显微镜图像或SEM图像的整体的面积,计算出各相的面积率。

[0194] 在此,铁素体是由扩散相变得到的产物,呈现位错密度低且基本恢复的组织。铁素体包含多边形铁素体和准多边形铁素体。珠光体是渗碳体和铁素体以层状排列的组织,伪珠光体是在铁素体中确认到以点列状排列的渗碳体的组织。另外,上贝氏体是位错密度高的板条状铁素体与渗碳体的复相组织。除了上述形状以外,根据铁素体为白色、珠光体为黑色、伪珠光体为黑色或灰色、上贝氏体为白色或灰色来辨别。

[0195] 另外,关于平均结晶粒径(平均等效圆直径),以板厚 $t/2$ 位置(板厚中心部)作为对象,使用SEM/EBSD法进行测定。测定区域设为 $500\mu\text{m} \times 1000\mu\text{m}$ ($=0.5\text{mm}^2$),测定步长设为 $0.5\mu\text{m}$ 。关于结晶粒径,求出相邻的晶粒之间的取向差,将取向差为 15° 以上的边界作为晶界进行测定。根据得到的晶界计算出各晶粒的粒径(等效圆直径),求出其算术平均,作为平均结晶粒径(平均等效圆直径)。另外,计算出等效圆直径为 $40.0\mu\text{m}$ 以上的晶粒的面积之和,除以测定区域的面积(0.5mm^2),由此计算出等效圆直径为 $40.0\mu\text{m}$ 以上的晶粒的面积率。等效圆直径和晶粒的面积的计算通过使用EDAX公司制造的OIM Analysis对通过SEM/EBSD法的测定得到的数据进行分析而得到。

[0196] 另外,晶粒的长径和短径通过JIS R 1670(2006)记载的方法进行测定,计算出长径与短径之比($=$ 长径/短径)。测定长径与短径之比($=$ 长径/短径)为3.0以上的晶粒的数量,除以测定区域的面积(0.5mm^2),由此计算出长径与短径之比为3.0以上的晶粒的个数(个/ mm^2)。需要说明的是,在结晶粒径分析和晶粒个数的测定中,结晶粒径小于 $2.0\mu\text{m}$ 的晶粒作为测定噪音从分析对象中排除。

[0197] [拉伸试验]

[0198] 以拉伸方向与轧制方向平行的方式从得到的热轧钢板裁取JIS5号拉伸试验片。对于裁取的拉伸试验片,依据JIS Z 2241(2011)的规定实施拉伸试验,测定屈服强度YS、拉伸强度TS,计算出由(屈服强度)/(拉伸强度)定义的屈服比。需要说明的是,试验片根数设为各2根,计算出它们的平均值,求出YS、TS、屈服比。

[0199] [夏比冲击试验]

[0200] 使用在得到的热轧钢板的板厚 t 的 $t/2$ 位置(板厚中心部)以试验片长度方向与轧

制方向平行的方式裁取的依据JIS Z 2242(2018)的规定的V型缺口标准试验片。依据JIS Z 2242(2018)的规定,在试验温度为-80℃、-60℃、-40℃、-20℃、0℃的条件下实施夏比冲击试验。需要说明的是,试验片根数在各试验温度下为3根,求出延脆转变温度和吸收能的平均值(J)。

[0201] [硬度]

[0202] 依据JIS Z 2244(2020)的规定,以9.8N(1kgf)的试验力测定维氏硬度。进行各10个点测定,计算出除最大值和最小值以外的8个点的平均值,将平均值(8个点的维氏硬度的合计/8)作为该试验片的硬度。试验片使用上述组织观察用试验片,在板厚方向上距钢板表背面为1.0mm内部的位置和板厚中心部,进行镜面研磨后,进行硬度测定。对于在板厚方向上距钢板表背面为1.0mm内部的位置的硬度,将较大的硬度作为在板厚方向上距钢板表背面为1.0mm内部的位置的硬度。

[0203] 另外,计算出在板厚方向上距钢板表背面为1.0mm内部的位置的硬度与板厚中心部的硬度之差(硬度差)。

[0204] 将得到的结果示于表3中。

[0205]

热轧钢板

钢板 No.	钢种	板厚中心部的						板厚中心部的结晶粒分布						板表面(板背面)的面积率(%) $\times 2$						机械特性						备注
		面积率(%) $\times 2$			平均结晶粒径(μm)			粒径 $40.0\mu\text{m}$ 以上的面积率(%)			长径/短径为 3.0 以上的个数($\text{个}/\text{mm}^2$)			F	P	DP	B	DP	P + DP	硬度差(HV)	屈服强度YS(MPa)	屈服强度TS(MPa)	拉伸比	-20°C 下的夏比吸收能(J)	延脆转变温度($^\circ\text{C}$)	
		F	DP	B	DP	F	P	DP	F	P	DP	F	P	DP	B	DP	F	P	DP							
1	A	87	4	6	3	10	15.3	6	9.5	88	4	5	3	9	173	28	275	445	0.62	157	-52	未发明例				
2	B	86	5	7	2	12	17.9	5	7.0	85	5	7	3	12	169	26	268	440	0.61	140	-48	未发明例				
3	C	90	4	5	1	9	21.3	11	10.0	90	3	5	2	8	155	16	264	427	0.62	137	-45	未发明例				
4	D	80	6	10	4	16	20.1	3	12.5	82	5	9	4	14	153	21	283	407	0.70	124	-40	未发明例				
5	E	86	4	6	4	10	12.9	6	10.0	86	4	6	4	10	168	28	268	428	0.63	155	-55	未发明例				
6	F	87	3	7	3	10	19.9	9	10.5	88	3	6	3	9	159	26	257	411	0.63	146	-49	未发明例				
7	G	86	6	8	0	14	25.4	6	13.5	86	5	8	1	13	168	14	27	258	433	0.60	162	-61	未发明例			
8	H	75	10	12	3	22	20.7	0	20.0	75	10	11	4	21	169	16	276	457	0.60	124	-48	未发明例				
9	I	84	2	11	3	13	18.6	3	15.6	85	6	6	3	12	155	16	273	420	0.65	166	-60	未发明例				
10	J	86	5	7	2	12	23.2	7	18.0	86	4	7	3	11	161	20	266	434	0.62	145	-38	未发明例				
11	K	87	7	6	0	13	25.7	6	18.5	87	7	6	0	13	163	25	263	423	0.62	133	-33	未发明例				
12	L	72	10	14	4	24	19.8	0	11.5	75	9	12	4	21	172	20	269	461	0.58	119	-31	未发明例				
13	M	85	4	7	4	11	16.7	9	12.5	85	3	7	5	10	165	23	256	428	0.60	147	-36	未发明例				
14	N	89	6	5	0	11	28.9	15	5.5	89	5	5	1	10	164	22	261	430	0.61	131	-34	未发明例				
15	O	90	2	8	0	10	20.6	12	9.0	91	4	5	0	9	165	29	254	413	0.62	130	-35	未发明例				
16	P	90	5	10	3	19	17.9	1	7.5	90	4	5	1	9	164	30	257	407	0.63	118	-27	未发明例				
17	Q	78	9	10	3	19	17.9	1	16.5	79	8	9	4	17	178	14	249	449	0.60	120	-30	未发明例				
18	R	86	5	8	1	13	16.4	8	10.0	86	4	8	2	12	168	14	27	267	431	0.62	125	-32	未发明例			
19	S	87	4	5	4	9	15.5	7	9.5	88	3	5	4	8	171	14	29	270	430	0.63	137	-30	未发明例			
20	T	84	6	6	4	12	13.3	4	19.0	84	6	6	4	12	165	20	275	438	0.63	129	-33	未发明例				
21	U	92	2	3	3	5	14.8	8	10.5	91	2	3	4	5	158	14	269	343	0.78	132	-35	比较例				
22	V	71	12	16	1	28	19.0	7	21.0	72	10	16	2	26	160	16	280	438	0.64	86	-15	比较例				
23	W	57	14	19	10	33	20.3	23	19.5	60	12	17	11	23	157	22	325	413	0.79	70	-12	比较例				
24	X	75	5	17	3	22	21.6	19	20.5	79	3	15	3	18	168	14	286	440	0.65	89	-16	比较例				
25	Y	81	3	4	12	7	18.3	0	43.5	80	2	4	14	6	195	61	314	414	0.76	183	-62	比较例				
26	Z	78	5	7	10	12	16.7	0	39.5	79	5	6	10	11	189	14	296	423	0.70	62	-10	比较例				
27	AA	76	7	8	9	15	21.7	0	40.0	75	7	7	11	14	181	44	280	419	0.67	55	-8	比较例				
28	AB	82	4	7	7	11	17.9	0	32.5	82	3	7	8	10	178	44	277	424	0.65	77	-12	比较例				
29	AC	80	5	5	10	10	20.3	0	38.5	78	4	6	12	10	192	14	284	433	0.66	85	-10	比较例				
30	AD	80	4	7	9	11	19.8	0	33.0	78	3	8	11	11	186	46	291	428	0.68	69	-9	比较例				
31	AE	80	11	7	2	18	18.9	3	17.5	81	6	10	3	16	176	36	277	428	0.65	92	-17	比较例				
32	AF	74	12	4	10	16	12.8	0	35.5	73	7	9	11	16	195	14	304	455	0.67	103	-19	比较例				
33	AG	86	6	8	0	14	20.5	8	23.0	86	6	7	1	13	175	39	251	408	0.62	91	-15	比较例				
34	AH	77	4	6	13	10	19.0	0	37.0	77	4	5	14	9	184	30	264	407	0.78	144	-4	比较例				
35	AI	86	3	1	0	4	34.2	21	4.5	92	4	2	6	6	123	15	236	389	0.61	54	-4	比较例				
36	CA	87	4	6	3	10	35.8	25	20.5	89	3	6	2	9	147	15	236	389	0.61	89	-14	比较例				
37	CB	89	5	5	1	10	33.6	24	21.0	90	4	5	1	9	152	20	257	407	0.63	91	-15	比较例				
38	CC	87	4	5	4	9	25.4	18	32.5	87	4	4	5	8	159	17	276	440	0.63	101	-16	比较例				
39	C	72	3	4	21	7	15.2	0	21.5	69	2	4	25	6	198	46	346	443	0.78	159	-55	比较例				
40	C	80	3	5	12	8	17.6	3	16.0	79	3	4	14	7	188	43	335	436	0.77	96	-17	比较例				
41	C	83	4	5	8	9	18.7	5	13.0	83	3	5	9	8	181	40	326	430	0.76	139	-46	比较例				
42	C	85	6	9	0	15	38.7	0	4.5	86	6	2	1	13	125	5	246	354	0.69	69	-10	比较例				
43	C	95	4	1	0	5	33.7	22	6.5	91	6	2	1	8	135	15	354	456	0.77	169	-62	比较例				
44	C	70	4	2	24	6	8.9	0	25.5	65	5	2	28	7	203	49	331	421	0.79	145	-49	比较例				
45	C	65	7	6	22	13	15.3	0	26.5	62	7	5	28	12	187	138	421	0.79	145	-49	比较例					

※2 P: 铁素体、P: 珠光体、DP: 伪珠光体、B: 上贝氏体

[0206] 另外,从得到的矩形钢管(热轧成形矩形钢管)截取试验片,实施以下所示的拉伸试验、夏比冲击试验。

[0207] [拉伸试验]

[0208] 图2是示出平板部的拉伸试验片的截取位置的示意图。

[0209] 拉伸试验中,如图2所示,以拉伸方向与管轴方向平行的方式,从矩形钢管的平板部截取JIS5号拉伸试验片。对于裁取的拉伸试验片,依据JIS Z 2241(2011)的规定实施拉

伸试验,测定屈服强度YS、拉伸强度TS,计算出由(屈服强度)/(拉伸强度)定义的屈服比。需要说明的是,平板部的拉伸试验片从将矩形钢管的焊接部设为12点钟方向时的3点钟的边部中的、平板部的宽度中央部的位置(图2中,参照符号X)截取。需要说明的是,试验片根数设为各2根,计算出它们的平均值,求出YS、TS、屈服比。

[0210] [夏比冲击试验]

[0211] 图3是示出夏比试验片的截取位置的示意图。

[0212] 夏比冲击试验中,使用如图3所示在距矩形钢管的管外表面为壁厚 t 的 $t/4$ 位置以试验片长度方向与管轴方向平行的方式从矩形钢管的平板部裁取的依据JIS Z 2242(2018)的规定的V型缺口标准试验片(图3中,参照符号Y)。依据JIS Z 2242(2018)的规定,在试验温度为 -60°C 、 -40°C 、 -20°C 、 0°C 、 $+20^{\circ}\text{C}$ 的条件下实施夏比冲击试验。需要说明的是,试验片根数在各试验温度下为3根,求出延脆转变温度和吸收能的平均值(J)。

[0213] 将得到的结果示于表4中。

[表4]

钢板 No.	矩形钢管							备注
	一边的 长度 (mm)	壁厚 (mm)	机械特性				延脆 转变温度 (°C)	
			屈服 强度 YS (MPa)	拉伸 强度 TS (MPa)	屈服 比	-20°C下的 夏比 吸收能		
1	300	24	390	462	0.84	132	-42	本发明例
2	450	28	407	458	0.89	118	-26	本发明例
3	300	22	327	438	0.75	109	-21	本发明例
4	500	26	351	422	0.83	103	-23	本发明例
5	550	32	399	446	0.89	121	-28	本发明例
6	450	26	350	423	0.83	108	-20	本发明例
7	500	22	355	447	0.79	106	-22	本发明例
8	500	25	382	467	0.82	131	-45	本发明例
9	400	24	357	426	0.84	90	-10	本发明例
10	350	25	401	444	0.90	106	-27	本发明例
11	200	20	385	432	0.89	112	-26	本发明例
12	200	24	334	479	0.70	119	-29	本发明例
13	250	20	330	439	0.75	120	-30	本发明例
14	300	20	359	448	0.80	105	-24	本发明例
15	400	22	375	426	0.88	98	-15	本发明例
16	450	26	346	418	0.83	96	-17	本发明例
17	400	25	382	465	0.82	104	-21	本发明例
18	450	28	404	448	0.90	111	-15	本发明例
19	550	32	386	440	0.88	127	-31	本发明例
20	300	24	377	449	0.84	106	-13	本发明例
21	250	20	339	361	0.94	102	-12	比较例
22	250	20	359	444	0.81	22	8	比较例
23	400	26	401	423	0.95	17	10	比较例
24	300	20	384	454	0.85	21	7	比较例
25	350	22	401	433	0.93	101	-26	比较例
26	400	28	384	439	0.87	38	-1	比较例
27	400	25	371	432	0.86	31	3	比较例
28	350	22	374	434	0.86	39	-4	比较例
29	550	26	357	450	0.79	37	-2	比较例
30	550	24	360	441	0.82	28	0	比较例
31	500	20	329	446	0.74	38	-2	比较例
32	550	28	389	469	0.83	25	5	比较例
33	550	32	375	427	0.88	30	2	比较例
34	300	24	394	417	0.94	105	-24	比较例
35	300	26	262	377	0.69	36	10	比较例
36	300	22	285	402	0.71	35	2	比较例
37	300	22	319	420	0.76	37	-2	比较例
38	300	22	342	446	0.77	33	0	比较例
39	300	22	441	457	0.96	118	-32	比较例
40	300	22	415	446	0.93	31	-3	比较例
41	300	22	402	441	0.91	121	-33	比较例
42	300	22	275	389	0.71	26	4	比较例
43	300	22	283	396	0.71	55	2	比较例
44	300	20	465	478	0.97	125	-44	比较例
45	300	22	399	437	0.91	112	-30	比较例

[0215] 表3、4中,钢No.1~20是本发明例,钢No.21~45是比较例。

[0216] 如表3所示,本发明例的热轧钢板均是:板厚中心部和板表面部的钢组织包含合计面积率为6~25%的珠光体和伪珠光体以及面积率为5%以下的上贝氏体,并且,在板厚中心部,将由相邻的晶体的取向差为15°以上的边界围成的区域作为晶粒时,板厚中央部的钢组织的平均结晶粒径为10.0~30.0 μm ,等效圆直径为40.0 μm 以上的晶粒的面积率为20%以下,

长径与短径之比(=(长径)/(短径))为3.0以上的晶粒的个数为30个/mm²以下,并且,钢板表面与板厚中心部的硬度差为40HV以下。此外,屈服强度为250MPa以上,拉伸强度为400MPa以上,屈服比为0.75以下,-20℃下的夏比吸收能为100J以上,延脆转变温度为-20℃以下。

[0217] 另外,如表4所示,使用本发明例的热轧钢板制造的矩形钢管均是:平板部的屈服强度为295MPa以上,平板部的拉伸强度为400MPa以上,平板部的屈服比为0.90以下,平板部在-20℃下的夏比吸收能为40J以上,平板部的延脆转变温度为-5℃以下。

[0218] 比较例的No.21(钢U)中,Mn/Si=0.8,在本发明的范围外,因此珠光体和伪珠光体的合计面积率小于6%,拉伸强度和屈服比没有达到期望的值。

[0219] 比较例的No.22(钢V)中,Mn/Si=7.9,在本发明的范围外,因此珠光体和伪珠光体的合计面积率超过25%,-20℃下的夏比吸收能和延脆转变温度没有达到期望的值。

[0220] 比较例的No.23(钢W)中,C的含量超出本发明的范围,因此第二相的面积率在本发明的范围外,另外,结晶粒径(等效圆直径)40.0μm以上的晶粒的面积率超过20%,屈服比、-20℃下的夏比吸收能和延脆转变温度没有达到期望的值。

[0221] 比较例的No.24(钢X)中,Si的含量超出本发明的范围,因此伪珠光体的面积率过度增加,-20℃下的夏比吸收能和延脆转变温度没有达到期望的值。

[0222] 比较例的No.25(钢Y)中,Mn的含量超出本发明的范围,因此上贝氏体的面积率超过5%。其结果是,长径与短径之比为3.0以上的晶粒的个数超过30个/mm²,硬度差超过40HV,屈服比没有达到期望的值。

[0223] 比较例的No.26(钢Z)中,Nb的含量超出本发明的范围,上贝氏体的量超过5%。其结果是,长径与短径之比为3.0以上的晶粒的个数超过30个/mm²,硬度差超过40HV,-20℃下的夏比吸收能和延脆转变温度没有达到期望的值。

[0224] 比较例的No.27(钢AA)中,Ti的含量超出本发明的范围,因此上贝氏体的面积率超过5%,另外,认为形成了粗大的碳化物、氮化物。其结果是,长径与短径之比为3.0以上的晶粒的个数超过30个/mm²,硬度差超过40HV,其结果是,-20℃下的夏比吸收能和延脆转变温度没有达到期望的值。

[0225] 比较例的No.28(钢AB)中,V的含量超出本发明的范围,因此上贝氏体的面积率超过5%。其结果是,长径与短径之比为3.0以上的晶粒的个数超过30个/mm²,硬度差超过40HV,-20℃下的夏比吸收能和延脆转变温度没有达到期望的值。

[0226] 比较例的No.29(钢AC)中,Cr的含量超出本发明的范围,因此上贝氏体的面积率超过5%。其结果是,长径与短径之比为3.0以上的晶粒的个数超过30个/mm²,硬度差超过40HV,-20℃下的夏比吸收能和延脆转变温度没有达到期望的值。

[0227] 比较例的No.30(钢AD)中,Mo的含量超出本发明的范围,因此上贝氏体的面积率超过5%。其结果是,长径与短径之比为3.0以上的晶粒的个数超过30个/mm²,硬度差超过40HV,-20℃下的夏比吸收能和延脆转变温度没有达到期望的值。

[0228] 比较例的No.31(钢AE)中,Cu的含量超出本发明的范围,因此认为Cu粗大地析出。其结果是,-20℃下的夏比吸收能和延脆转变温度没有达到期望的值。

[0229] 比较例的No.32(钢AF)中,Ni的含量超出本发明的范围,因此上贝氏体的面积率超过5%。其结果是,长径与短径之比为3.0以上的晶粒的个数超过30个/mm²,硬度差超过40HV,延脆转变温度没有达到期望的值。

[0230] 比较例的No.33(钢AG)中,Ca的含量超出本发明的范围,因此认为形成了Ca氧化物簇。其结果是,-20°C下的夏比吸收能和延脆转变温度没有达到期望的值。

[0231] 比较例的No.34(钢AH)中,B的含量超出本发明的范围,因此上贝氏体的面积率超过5%。其结果是,长径与短径之比为3.0以上的晶粒的个数超过30个/mm²,硬度差超过40HV,屈服比没有达到期望的值。

[0232] 比较例的No.35(钢AI)中,C的含量低于本发明的范围,因此珠光体和伪珠光体的合计面积率小于6%,平均结晶粒径超过30.0μm,进而结晶粒径(等效圆直径)40.0μm以上的晶粒的面积率超过20%,屈服强度、拉伸强度、屈服比、-20°C下的夏比吸收能和延脆转变温度没有达到期望的值。

[0233] 比较例的No.36(钢C)中,钢坯加热温度超出本发明的范围,晶粒粗大化,平均结晶粒径超过30.0μm,结晶粒径(等效圆直径)40.0μm以上的晶粒的面积率超过20%。其结果是,屈服强度、拉伸强度、-20°C下的夏比吸收能和延脆转变温度没有达到期望的值。

[0234] 比较例的No.37(钢C)中,精轧结束温度超出本发明的范围,因此930°C以下的合计压下率低于本发明的范围,不能抑制粗大的贝氏体的生成,平均结晶粒径超过30.0μm,结晶粒径(等效圆直径)40.0μm以上的晶粒的面积率超过20%。其结果是,-20°C下的夏比吸收能和延脆转变温度没有达到期望的值。

[0235] 比较例的No.38(钢C)中,930°C以下的合计压下率超出本发明的范围,生成沿轧制方向伸长的粗大的贝氏体,长径/短径之比为3.0以上的晶粒的个数超过30个/mm²。其结果是,延脆转变温度没有达到期望的值。

[0236] 比较例的No.39(钢C)中,板厚中心部的平均冷却速度V_c超出本发明的范围,进而空冷时间低于本发明的范围,因此上贝氏体的面积率超过5%,在本发明的范围外。其结果是,硬度差超过40HV,屈服比没有达到期望的值。

[0237] 比较例的No.40(钢C)中,V_s/V_c超出本发明的范围,因此上贝氏体的面积率超过5%,认为在钢板表层部生成大量的上贝氏体。其结果是,硬度差超过40HV,屈服比、-20°C下的夏比吸收能和延脆转变温度没有达到期望的值。

[0238] 比较例的No.41(钢C)中,冷却停止温度和卷取温度低于本发明的范围,因此上贝氏体的面积率超过5%。其结果是,硬度差超过40HV,屈服比没有达到期望的值。

[0239] 比较例的No.42(钢C)中,冷却停止温度和卷取温度超出本发明的范围,因此平均结晶粒径超过30.0μm。其结果是,屈服强度、拉伸强度、-20°C下的夏比吸收能和延脆转变温度没有达到期望的值。

[0240] 比较例的No.43(钢C)中,板厚中心部的平均冷却速度V_c低于本发明的范围,因此平均结晶粒径超过30.0μm,粒径40.0μm以上的面积率超过20%,另外,板厚中心部的珠光体和伪珠光体的合计面积率小于6%,屈服强度、拉伸强度、-20°C下的夏比吸收能和延脆转变温度没有达到期望的值。

[0241] 比较例的No.44(钢C)中,930°C以下的合计压下率超出本发明的范围,板厚中心部的平均冷却速度V_c大幅地超出本发明的范围,因此上贝氏体的面积率超过5%,另外,平均结晶粒径小于10.0μm,屈服比没有达到期望的值。

[0242] 比较例的No.45(钢C)中,空冷时间低于本发明的范围,因此推定板表层部与板厚中央部的温度差变大。其结果是,在钢板表层部生成大量的贝氏体,其结果是,硬度差超过

40HV, 屈服比没有达到期望的值。

[0243] 符号说明

[0244] 1 矩形钢管

[0245] 4 大梁

[0246] 5 小梁

[0247] 6 隔板

[0248] 7 间柱

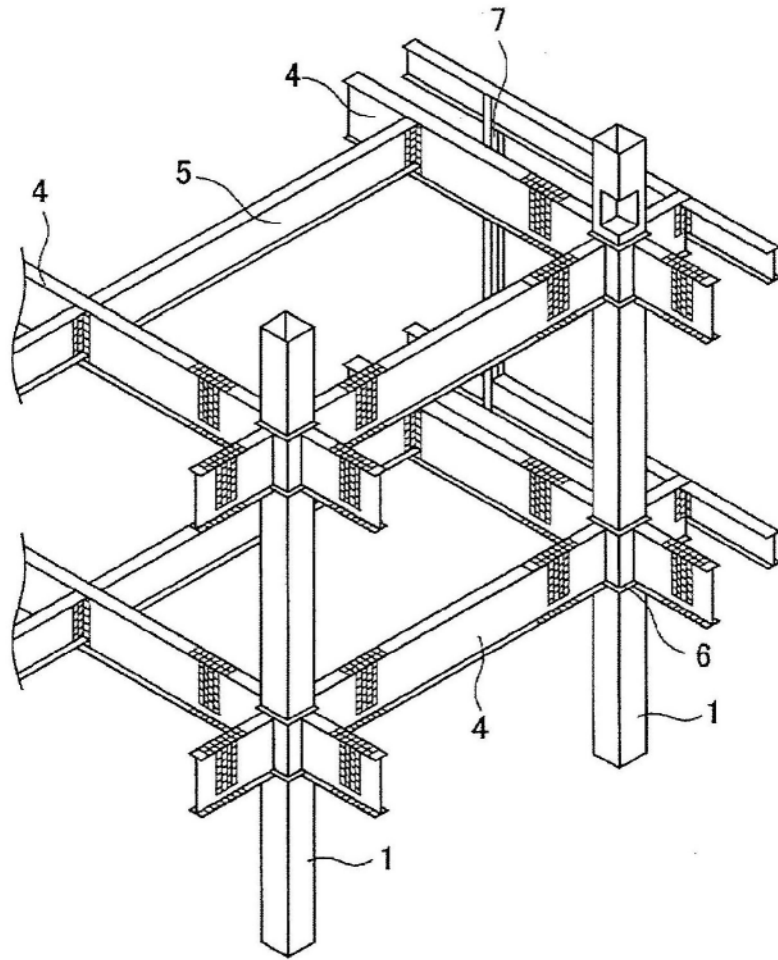


图1

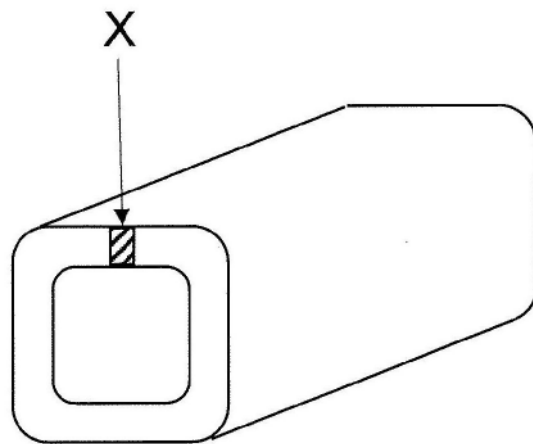


图2

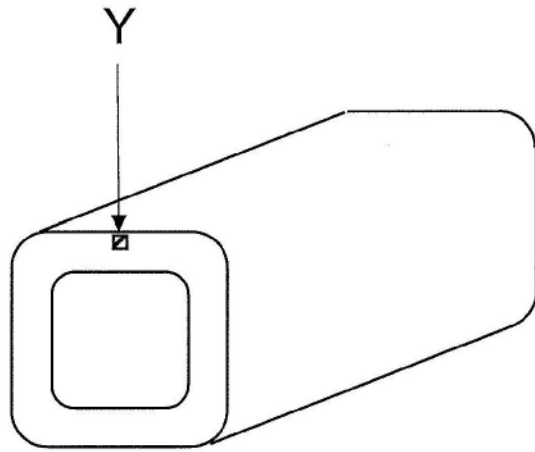


图3