



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109563580 A

(43)申请公布日 2019.04.02

(21)申请号 201780046261.9

(74)专利代理机构 永新专利商标代理有限公司  
72002

(22)申请日 2017.08.04

代理人 陈建全

(30)优先权数据

2016-155100 2016.08.05 JP

(51)Int.Cl.

G22C 38/00(2006.01)

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2019.01.25

G22C 38/58(2006.01)

G21D 9/46(2006.01)

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2017/028477 2017.08.04

(87)PCT国际申请的公布数据

W02018/026014 JA 2018.02.08

(71)申请人 新日铁住金株式会社

地址 日本东京

(72)发明人 佐野幸一 宇野诚 西山亮一

山口裕司 杉浦夏子 中田匡浩

权利要求书2页 说明书26页 附图2页

(54)发明名称

钢板及镀覆钢板

(57)摘要

一种钢板,其具有特定的化学组成,具有下述所示的组织:以面积率计铁素体为30~95%并且贝氏体为5~70%。在将由取向差为15°以上的晶界所围成、并且当量圆直径为0.3 μm以上的区域定义为晶粒的情况下,晶内取向差为5~14°的晶粒在全部晶粒中所占的比例以面积率计为20~100%。上述晶粒的当量椭圆的平均长宽比为5以下。铁素体晶界上的粒径为20nm以上的Ti系碳化物及Nb系碳化物的合计的平均分布密度为10个/μm以下。

1. 一种钢板,其特征在于,具有下述所示的化学组成:

以质量%计

C:0.008~0.150%、

Si:0.01~1.70%、

Mn:0.60~2.50%、

Al:0.010~0.60%、

Ti:0~0.200%、

Nb:0~0.200%、

Ti+Nb:0.015~0.200%、

Cr:0~1.0%、

B:0~0.10%、

Mo:0~1.0%、

Cu:0~2.0%、

Ni:0~2.0%、

Mg:0~0.05%、

REM:0~0.05%、

Ca:0~0.05%、

Zr:0~0.05%、

P:0.05%以下、

S:0.0200%以下、

N:0.0060%以下、并且

剩余部分:Fe及杂质,

具有下述所示的组织:

以面积率计

铁素体:30~95%、并且

贝氏体:5~70%、

在将由取向差为 $15^\circ$ 以上的晶界所围成、并且当量圆直径为 $0.3\mu\text{m}$ 以上的区域定义为晶粒的情况下,晶内取向差为 $5\sim 14^\circ$ 的晶粒在全部晶粒中所占的比例以面积率计为20~100%、

所述晶粒的当量椭圆的平均长宽比为5以下、

铁素体晶界上的粒径为20nm以上的Ti系碳化物及Nb系碳化物的合计的平均分布密度为10个/ $\mu\text{m}$ 以下。

2. 根据权利要求1所述的钢板,其特征在于,

抗拉强度为480MPa以上、

所述抗拉强度与鞍型拉伸凸缘试验中的极限成形高度之积为 $19500\text{mm}\cdot\text{MPa}$ 以上,冲裁断裂面的脆性断面率低于20%。

3. 根据权利要求1或2所述的钢板,其特征在于,所述化学成分以质量%计包含选自

Cr:0.05~1.0%、及

B:0.0005~0.10%

中的1种以上。

4. 根据权利要求1至3中任一项所述的钢板,其特征在於,所述化学成分以质量%计包含选自

Mo:0.01~1.0%、

Cu:0.01~2.0%、及

Ni:0.01%~2.0%

中的1种以上。

5. 根据权利要求1至4中任一项所述的钢板,其特征在於,所述化学成分以质量%计包含选自

Ca:0.0001~0.05%、

Mg:0.0001~0.05%、

Zr:0.0001~0.05%、及

REM:0.0001~0.05%

中的1种以上。

6. 一种镀覆钢板,其特征在於,在权利要求1至5中任一项所述的钢板的表面形成有镀层。

7. 根据权利要求6所述的镀覆钢板,其特征在於,所述镀层为热浸镀锌层。

8. 根据权利要求6所述的镀覆钢板,其特征在於,所述镀层为合金化热浸镀锌层。

## 钢板及镀覆钢板

### 技术领域

[0001] 本发明涉及钢板及镀覆钢板。

### 背景技术

[0002] 近年来,要求以提高汽车的燃油经济性为目的各种构件的轻量化。针对该要求,各种构件中使用的钢板的由高强度化带来的薄壁化、Al合金等轻金属在各种构件中的应用在发展。Al合金等轻金属与钢等重金属相比,比强度高。但是,轻金属与重金属相比显著高价。因此,Al合金等轻金属的应用被限于特殊的用途。因此,为了将各种构件的轻量化更廉价并且在广范围内应用,要求钢板的由高强度化带来的薄壁化。

[0003] 在汽车的各种构件中使用的钢板中,根据构件的用途,不仅要求强度,还要求延展性、拉伸凸缘加工性、扩孔弯边(翻边)加工性、疲劳耐久性、耐冲击性及耐蚀性等材料特性。但是,如果使钢板高强度化,则一般成形性(加工性)等材料特性会劣化。因此,在高强度钢板的开发中,兼顾这些材料特性和强度是重要的。

[0004] 具体而言,在使用钢板来制造复杂形状的部件的情况下,例如进行以下所示的加工。对钢板实施剪切或冲裁加工而进行冲切或开孔后,进行以拉伸凸缘加工或扩孔弯边加工为主体的压制成形、鼓凸成形。对于实施了这样的加工的钢板,要求良好的拉伸凸缘性和延展性。

[0005] 在专利文献1中记载了一种延展性、拉伸凸缘性、材质均匀性优异的高强度热轧钢板,其中,钢组织以面积率计具有95%以上的铁素体相,钢中析出的Ti碳化物的平均粒径为10nm以下。但是,在具有95%以上的软质的铁素体相的专利文献1中公开的钢板中,在确保480MPa以上的强度的情况下,无法得到充分的延展性。

[0006] 在专利文献2中公开了一种拉伸凸缘性和疲劳特性优异的高强度热轧钢板,其包含Ce氧化物、La氧化物、Ti氧化物、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的夹杂物。另外,在专利文献2中记载了一种高强度热轧钢板,其钢板中的贝氏体-铁素体相的面积率为80~100%。在专利文献3中公开了一种强度的不均小、并且延展性和扩孔性优异的高强度热轧钢板,其规定了铁素体相与贝氏体相的合计的面积率、铁素体相与第二相的维氏硬度差的绝对值。

[0007] 在专利文献4~7中提出了一种技术,其在添加了Ti、Nb、V等碳化物形成元素的钢板中,使冲裁加工部的开裂和疲劳特性提高。在专利文献8~10中提出了一种技术,其在添加了Ti、Nb、V等碳化物形成元素的钢板中,通过有效利用B来提高冲裁加工部的开裂和疲劳特性。在专利文献11中记载了一种伸长特性、拉伸凸缘特性、疲劳特性优异的高强度热轧钢板,其以铁素体和贝氏体作为主要的组织,控制了铁素体中的析出物的粒径和分率及贝氏体的形态。在专利文献12中提出了一种技术,其在添加了Ti、Nb、V等碳化物形成元素的钢板中,使连铸工序中的表面缺陷和生产率提高。

[0008] 以往的高强度钢板如果进行冷压制成形,则有可能在成形中从成为拉伸凸缘成形的部位的边缘产生龟裂。据认为这是由于:由于在冲切加工时导入冲裁端面处的应变,使得仅边缘部进行了加工硬化。

[0009] 作为钢板的拉伸凸缘性的试验评价方法,采用了扩孔试验。但是,在扩孔试验中,在周向的应变分布几乎不存的状态下试验片达到断裂。与此相对,在实际将钢板加工成部件形状的情况下,存在应变分布。应变分布会对部件的断裂极限造成影响。由此推定:即使是在扩孔试验中显示出充分的拉伸凸缘性的高强度钢板,通过进行冷压制,也有可能产生龟裂。

[0010] 在专利文献1~3中公开了一种技术,其通过规定组织来使材料特性提高。但是,专利文献1~3中记载的钢板即使是在考虑了应变分布的情况下也不清楚是否能够确保充分的拉伸凸缘性。另外,以往的高强度钢板具有优异的拉伸凸缘性,母材及冲裁加工部的疲劳特性不良好。

[0011] 现有技术文献

[0012] 专利文献

[0013] 专利文献1:国际公开第2013/161090号

[0014] 专利文献2:日本特开2005-256115号公报

[0015] 专利文献3:日本特开2011-140671号公报

[0016] 专利文献4:日本特开2002-161340号公报

[0017] 专利文献5:日本特开2002-317246号公报

[0018] 专利文献6:日本特开2003-342684号公报

[0019] 专利文献7:日本特开2004-250749号公报

[0020] 专利文献8:日本特开2004-315857号公报

[0021] 专利文献9:日本特开2005-298924号公报

[0022] 专利文献10:日本特开2008-266726号公报

[0023] 专利文献11:日本特开2007-9322号公报

[0024] 专利文献12:日本特开2007-138238号公报

## 发明内容

[0025] 发明所要解决的课题

[0026] 本发明的目的是提供高强度、且具有优异的拉伸凸缘性、母材及冲裁加工部的疲劳特性良好的钢板及镀覆钢板。

[0027] 用于解决课题的手段

[0028] 根据以往的认识,高强度钢板中的拉伸凸缘性(扩孔性)的改善如专利文献1~3中所示的那样,通过夹杂物控制、组织均质化、单一组织化和/或组织间的硬度差的降低等来进行。换言之,以往,通过控制利用光学显微镜而观察的组织来谋求拉伸凸缘性的改善。

[0029] 但是,即使仅控制以光学显微镜观察的组织,也难以使存在应变分布的情况的拉伸凸缘性提高。于是,本发明的发明者们着眼于各晶粒的晶内的取向差,进行了深入研究。其结果发现:通过将晶体晶内的取向差为 $5\sim 14^\circ$ 的晶粒在全部晶粒中所占的比例控制在 $20\sim 100\%$ ,能够使拉伸凸缘性大大提高。

[0030] 另外,本发明的发明者们发现:通过将晶粒的平均长宽比和铁素体晶界上的粒径为 $20\text{nm}$ 以上的Ti系碳化物及Nb系碳化物的合计的密度设定为特定的范围,从而在母材及冲裁加工部中可得到良好的疲劳特性,能够防止冲裁端面处的伴随凹凸的损伤。

[0031] 就本发明而言,基于上述的关于晶体晶内的取向差为 $5\sim 14^\circ$ 的晶粒在全部晶粒中所占的比例的新认识和关于晶粒的平均长宽比及铁素体晶界上的粒径为20nm以上的Ti系碳化物及Nb系碳化物的合计的密度的新认识,本发明的发明者们反复进行了深入研究,从而完成。

[0032] 本发明的主旨如下所述。

[0033] (1)一种钢板,其特征在于,具有下述所示的化学组成:

[0034] 以质量%计

[0035] C:0.008~0.150%、

[0036] Si:0.01~1.70%、

[0037] Mn:0.60~2.50%、

[0038] Al:0.010~0.60%、

[0039] Ti:0~0.200%、

[0040] Nb:0~0.200%、

[0041] Ti+Nb:0.015~0.200%、

[0042] Cr:0~1.0%、

[0043] B:0~0.10%、

[0044] Mo:0~1.0%、

[0045] Cu:0~2.0%、

[0046] Ni:0~2.0%、

[0047] Mg:0~0.05%、

[0048] REM:0~0.05%、

[0049] Ca:0~0.05%、

[0050] Zr:0~0.05%、

[0051] P:0.05%以下、

[0052] S:0.0200%以下、

[0053] N:0.0060%以下、并且

[0054] 剩余部分:Fe及杂质,

[0055] 具有下述所示的组织:

[0056] 以面积率计

[0057] 铁素体:30~95%、并且

[0058] 贝氏体:5~70%、

[0059] 在将由取向差为 $15^\circ$ 以上的晶界所围成、并且当量圆直径为 $0.3\mu\text{m}$ 以上的区域定义为晶粒的情况下,晶内取向差为 $5\sim 14^\circ$ 的晶粒在全部晶粒中所占的比例以面积率计为20~100%、

[0060] 所述晶粒的当量椭圆的平均长宽比为5以下、

[0061] 铁素体晶界上的粒径为20nm以上的Ti系碳化物及Nb系碳化物的合计的平均分布密度为10个/ $\mu\text{m}$ 以下。

[0062] (2)根据(1)所述的钢板,其特征在于,

[0063] 抗拉强度为480MPa以上、

- [0064] 所述抗拉强度与鞍型拉伸凸缘试验中的极限成形高度之积为19500mm·MPa以上，
- [0065] 冲裁断裂面的脆性断面率(脆性断裂率)低于20%。
- [0066] (3) 根据(1)或(2)所述的钢板，其特征在于，所述化学成分以质量%计包含选自
- [0067] Cr:0.05~1.0%、及
- [0068] B:0.0005~0.10%
- [0069] 中的1种以上。
- [0070] (4) 根据(1)~(3)中任一项所述的钢板，其特征在于，所述化学成分以质量%计包含选自
- [0071] Mo:0.01~1.0%、
- [0072] Cu:0.01~2.0%、及
- [0073] Ni:0.01%~2.0%
- [0074] 中的1种以上。
- [0075] (5) 根据(1)~(4)中任一项所述的钢板，其特征在于，所述化学成分以质量%计包含选自
- [0076] Ca:0.0001~0.05%、
- [0077] Mg:0.0001~0.05%、
- [0078] Zr:0.0001~0.05%、及
- [0079] REM:0.0001~0.05%
- [0080] 中的1种以上。
- [0081] (6) 一种镀覆钢板，其特征在于，在(1)~(5)中任一项所述的钢板的表面形成有镀层。
- [0082] (7) 根据(6)所述的镀覆钢板，其特征在于，所述镀层为热浸镀锌层。
- [0083] (8) 根据(6)所述的镀覆钢板，其特征在于，所述镀层为合金化热浸镀锌层。
- [0084] 发明效果
- [0085] 根据本发明，能够提供高强度、且具有优异的拉伸凸缘性、母材及冲裁加工部的疲劳特性良好的钢板。本发明的钢板能够应用于不仅为高强度而且要求严格的拉伸凸缘性和母材及冲裁加工部的疲劳特性的构件，即使在余隙(clearance)严苛、使用磨损的剪切机、冲头的严苛的加工条件下进行冲裁加工的情况下，也能够防止冲裁端面处的伴随凹凸的损伤。

#### 附图说明

- [0086] 图1A是表示鞍型拉伸凸缘试验法中使用的鞍型成形品的立体图。
- [0087] 图1B是表示鞍型拉伸凸缘试验法中使用的鞍型成形品的平面图。
- [0088] 图2是表示算出晶粒的平均长宽比的方法的图。

#### 具体实施方式

- [0089] 以下，对本发明的实施方式进行说明。
- [0090] “化学组成”
- [0091] 首先，对本发明的实施方式的钢板的化学组成进行说明。在以下的说明中，钢板中

所含的各元素的含量的单位即“%”只要没有特别说明,则是指“质量%”。本实施方式的钢板具有下述所示的化学组成:C:0.008~0.150%、Si:0.01~1.70%、Mn:0.60~2.50%、Al:0.010~0.60%、Ti:0~0.200%、Nb:0~0.200%、Ti+Nb:0.015~0.200%、Cr:0~1.0%、B:0~0.10%、Mo:0~1.0%、Cu:0~2.0%、Ni:0~2.0%、Mg:0~0.05%、稀土类金属(rare earth metal:REM):0~0.05%、Ca:0~0.05%、Zr:0~0.05%、P:0.05%以下、S:0.0200%以下、N:0.0060%以下、并且剩余部分:Fe及杂质。作为杂质,可例示出矿石、废料等原材料中所含的杂质、在制造工序中包含的杂质。

[0092] “C:0.008~0.150%”

[0093] C与Nb、Ti等结合而在钢板中形成析出物,通过析出强化而有助于钢的强度提高。C含量低于0.008%时,无法充分得到该效果。因此,C含量设定为0.008%以上。C含量优选设定为0.010%以上,更优选设定为0.018%以上。另一方面,C含量超过0.150%时,贝氏体中的取向分散容易变大,晶内的取向差为5~14°的晶粒的比例不足。另外,C含量超过0.150%时,对拉伸凸缘性有害的渗碳体增加,拉伸凸缘性劣化。因此,C含量设定为0.150%以下。C含量优选设定为0.100%以下,更优选设定为0.090%以下。

[0094] “Si:0.01~1.70%”

[0095] Si作为钢液的脱氧剂发挥功能。Si含量低于0.01%时,无法充分得到该效果。因此,Si含量设定为0.01%以上。Si含量优选设定为0.02%以上,更优选设定为0.03%以上。另一方面,Si含量超过1.70%时,拉伸凸缘性劣化、产生表面瑕疵。另外,Si含量超过1.70%时,相变点过于上升,产生提高轧制温度的必要。该情况下,热轧中的再结晶被显著促进,晶内的取向差为5~14°的晶粒的比例不足。另外,Si含量超过1.70%时,在钢板的表面形成有镀层的情况下容易产生表面瑕疵。因此,Si含量设定为1.70%以下。Si含量优选设定为1.60%以下,更优选设定为1.50%以下,进一步优选设定为1.40%以下。

[0096] “Mn:0.60~2.50%”

[0097] Mn通过固溶强化或通过提高钢的淬透性而有助于钢的强度提高。Mn含量低于0.60%时,无法充分得到该效果。因此,Mn含量设定为0.60%以上。Mn含量优选设定为0.70%以上,更优选设定为0.80%以上。另一方面,Mn含量超过2.50%时,淬透性变得过度,贝氏体中的取向分散的程度变大。其结果是,晶内的取向差为5~14°的晶粒的比例不足,拉伸凸缘性劣化。因此,Mn含量设定为2.50%以下。Mn含量优选设定为2.30%以下,更优选设定为2.10%以下。

[0098] “Al:0.010~0.60%”

[0099] Al作为钢液的脱氧剂是有效的。Al含量低于0.010%时,无法充分得到该效果。因此,Al含量设定为0.010%以上。Al含量优选设定为0.020%以上,更优选设定为0.030%以上。另一方面,Al含量超过0.60%时,焊接性和韧性等劣化。因此,Al含量设定为0.60%以下。Al含量优选设定为0.50%以下,更优选设定为0.40%以下。

[0100] “Ti:0~0.200%、Nb:0~0.200%、Ti+Nb:0.015~0.200%”

[0101] Ti及Nb以碳化物(TiC、NbC)的方式在钢中微细地析出,通过析出强化而使钢的强度提高。另外,Ti及Nb通过形成碳化物而将C固定,抑制对拉伸凸缘性有害的渗碳体的生成。此外,Ti及Nb能够使晶内的取向差为5~14°的晶粒的比例显著提高、使钢的强度提高、并且使拉伸凸缘性提高。Ti及Nb的合计含量低于0.015%时,晶内的取向差为5~14°的晶粒的比

例不足,拉伸凸缘性劣化。因此,Ti及Nb的合计含量设定为0.015%以上。Ti及Nb的合计含量优选设定为0.018%以上。另外,Ti含量优选设定为0.015%以上,更优选设定为0.020%以上,进一步优选设定为0.025%以上。另外,Nb含量优选设定为0.015%以上,更优选设定为0.020%以上,进一步优选设定为0.025%以上。另一方面,Ti及Nb的合计含量超过0.200%时,延展性及加工性劣化,在轧制中开裂的频率变高。因此,Ti及Nb的合计含量设定为0.200%以下。Ti及Nb的合计含量优选设定为0.150%以下。另外,Ti含量超过0.200%时,延展性劣化。因此,Ti含量设定为0.200%以下。Ti含量优选设定为0.180%以下,更优选设定为0.160%以下。另外,Nb含量超过0.200%时,延展性劣化。因此,Nb含量设定为0.200%以下。Nb含量优选设定为0.180%以下,更优选设定为0.160%以下。

[0102] “P:0.05%以下”

[0103] P为杂质。P由于会使韧性、延展性、焊接性等劣化,所以P含量越低越优选。如果P含量超过0.05%,则拉伸凸缘性的劣化显著。因此,P含量设定为0.05%以下。P含量优选设定为0.03%以下,更优选设定为0.02%以下。P含量的下限没有特别规定,但过度的降低从制造成本的观点出发是不优选的。因此,P含量也可以设定为0.005%以上。

[0104] “S:0.0200%以下”

[0105] S为杂质。S不仅会引起热轧时的开裂,而且会形成使拉伸凸缘性劣化的A系夹杂物。因此,S含量越低越优选。如果S含量超过0.0200%,则拉伸凸缘性的劣化显著。因此,S含量设定为0.0200%以下。S含量优选设定为0.0150%以下,更优选设定为0.0060%以下。S含量的下限没有特别规定,但过度的降低从制造成本的观点出发是不优选的。因此,S含量也可以设定为0.0010%以上。

[0106] “N:0.0060%以下”

[0107] N为杂质。N比C优先地与Ti及Nb形成析出物,使对C的固定有效的Ti及Nb减少。因此,N含量优选较低。如果N含量超过0.0060%,则拉伸凸缘性的劣化显著。因此,N含量设定为0.0060%以下。N含量优选设定为0.0050%以下。N含量的下限没有特别规定,但过度的降低从制造成本的观点出发是不优选的。因此,N含量也可以设定为0.0010%以上。

[0108] Cr、B、Mo、Cu、Ni、Mg、REM、Ca及Zr不是必需元素,是也可以使钢板中有限地适当含有规定量的任选元素。

[0109] “Cr:0~1.0%”

[0110] Cr有助于钢的强度提高。即使不含有Cr也可达成所期望的目的,但为了充分得到该效果,Cr含量优选设定为0.05%以上。另一方面,Cr含量超过1.0%时,上述效果饱和从而经济性降低。因此,Cr含量设定为1.0%以下。

[0111] “B:0~0.10%”

[0112] B会提高淬透性,使作为硬质相的低温相变生成相的组织分率增加。即使不含有B也可达成所期望的目的,但为了充分得到该效果,B含量优选设定为0.0005%以上。另一方面,B含量超过0.10%时,上述效果饱和从而经济性降低。因此,B含量设定为0.10%以下。

[0113] “Mo:0~1.0%”

[0114] Mo具有使淬透性提高、并且形成碳化物而提高强度的效果。即使不含有Mo也可达成所期望的目的,但为了充分得到该效果,Mo含量优选设定为0.01%以上。另一方面,Mo含量超过1.0%时,有可能延展性、焊接性降低。因此,Mo含量设定为1.0%以下。

[0115] “Cu:0~2.0%”

[0116] Cu会提高钢板的强度,并且使耐蚀性、氧化皮的剥离性提高。即使不含有Cu也可达成所期望的目的,但为了充分得到该效果,Cu含量优选设定为0.01%以上,更优选设定为0.04%以上。另一方面,Cu含量超过2.0%时,有可能会产生表面瑕疵。因此,Cu含量设定为2.0%以下,优选设定为1.0%以下。

[0117] “Ni:0~2.0%”

[0118] Ni会提高钢板的强度,并且使韧性提高。即使不含有Ni也可达成所期望的目的,但为了充分得到该效果,Ni含量优选设定为0.01%以上。另一方面,Ni含量超过2.0%时,延展性降低。因此,Ni含量设定为2.0%以下。

[0119] “Mg:0~0.05%、REM:0~0.05%、Ca:0~0.05%、Zr:0~0.05%”

[0120] Ca、Mg、Zr及REM都会控制硫化物、氧化物的形状而使韧性提高。即使不含有Ca、Mg、Zr及REM也可达成所期望的目的,但为了充分得到该效果,选自Ca、Mg、Zr及REM中的1种以上的含量优选设定为0.0001%以上,更优选设定为0.0005%以上。另一方面,Ca、Mg、Zr或REM中的任一者的含量超过0.05%时,拉伸凸缘性劣化。因此,Ca、Mg、Zr及REM的含量都设定为0.05%以下。

[0121] “金属组织”

[0122] 接下来,对本发明的实施方式的钢板的组织(金属组织)进行说明。以下的说明中,各组织的比例(面积率)的单位即“%”只要没有特别说明,则是指“面积%”。本实施方式的钢板具有下述所示的组织:铁素体:30~95%、并且贝氏体:5~70%。

[0123] “铁素体:30~95%”

[0124] 如果铁素体的面积率低于30%,则无法得到充分的疲劳特性。因此,铁素体的面积率设定为30%以上,优选设定为40%以上,更优选设定为50%以上,进一步优选设定为60%以上。另一方面,铁素体的面积率超过95%时,拉伸凸缘性劣化、得到充分的强度变得困难。因此,铁素体的面积率设定为95%以下。

[0125] “贝氏体:5~70%”

[0126] 贝氏体的面积率低于5%时,拉伸凸缘性劣化。因此,贝氏体的面积率设定为5%以上。另一方面,贝氏体的面积率超过70%时,延展性劣化。因此,贝氏体的面积率设定为70%以下,优选设定为60%以下,更优选设定为50%以下,进一步优选设定为40%以下。

[0127] 在钢板的组织中,也可以包含珠光体或马氏体或者它们两者。珠光体与贝氏体同样地疲劳特性及拉伸凸缘性良好。如果将珠光体与贝氏体进行比较,则贝氏体的冲裁加工部的疲劳特性较良好。珠光体的面积率优选设定为0~15%。如果珠光体的面积率为该范围,则可得到冲裁加工部的疲劳特性更加良好的钢板。马氏体由于会对拉伸凸缘性造成不良影响,所以马氏体的面积率优选设定为10%以下。铁素体、贝氏体、珠光体及马氏体以外的组织的面积率优选设定为10%以下,更优选设定为5%以下,进一步优选设定为3%以下。

[0128] 各组织的比例(面积率)通过以下的方法来求出。首先,将从钢板中采集的试样用硝酸乙醇进行蚀刻。对在蚀刻后使用光学显微镜在板厚的1/4深度的位置处以 $300\mu\text{m}\times 300\mu\text{m}$ 的视场得到的组织照片进行图像解析。通过该图像解析,得到铁素体的面积率、珠光体的面积率以及贝氏体及马氏体的合计面积率。接着,对使用经Lepera腐蚀的试样并使用光学显微镜在板厚的1/4深度的位置处以 $300\mu\text{m}\times 300\mu\text{m}$ 的视场得到的组织照片进行图像解析。

通过该图像解析,得到残留奥氏体及马氏体的合计面积率。进而,使用从轧制面法线方向削至板厚的1/4深度为止的试样,通过X射线衍射测定来求出残留奥氏体的体积率。残留奥氏体的体积率由于与面积率同等,所以将其设定为残留奥氏体的面积率。然后,通过从残留奥氏体及马氏体的合计面积率中减去残留奥氏体的面积率而得到马氏体的面积率,通过从贝氏体及马氏体的合计面积率中减去马氏体的面积率而得到贝氏体的面积率。像这样操作,能够得到铁素体、贝氏体、马氏体、残留奥氏体及珠光体各自的面积率。

[0129] 在本实施方式的钢板中,在将由取向差为 $15^\circ$ 以上的晶界所围成、并且当量圆直径为 $0.3\mu\text{m}$ 以上的区域定义为晶粒的情况下,晶内取向差为 $5\sim 14^\circ$ 的晶粒在全部晶粒中所占的比例以面积率计为 $20\sim 100\%$ 。晶内的取向差使用晶体取向解析中经常采用的电子背散射衍射图案解析(electron back scattering diffraction:EBS)法来求出。晶内的取向差是在组织中将取向差为 $15^\circ$ 以上的边界设定为晶界、将由该晶界所围成的区域定义为晶粒的情况下的值。

[0130] 晶内的取向差为 $5\sim 14^\circ$ 的晶粒为了得到强度与加工性的平衡优异的钢板是有效的。通过增多晶内的取向差为 $5\sim 14^\circ$ 的晶粒的比例,能够维持所期望的钢板强度、并且使拉伸凸缘性提高。如果晶内取向差为 $5\sim 14^\circ$ 的晶粒在全部晶粒中所占的比例以面积率计为 $20\%$ 以上,则可得到所期望的钢板强度和拉伸凸缘性。晶内的取向差为 $5\sim 14^\circ$ 的晶粒的比例即使高也无妨,因此其上限为 $100\%$ 。

[0131] 如果如后述那样控制精轧的后3段的累积应变,则会在铁素体、贝氏体的晶内产生晶体取向差。如以下那样考虑其原因。通过控制累积应变,奥氏体中的位错增加,在奥氏体晶粒内以高密度形成位错壁,形成若干晶胞块。这些晶胞块具有不同的晶体取向。据认为:通过从像这样包含高位错密度且不同的晶体取向的晶胞块的奥氏体进行相变,从而铁素体、贝氏体也即使是相同晶内也具有晶体取向差,并且位错密度也变高。因此,据认为:晶内的晶体取向差与该晶粒中所含的位错密度有关。一般而言,晶内的位错密度的增加会带来强度的提高,另一方面,会使加工性降低。但是,就晶内的取向差被控制在 $5\sim 14^\circ$ 的晶粒而言,能够在不使加工性降低的情况下使强度提高。因此,在本实施方式的钢板中,将晶内的取向差为 $5\sim 14^\circ$ 的晶粒的比例设定为 $20\%$ 以上。晶内的取向差低于 $5^\circ$ 的晶粒虽然加工性优异,但高强度化困难。晶内的取向差超过 $14^\circ$ 的晶粒由于在晶体晶内变形能力不同,所以无助于拉伸凸缘性的提高。

[0132] 晶内的取向差为 $5\sim 14^\circ$ 的晶粒的比例可以通过以下的方法来测定。首先,对于距离钢板表面为板厚 $t$ 的 $1/4$ 深度位置( $1/4t$ 部)的轧制方向垂直截面,对在轧制方向上为 $200\mu\text{m}$ 、在轧制面法线方向上为 $100\mu\text{m}$ 的区域以 $0.2\mu\text{m}$ 的测定间隔进行EBS)解析而得到了晶体取向信息。这里EBS)解析是使用由热场致发射型扫描电子显微镜(JEOL制JSM-7001F)和EBS)检测器(TSL制HIKARI检测器)构成的装置,以 $200\sim 300$ 点/秒的解析速度来实施。接着,对于所得到的晶体取向信息,将取向差为 $15^\circ$ 以上并且当量圆直径为 $0.3\mu\text{m}$ 以上的区域定义为晶粒,计算出晶粒的晶内的平均取向差,求出晶内的取向差为 $5\sim 14^\circ$ 的晶粒的比例。上述定义的晶粒和晶内的平均取向差可以使用EBS)解析装置附属的软件“OIM Analysis(注册商标)”来算出。

[0133] 本实施方式中的“晶内取向差”表示晶体晶内的取向分散即“Grain Orientation Spread(GOS)”。晶内取向差的值如“利用EBS)法及X射线衍射法而进行的不锈钢的塑性变形

中的取向差的解析”、木村英彦等、日本机械学会论文集(A编)、71卷、712号、2005年、p.1722-1728中记载的那样,以在同一晶体晶内成为基准的晶体取向和全部的测定点间的取向差的平均值而求出。本实施方式中,成为基准的晶体取向是将同一晶体晶内的全部的测定点平均化而得到的取向。GOS的值可以使用EBSD解析装置附属的软件“OIM Analysis (注册商标)Version 7.0.1”来算出。

[0134] 本实施方式的钢板中,铁素体、贝氏体等由光学显微镜组织观察的各组织的面积率与晶内的取向差为 $5\sim 14^\circ$ 的晶粒的比例没有直接关系。换言之,例如即使具有具有相同铁素体的面积率及贝氏体的面积率的钢板,晶内的取向差为 $5\sim 14^\circ$ 的晶粒的比例也不一定相同。因此,仅控制了铁素体的面积率及贝氏体的面积率是无法得到与本实施方式的钢板相当的特性。

[0135] 组织中的晶粒的当量椭圆的平均长宽比与冲裁端面的开裂、凹凸的产生行为有关。如果晶粒的当量椭圆的平均长宽比超过5,则开裂变得显著,变得容易产生以冲裁部为起点的疲劳龟裂。因此,晶粒的当量椭圆的平均长宽比设定为5以下。其平均长宽比优选设定为3.5以下。由此,即使是更严苛的冲裁加工也能够防止开裂的产生。晶粒的当量椭圆的平均长宽比的下限没有特别限定,但成为当量圆的1为实质上的下限。

[0136] 这里,平均长宽比是下述值:观察L截面(与轧制方向平行的截面)的组织、对50个以上的晶粒测定(椭圆长轴长度)/(椭圆短轴长度)并进行平均而得到的值。需要说明的是,这里的晶粒是指由晶界倾角为 $10^\circ$ 以上的大倾角晶界所围成的晶粒。

[0137] 如果在组织中的铁素体晶界上存在微细的Ti系碳化物或Nb系碳化物、并且晶粒为扁平,则冲裁断裂面的脆性断面率增加,疲劳特性恶化。根据本发明的发明者们的观察,据认为:铁素体晶界上的粒径为20nm以上的Ti系碳化物及Nb系碳化物在应变集中时容易诱发空隙产生,成为晶界断裂的原因。如果在铁素体晶界上20nm以上的Ti系碳化物及Nb系碳化物以合计的平均分布密度计每 $1\mu\text{m}$ 晶界长度存在超过10个,则脆性断面率增大,导致构件的疲劳特性的降低。因此,铁素体晶界上的粒径为20nm以上的Ti系碳化物及Nb系碳化物的合计的平均分布密度设定为10个/ $\mu\text{m}$ 以下,优选设定为6个/ $\mu\text{m}$ 以下。铁素体晶界上的粒径为20nm以上的Ti系碳化物及Nb系碳化物的合计的平均分布密度从抑制脆性断面的观点出发越低越优选。如果铁素体晶界上的粒径为20nm以上的Ti系碳化物及Nb系碳化物的合计的平均分布密度为0.1个/ $\mu\text{m}$ 以下,则变得几乎不会产生脆性断面。此外,铁素体晶界上的Ti系碳化物及Nb系碳化物的合计的平均分布密度利用对L截面(与轧制方向平行的截面)的切割试样使用扫描型电子显微镜(SEM)进行观察而得到的结果来算出。

[0138] 冲裁断裂面的断面形态与冲裁断裂面的凹凸、微小开裂的产生行为有关,会对具有冲裁部的构件的疲劳特性造成影响。如果断裂面内的脆性断面率为20%以上,则断面的凹凸大,容易产生微小的开裂,所以会促进冲裁加工部的疲劳龟裂的产生。根据本实施方式,可得到低于20%的脆性断面率,还有可能得到10%以下的脆性断面率。断裂面内的脆性断面率是下述值:在板厚的10~15%的余隙条件下对试样钢板用剪切机或冲头进行冲裁、并对所形成的断裂面进行观察而测定的值。

[0139] 钢板的织构通过对冲裁断裂面的开裂产生、残留应力分布的影响而对冲裁加工部的疲劳特性造成影响。如果板厚中心部的板面的 $\{112\}\langle 110\rangle$ 取向及 $\{332\}\langle 113\rangle$ 取向的X射线随机强度比分别超过5,则有可能引起冲裁加工部的断裂面的开裂产生。因此,优选上

述取向的X射线随机强度比设定为5以下,更优选设定为4以下。在上述取向的X射线随机强度比为4以下的情况下,即使用量产中使用的磨损的冲头进行冲裁也不易产生开裂。上述取向的X射线随机强度比完全随机即1为实质上的下限。

[0140] 本实施方式中,拉伸凸缘性通过使用了鞍型成形品而进行的鞍型拉伸凸缘试验法来进行评价。图1A及图1B是表示本实施方式中的鞍型拉伸凸缘试验法中所使用的鞍型成形品的图,图1A为立体图,图1B为平面图。在鞍型拉伸凸缘试验法中,具体而言,对图1A及图1B中所示那样的模拟了由直线部和圆弧部形成的拉伸凸缘形状而成的鞍型成形品1进行压制加工,使用此时的极限成形高度来评价拉伸凸缘性。在本实施方式中的鞍型拉伸凸缘试验法中,使用将拐角部2的曲率半径R设定为50~60mm、将拐角部2的开口角 $\theta$ 设定为120°的鞍型成形品1,测定将冲裁拐角部2时的余隙设定为11%时的极限成形高度H(mm)。这里,所谓余隙是表示冲裁模具与冲头的间隙与试验片的厚度之比。余隙由于实际上是由冲裁工具与板厚的组合来决定,所以11%是指满足10.5~11.5%的范围。极限成形高度H的判定是在成形后通过目视观察有无存在具有板厚的1/3以上的长度的裂纹,作为不存在裂纹的极限的成形高度。

[0141] 以往,作为与拉伸凸缘成形性相对应的试验法而使用的扩孔试验在周向的应变几乎没有分布的情况下达到断裂。因此,断裂部周边的应变、应力梯度与实际的拉伸凸缘成形时是不同的。另外,扩孔试验是在产生板厚贯通的断裂之时的评价等,而没有成为反映了本来的拉伸凸缘成形的评价。另一方面,在本实施方式中使用的鞍型拉伸凸缘试验中,由于能够评价考虑了应变分布的拉伸凸缘性,所以能够进行反映了本来的拉伸凸缘成形的评价。

[0142] 根据本实施方式的钢板,可得到480MPa以上的抗拉强度。即,可得到优异的抗拉强度。抗拉强度的上限没有特别限定。但是,在本实施方式中的成分范围内,实质上的抗拉强度的上限为1180MPa左右。抗拉强度可以通过下述方法测定:制作JIS-Z2201中记载的5号试验片,按照JIS-Z2241中记载的试验方法进行拉伸试验。

[0143] 根据本实施方式的钢板,可得到19500mm·MPa以上的抗拉强度与鞍型拉伸凸缘试验中的极限成形高度之积。即,可得到优异的拉伸凸缘性。该积的上限没有特别限定。但是,在本实施方式中的成分范围内,实质上的该积的上限为25000mm·MPa左右。

[0144] 根据本实施方式的钢板,可得到低于20%的脆性断面率及0.4以上的疲劳限度比。即,能够得到优异的母材及冲裁加工部的疲劳特性。

[0145] 接下来,对制造本发明的实施方式的钢板的方法进行说明。在该方法中,依次进行热轧、空气冷却、第1冷却及第2冷却。

[0146] “热轧”

[0147] 热轧包含粗轧和精轧。在热轧中,将具有上述的化学成分的板坯(钢坯)加热,进行粗轧。板坯加热温度设定为下述式(1)所表示的 $SRT_{min}^{\circ}C \sim 1260^{\circ}C$ 。

[0148] 
$$SRT_{min} = [7000 / \{2.75 - \log([Ti] \times [C])\} - 273] + 10000 / \{4.29 - \log([Nb] \times [C])\} - 273] / 2 \quad (1)$$

[0149] 这里,式(1)中的[Ti]、[Nb]、[C]表示以质量%计的Ti、Nb、C的含量。

[0150] 如果板坯加热温度低于 $SRT_{min}^{\circ}C$ ,则Ti和/或Nb不会充分固溶。如果在板坯加热时Ti和/或Nb没有固溶,则使Ti和/或Nb以碳化物(TiC、NbC)的形式微细析出、通过析出强化而使钢的强度提高变得困难。另外,如果板坯加热温度低于 $SRT_{min}^{\circ}C$ ,则通过碳化物(TiC、

NbC)的形成将C固定、抑制对扩孔弯边性有害的渗碳体的生成变得困难。另外,如果板坯加热温度低于 $SRT_{min}^{\circ}C$ ,则晶内的晶体取向差为 $5\sim 14^{\circ}$ 的晶粒的比例容易不足。因此,板坯加热温度设定为 $SRT_{min}^{\circ}C$ 以上。另一方面,如果板坯加热温度超过 $1260^{\circ}C$ ,则会因除氧化皮而导致成品率降低。因此,板坯加热温度设定为 $1260^{\circ}C$ 以下。

[0151] 通过粗轧而得到粗棒。如果粗轧的结束温度低于 $1000^{\circ}C$ ,则有可能精热轧后的晶粒发生扁平化从而在冲裁加工部的断裂面产生开裂。因此,粗轧的结束温度设定为 $1000^{\circ}C$ 以上。

[0152] 在粗轧后到精轧的完成为止的期间,也可以实施加热处理。通过进行加热处理,粗棒的宽度方向及长度方向的温度变得均匀,制品的卷材内的材质的不均变小。加热处理中的加热方法没有特别限定。例如只要通过炉加热、感应加热、通电加热、高频加热等方法来进行即可。

[0153] 在粗轧后到精轧的完成为止的期间,也可以进行除氧化皮。通过除氧化皮,表面粗糙度变小,疲劳特性有可能提高。除氧化皮的方法没有特别限定。例如可以通过高压的水流来进行。

[0154] 从粗轧的结束到精轧的开始为止的时间通过轧制中的奥氏体的再结晶行为而对冲裁断裂面的断面形态造成影响。如果从粗轧的结束到精轧的开始为止的时间低于45秒,则有可能冲裁端面的脆性断面率变大。因此,将从粗轧的结束到精轧的开始为止的时间设定为45秒以上。通过将时间设定为45秒以上,奥氏体的再结晶被进一步促进,能够将晶粒进一步制成球状,冲裁加工部的疲劳特性变得更加良好。

[0155] 通过精轧而得到热轧钢板。为了将晶内的取向差为 $5\sim 14^{\circ}$ 的晶粒的比例设定为20%以上,在精轧中将后3段(最终3道次)中的累积应变设定为 $0.5\sim 0.6$ ,在此基础上进行后述的冷却。这根据以下所示的理由。晶内的取向差为 $5\sim 14^{\circ}$ 的晶粒是通过在比较低的温度下以准平衡(paraequilibrium)状态进行相变而生成的。因此,通过在热轧中将相变前的奥氏体的位错密度限定在某个范围内,并且将之后的冷却速度限定在某个范围内,从而能够控制晶内的取向差为 $5\sim 14^{\circ}$ 的晶粒的生成。

[0156] 即,通过控制精轧的后3段中的累积应变及之后的冷却,能够控制晶内的取向差为 $5\sim 14^{\circ}$ 的晶粒的核生成频率及之后的生长速度。其结果是,能够控制冷却后得到的钢板中的晶内的取向差为 $5\sim 14^{\circ}$ 的晶粒的面积率。更具体而言,通过精轧而导入的奥氏体的位错密度主要与核生成频率相关,轧制后的冷却速度主要与生长速度相关。

[0157] 精轧的后3段的累积应变低于0.5时,所导入的奥氏体的位错密度不充分,晶内的取向差为 $5\sim 14^{\circ}$ 的晶粒的比例变得低于20%。因此,后3段的累积应变设定为0.5以上。另一方面,如果精轧的后3段的累积应变超过0.6,则在热轧中会引起奥氏体的再结晶,相变时的蓄积位错密度降低。其结果是,晶内的取向差为 $5\sim 14^{\circ}$ 的晶粒的比例变得低于20%。因此,后3段的累积应变设定为0.6以下。

[0158] 精轧的后3段的累积应变( $\epsilon_{eff.}$ )通过以下的式(2)来求出。

$$[0159] \quad \epsilon_{eff.} = \sum \epsilon_i(t, T) \quad (2)$$

[0160] 其中,

$$[0161] \quad \epsilon_i(t, T) = \epsilon_{i0} / \exp\{(t/\tau_R)^{2/3}\}、$$

$$[0162] \quad \tau_R = \tau_0 \cdot \exp(Q/RT)、$$

[0163]  $\tau_0=8.46 \times 10^{-9}$ 、

[0164]  $Q=183200\text{J}$ 、

[0165]  $R=8.314\text{J/K} \cdot \text{mol}$ 、

[0166]  $\varepsilon_{i0}$ 表示压下时的对数应变,  $t$ 表示该道次中的直至即将冷却之前的累积时间,  $T$ 表示该道次中的轧制温度。

[0167] 如果将轧制结束温度设定为低于 $Ar_3^\circ\text{C}$ , 则相变前的奥氏体的位错密度过度升高, 将晶内的取向差为 $5\sim 14^\circ$ 的晶粒设定为20%以上变得困难。因此, 精轧的结束温度设定为 $Ar_3^\circ\text{C}$ 以上。

[0168] 精轧优选使用将多个轧制机直线配置、沿1个方向进行连续轧制而得到规定的厚度的串列式轧机来进行。另外, 在使用串列式轧机来进行精轧的情况下, 在轧制机与轧制机之间进行冷却(轧机间冷却), 按照精轧中的钢板温度达到 $Ar_3^\circ\text{C}$ 以上 $\sim Ar_3+150^\circ\text{C}$ 以下的范围的方式进行控制。如果精轧时的钢板的最高温度超过 $Ar_3+150^\circ\text{C}$ , 则粒径会变得过大, 所以有可能韧性劣化。

[0169] 通过进行上述那样的条件的热轧, 能够限定相变前的奥氏体的位错密度范围、以所期望的比例得到晶内的取向差为 $5\sim 14^\circ$ 的晶粒。

[0170]  $Ar_3$ 通过基于钢板的化学成分而考虑了由压下引起的对相变点的影响的下述式(3)来算出。

[0171]  $Ar_3=970-325 \times [C]+33 \times [Si]+287 \times [P]+40 \times [Al]-92 \times ([Mn]+[Mo]+[Cu])-46 \times ([Cr]+[Ni])$  (3)

[0172] 其中,  $[C]$ 、 $[Si]$ 、 $[P]$ 、 $[Al]$ 、 $[Mn]$ 、 $[Mo]$ 、 $[Cu]$ 、 $[Cr]$ 、 $[Ni]$ 分别表示C、Si、P、Al、Mn、Mo、Cu、Cr、Ni的以质量%计的含量。对于没有含有的元素, 以0%来计算。

[0173] “空气冷却”

[0174] 在该制造方法中, 从精轧的结束起仅以超过2秒且为5秒以下的时间进行热轧钢板的空气冷却。该空气冷却时间与奥氏体的再结晶相关而对相变后的晶粒的扁平化造成影响。如果空气冷却时间为2秒以下, 则冲裁端面的脆性断面率变大。因此, 该空气冷却时间设定为超过2秒, 优选设定为2.5秒以上。如果空气冷却时间超过5秒, 则粗大的TiC和/或NbC析出从而强度的确保变得困难, 并且冲裁端面的性状劣化。因此, 空气冷却时间设定为5秒以下。

[0175] “第1冷却、第2冷却”

[0176] 在超过2秒且为5秒以下的空气冷却后, 依次进行热轧钢板的第1冷却及第2冷却。在第1冷却中, 以 $10^\circ\text{C/s}$ 以上的冷却速度将热轧钢板冷却至 $600\sim 750^\circ\text{C}$ 的第1温度区域。在第2冷却中, 以 $30^\circ\text{C/s}$ 以上的冷却速度将热轧钢板冷却至 $450\sim 650^\circ\text{C}$ 的第2温度区域。在第1冷却与第2冷却之间, 将热轧钢板在第1温度区域中保持1~10秒钟。优选在第2冷却后对热轧钢板进行空气冷却。

[0177] 如果第1冷却的冷却速度低于 $10^\circ\text{C/s}$ , 则晶内的晶体取向差为 $5\sim 14^\circ$ 的晶粒的比例不足。另外, 如果第1冷却的冷却停止温度低于 $600^\circ\text{C}$ , 则以面积率计得到30%以上的铁素体变得困难, 并且晶内的晶体取向差为 $5\sim 14^\circ$ 的晶粒的比例不足。第1冷却的冷却停止温度越高, 则铁素体分率越容易变高。从得到高铁素体分率的观点出发, 第1冷却的冷却停止温度设定为 $600^\circ\text{C}$ 以上, 优选设定为 $610^\circ\text{C}$ 以上, 更优选设定为 $620^\circ\text{C}$ 以上, 进一步优选设定为

630℃以上。另外,如果第1冷却的冷却停止温度超过750℃,则以面积率计得到5%以上的贝氏体变得困难,并且晶内的晶体取向差为5~14°的晶粒的比例不足、铁素体晶界面上的Ti系碳化物及Nb系碳化物的平均分布密度变得过量。

[0178] 如果600~750℃中的保持时间超过10秒,则变得容易生成对扩孔弯边性有害的渗碳体。另外,如果600~750℃中的保持时间超过10秒,则以面积率计得到5%以上的贝氏体变得困难的情况较多,进而晶内的晶体取向差为5~14°的晶粒的比例不足。如果600~750℃中的保持时间低于1秒,则以面积率计得到30%以上的铁素体变得困难,并且晶内的晶体取向差为5~14°的晶粒的比例不足。保持时间越长,则铁素体分率越容易变高。从得到高铁素体分率的观点出发,保持时间设定为1秒以上,优选设定为1.5秒以上,更优选设定为2秒以上,进一步优选设定为2.5秒以上。

[0179] 如果第2冷却的冷却速度低于30℃/s,则变得容易生成对扩孔弯边性有害的渗碳体,并且晶内的晶体取向差为5~14°的晶粒的比例不足。如果第2冷却的冷却停止温度低于450℃,则以面积率计得到30%以上的铁素体变得困难,并且晶内的晶体取向差为5~14°的晶粒的比例不足。第2冷却的冷却停止温度越高,则铁素体分率越容易变高。从得到高铁素体分率的观点出发,第2冷却的冷却停止温度设定为450℃以上,更优选设定为510℃以上,进一步优选设定为550℃以上。另一方面,如果第2冷却的冷却停止温度超过650℃,则以面积率计得到5%以上的贝氏体变得困难,并且晶内的取向差为5~14°的晶粒的比例不足。

[0180] 第1冷却及第2冷却中的冷却速度的上限没有特别限定,但也可以考虑冷却设备的设备能力而设定为200℃/s以下。铁素体及贝氏体的面积率复合地依赖于第1冷却、第2冷却及它们之间的保持的条件,无法仅以这些各个条件来进行控制,但例如存在下面那样的倾向。即,如果第1冷却的冷却停止温度为610℃以上,则容易将铁素体的面积率设定为40%以上,如果为620℃,则容易将铁素体的面积率设定为50%以上,如果为630℃,则容易将铁素体的面积率设定为60%以上。

[0181] 像这样操作能够得到本实施方式的钢板。

[0182] 在上述的制造方法中,通过控制热轧的条件,从而在奥氏体中导入加工位错。在此基础上,通过控制冷却条件来适度保留所导入的加工位错是重要的。即,即使单独控制热轧的条件或冷却的条件,也无法得到本实施方式的钢板,适当控制热轧及冷却的条件这两者是重要的。对于上述以外的条件,例如只要使用在第2冷却之后通过公知的方法进行卷取等公知的方法即可,没有特别限定。

[0183] 为了除去表面的氧化皮,也可以进行酸洗。只要热轧及冷却的条件如上所述,则即使之后进行冷轧、热处理(退火)、镀覆等也能够得到同样的效果。

[0184] 在冷轧中,优选将压下率设定为90%以下。如果冷轧中的压下率超过90%,则有可能延展性降低。也可以不进行冷轧,冷轧中的压下率的下限为0%。如上所述,在热轧原板的状态下,具有优异的成形性。另一方面,通过固溶状态的Ti、Nb、Mo等在通过冷轧而导入的位错上集中、析出,从而能够使屈服点(YP)、抗拉强度(TS)提高。因此,为了调整强度,可以使用冷轧。通过冷轧而得到冷轧钢板。

[0185] 冷轧后的热处理(退火)的温度优选设定为840℃以下。在退火时,产生下述复杂的现象:因在热轧的阶段没有完全析出的Ti、Nb析出而带来的强化、位错的恢复、由析出物的粗大化而引起的软质化等。如果退火温度超过840℃,则析出物的粗大化的效果大,晶内的

晶体取向差为 $5\sim 14^\circ$ 的晶粒的比例不足。退火温度更优选设定为 $820^\circ\text{C}$ 以下,进一步优选设定为 $800^\circ\text{C}$ 以下。退火温度的下限没有特别设定。这是因为:如上所述,在不进行退火的热轧原板的状态下,具有优异的成形性。

[0186] 在本实施方式的钢板的表面,也可以形成有镀层。即,作为本发明的其它实施方式,可列举出镀覆钢板。镀层例如为电镀层、热浸镀层或合金化热浸镀层。作为热浸镀层及合金化热浸镀层,例如可列举出由锌及铝中的至少任一者形成的层。具体而言,可列举出热浸镀锌层、合金化热浸镀锌层、热浸镀铝层、合金化热浸镀铝层、热浸镀Zn-Al层及合金化热浸镀Zn-Al层等。特别是从镀覆的容易性、防蚀性的观点出发,优选热浸镀锌层及合金化热浸镀锌层。

[0187] 热浸镀钢板、合金化热浸镀钢板通过对上述的本实施方式的钢板实施热浸镀或合金化热浸镀来制造。这里,所谓合金化热浸镀是指实施热浸镀而在表面形成热浸镀层、接着实施合金化处理而将热浸镀层制成合金化热浸镀层。实施镀覆的钢板可以是热轧钢板,也可以是对热轧钢板实施了冷轧和退火的钢板。热浸镀钢板、合金化热浸镀钢板由于具有本实施方式的钢板、并且在表面设置有热浸镀层或合金化热浸镀层,所以能够在达成本实施方式的钢板的作用效果的同时达成优异的防锈性。在实施镀覆之前,作为预镀覆,也可以使表面带有Ni等。

[0188] 在对钢板实施热处理(退火)的情况下,也可以在进行了热处理之后,直接浸渍到热浸镀锌浴中从而在钢板的表面形成热浸镀锌层。该情况下,热处理的原板可以是热轧钢板,也可以是冷轧钢板。也可以在形成热浸镀锌层之后,再加热而进行使镀层与基底发生金属合金化的合金化处理,形成合金化热浸镀锌层。

[0189] 本发明的实施方式的镀覆钢板由于在钢板的表面形成有镀层,所以具有优异的防锈性。因此,例如在使用本实施方式的镀覆钢板而使汽车的构件薄壁化的情况下,能够防止汽车的使用寿命因构件的腐蚀而变短。

[0190] 需要说明的是,上述实施方式都只不过是示出了在实施本发明时的具体化的例子,本发明的技术范围并不受它们的限定性解释。即,本发明在不脱离其技术思想或其主要特征的情况下,可以以各种形式实施。

[0191] 实施例

[0192] 接下来,对本发明的实施例进行说明。实施例中的条件是为了确认本发明的可实施性及效果而采用的一个条件例,本发明并不限于该一个条件例。本发明只要不脱离本发明的主旨,达成本发明的目的,则可以采用各种条件。

[0193] 对具有表1及表2中所示的化学组成的钢进行熔炼而制造钢坯,将所得到的钢坯加热至表3及表4中所示的加热温度,在表3及表4中所示的条件下进行粗轧,接着,在表3及表4中所示的条件下进行了精轧。精轧后的热轧钢板的板厚为 $2.2\sim 3.4\text{mm}$ 。表1及表2的空栏是指分析值低于检测极限。表3及表4中的“经过时间”是从粗轧的结束到精轧的开始为止的经过时间。表1及表2中的下划线表示该数值脱离了本发明的范围,表4中的下划线表示脱离了适合于制造本发明的钢板的范围。

[0194] 表1

[0195]

| 钢<br>No. | 化学组成 (质量%、剩余部分: Fe及杂质) |             |             |       |       |       |              |       |        |
|----------|------------------------|-------------|-------------|-------|-------|-------|--------------|-------|--------|
|          | C                      | Si          | Mn          | P     | S     | Al    | Ti           | Nb    | N      |
| A        | 0.047                  | 0.41        | 0.72        | 0.011 | 0.005 | 0.050 | 0.150        | 0.031 | 0.0026 |
| B        | 0.036                  | 0.32        | 1.02        | 0.019 | 0.003 | 0.030 | 0.090        | 0.022 | 0.0019 |
| C        | 0.070                  | 1.22        | 1.21        | 0.022 | 0.006 | 0.040 | 0.110        | 0.042 | 0.0034 |
| D        | 0.053                  | 0.81        | 1.51        | 0.016 | 0.012 | 0.030 | 0.110        | 0.033 | 0.0027 |
| E        | 0.040                  | 0.22        | 0.99        | 0.013 | 0.008 | 0.030 |              | 0.062 | 0.0031 |
| F        | 0.041                  | 0.93        | 1.23        | 0.014 | 0.010 | 0.030 | 0.150        | 0.037 | 0.0034 |
| G        | 0.064                  | 0.72        | 1.21        | 0.014 | 0.009 | 0.100 | 0.120        | 0.031 | 0.0043 |
| H        | 0.051                  | 0.53        | 1.33        | 0.016 | 0.008 | 0.030 | 0.140        | 0.041 | 0.0027 |
| I        | 0.059                  | 0.62        | 1.02        | 0.010 | 0.010 | 0.080 | 0.110        | 0.023 | 0.0021 |
| J        | 0.031                  | 0.62        | 0.73        | 0.013 | 0.006 | 0.030 | 0.110        | 0.022 | 0.0027 |
| K        | 0.043                  | 1.42        | 1.72        | 0.011 | 0.003 | 0.050 | 0.150        | 0.032 | 0.0035 |
| L        | 0.054                  | 0.43        | 1.52        | 0.014 | 0.005 | 0.040 | 0.130        | 0.041 | 0.0023 |
| M        | 0.056                  | 0.22        | 1.23        | 0.016 | 0.008 | 0.030 | 0.160        | 0.021 | 0.0011 |
| N        | 0.066                  | 0.81        | 1.41        | 0.015 | 0.007 | 0.050 | 0.090        | 0.017 | 0.0021 |
| O        | 0.061                  | 0.61        | 1.62        | 0.018 | 0.009 | 0.040 | 0.120        | 0.023 | 0.0027 |
| P        | 0.052                  | 0.81        | 1.82        | 0.015 | 0.010 | 0.030 | 0.100        | 0.033 | 0.0027 |
| Q        | 0.039                  | 0.13        | 1.41        | 0.010 | 0.008 | 0.200 | 0.070        | 0.012 | 0.0027 |
| R        | 0.026                  | 0.05        | 1.16        | 0.011 | 0.004 | 0.015 | 0.070        |       | 0.0029 |
| S        | 0.092                  | 0.05        | 1.20        | 0.002 | 0.003 | 0.030 | 0.015        | 0.029 | 0.0030 |
| T        | 0.062                  | 0.06        | 1.48        | 0.017 | 0.003 | 0.035 | 0.055        | 0.035 | 0.0031 |
| U        | 0.081                  | 0.04        | 1.52        | 0.014 | 0.004 | 0.030 | 0.022        | 0.020 | 0.0034 |
| a        | <u>0.162</u>           | 0.42        | 1.22        | 0.010 | 0.006 | 0.300 | 0.080        | 0.043 | 0.0015 |
| b        | 0.051                  | <u>2.73</u> | 0.82        | 0.012 | 0.010 | 0.050 | 0.090        | 0.032 | 0.0024 |
| c        | 0.047                  | 0.23        | <u>3.21</u> | 0.015 | 0.008 | 0.040 | 0.080        | 0.041 | 0.0030 |
| d        | 0.039                  | 0.52        | 0.82        | 0.013 | 0.007 | 0.030 | 0.050        | 0.002 | 0.0043 |
| e        | 0.064                  | 0.62        | 1.72        | 0.016 | 0.012 | 0.030 | <u>0.250</u> | 0.032 | 0.0021 |
| g        | 0.049                  | 0.52        | 1.22        | 0.018 | 0.009 | 0.060 | 0.150        | 0.081 | 0.0027 |

[0196] 表2

[0197]

| 钢<br>No. | 化学组成 (质量%、剩余部分: Fe及杂质) |        |      |      |      |        |       |        |       |       | Ar3<br>(°C) |
|----------|------------------------|--------|------|------|------|--------|-------|--------|-------|-------|-------------|
|          | Cr                     | B      | Mo   | Cu   | Ni   | Mg     | REM   | Ca     | Zr    | Ti+Nb |             |
| A        |                        |        |      |      |      |        |       |        |       | 0.181 | 907         |
| B        |                        |        |      |      |      |        |       |        |       | 0.112 | 882         |
| C        |                        |        |      |      |      |        |       | 0.001  |       | 0.152 | 884         |
| D        | 0.15                   |        |      |      |      |        |       |        |       | 0.143 | 839         |
| E        |                        |        |      |      |      |        |       |        |       | 0.062 | 878         |
| F        |                        |        |      |      |      |        |       |        |       | 0.187 | 880         |
| G        |                        | 0.0010 |      |      |      |        |       |        |       | 0.151 | 870         |
| H        |                        |        |      |      |      |        |       |        |       | 0.181 | 855         |
| I        |                        |        |      | 0.06 | 0.03 |        |       |        | 0.001 | 0.133 | 877         |
| J        |                        |        |      |      |      |        |       |        |       | 0.132 | 918         |
| K        |                        |        | 0.13 |      |      |        |       |        |       | 0.182 | 838         |
| L        |                        |        |      |      |      |        | 0.005 |        |       | 0.171 | 832         |
| M        |                        |        |      | 0.08 | 0.04 |        |       |        |       | 0.181 | 842         |
| N        |                        |        |      |      |      |        |       |        |       | 0.107 | 852         |
| O        |                        |        |      |      |      | 0.0003 |       |        |       | 0.143 | 828         |
| P        |                        |        |      |      |      |        |       |        |       | 0.133 | 818         |
| Q        |                        |        |      |      |      |        |       |        |       | 0.082 | 843         |
| R        |                        |        |      |      |      |        |       |        |       | 0.070 | 860         |
| S        |                        |        |      |      |      |        |       |        |       | 0.044 | 833         |
| T        |                        |        |      |      |      |        |       |        |       | 0.090 | 822         |
| U        |                        |        |      |      |      |        |       |        |       | 0.042 | 811         |
| a        |                        |        |      |      |      |        |       |        |       | 0.123 | 834         |
| b        |                        |        |      |      |      |        |       | 0.0006 |       | 0.122 | 974         |
| c        |                        |        |      |      |      |        |       |        |       | 0.121 | 673         |
| d        |                        | 0.0030 |      |      |      |        |       |        |       | 0.007 | 904         |
| e        |                        |        |      |      |      |        |       |        |       | 0.282 | 817         |
| g        |                        |        |      |      |      |        |       |        |       | 0.231 | 867         |

[0198] 表3

[0199]

| 试验<br>No. | 钢<br>No. | Ar3<br>(°C) | SRT<br>min<br>(°C) | 加热<br>温度<br>(°C) | 精轧<br>结束温度<br>(°C) | 经过<br>时间<br>(秒) | 精轧<br>结束温度<br>(°C) | 精轧<br>后3段的<br>累积应变 | 精轧时的<br>钢板的最高温度<br>(°C) |
|-----------|----------|-------------|--------------------|------------------|--------------------|-----------------|--------------------|--------------------|-------------------------|
| 1         | A        | 907         | 1141               | 1199             | 1056               | 90              | 918                | 0.57               | 1047                    |
| 2         | B        | 882         | 1071               | 1172             | 1069               | 60              | 902                | 0.57               | 1017                    |
| 3         | C        | 884         | 1179               | 1228             | 1065               | 80              | 912                | 0.58               | 1006                    |
| 4         | D        | 839         | 1139               | 1209             | 1100               | 50              | 886                | 0.56               | 985                     |
| 5         | E        | 878         | 1051               | 1173             | 1090               | 70              | 903                | 0.54               | 1006                    |
| 6         | F        | 880         | 1133               | 1202             | 1090               | 90              | 928                | 0.54               | 1018                    |
| 7         | G        | 870         | 1162               | 1171             | 1057               | 80              | 912                | 0.55               | 990                     |
| 8         | H        | 855         | 1158               | 1230             | 1060               | 50              | 921                | 0.58               | 1002                    |
| 9         | I        | 877         | 1134               | 1215             | 1091               | 60              | 897                | 0.59               | 998                     |
| 10        | J        | 918         | 1067               | 1238             | 1097               | 90              | 948                | 0.59               | 1021                    |
| 11        | K        | 838         | 1135               | 1194             | 1090               | 90              | 895                | 0.53               | 973                     |
| 12        | L        | 832         | 1161               | 1210             | 1068               | 70              | 921                | 0.58               | 977                     |
| 13        | M        | 842         | 1149               | 1224             | 1051               | 90              | 917                | 0.55               | 961                     |
| 14        | N        | 852         | 1120               | 1170             | 1100               | 80              | 892                | 0.54               | 980                     |
| 15        | O        | 828         | 1143               | 1192             | 1095               | 80              | 894                | 0.60               | 973                     |
| 16        | P        | 818         | 1131               | 1174             | 1072               | 90              | 886                | 0.57               | 950                     |
| 17        | Q        | 843         | 1041               | 1194             | 1079               | 50              | 915                | 0.58               | 980                     |
| 18        | R        | 860         | 1000               | 1240             | 1074               | 90              | 930                | 0.55               | 965                     |
| 19        | S        | 833         | 1079               | 1246             | 1096               | 80              | 913                | 0.56               | 940                     |
| 20        | T        | 822         | 1117               | 1249             | 1073               | 80              | 942                | 0.59               | 968                     |
| 21        | U        | 811         | 1069               | 1241             | 1056               | 60              | 910                | 0.59               | 951                     |

[0200] 表4

[0201]

| 试验 No. | 钢 No. | Ar3 (°C) | SRT min (°C) | 加热温度 (°C) | 精轧结束温度 (°C) | 经过时间 (秒) | 精轧结束温度 (°C) | 精轧后3段的累积应变 | 精轧时的钢板的最高温度 (°C) |
|--------|-------|----------|--------------|-----------|-------------|----------|-------------|------------|------------------|
| 22     | a     | 834      | 1257         | 1200      | 1078        | 70       | 901         | 0.56       | 1000             |
| 23     | b     | 974      | 1120         | 1171      | 1063        | 60       | 999         | 0.58       | 1060             |
| 24     | c     | 673      | 1116         | 1202      | 1079        | 60       | 778         | 0.60       | 820              |
| 25     | d     | 904      | 962          | 1210      | 1081        | 70       | 913         | 0.57       | 984              |
| 26     | e     | 817      | 1212         | 1275      | 1092        | 70       | 886         | 0.55       | 950              |
| 27     | g     | 867      | 1191         | 1217      | 1061        | 50       | 914         | 0.57       | 970              |
| 28     | M     | 842      | 1149         | 1120      | 1062        | 90       | 906         | 0.57       | 990              |
| 29     | C     | 884      | 1179         | 1194      | 1075        | 70       | 840         | 0.54       | 1020             |
| 30     | C     | 884      | 1179         | 1194      | 1091        | 70       | 897         | 0.44       | 1015             |
| 31     | C     | 884      | 1179         | 1194      | 1076        | 70       | 913         | 0.70       | 1020             |
| 32     | C     | 884      | 1179         | 1215      | 1078        | 80       | 951         | 0.59       | 1070             |
| 33     | C     | 884      | 1179         | 1198      | 1089        | 90       | 914         | 0.58       | 1000             |
| 34     | C     | 884      | 1179         | 1195      | 1080        | 90       | 930         | 0.58       | 990              |
| 35     | M     | 842      | 1149         | 1193      | 1060        | 70       | 902         | 0.54       | 980              |
| 36     | M     | 842      | 1149         | 1174      | 1083        | 90       | 903         | 0.55       | 970              |
| 37     | M     | 842      | 1149         | 1204      | 1074        | 90       | 903         | 0.58       | 990              |
| 38     | M     | 842      | 1149         | 1210      | 1087        | 60       | 914         | 0.58       | 988              |
| 39     | M     | 842      | 1149         | 1216      | 1073        | 90       | 913         | 0.59       | 993              |
| 40     | M     | 842      | 1149         | 1213      | 1061        | 50       | 905         | 0.55       | 988              |
| 41     | M     | 842      | 1149         | 1221      | 980         | 50       | 912         | 0.56       | 989              |
| 42     | M     | 842      | 1149         | 1223      | 1074        | 10       | 921         | 0.55       | 969              |
| 43     | M     | 842      | 1149         | 1223      | 1098        | 90       | 916         | 0.57       | 978              |
| 44     | M     | 842      | 1149         | 1222      | 1088        | 90       | 904         | 0.55       | 976              |
| 45     | M     | 842      | 1149         | 1211      | 1068        | 90       | 902         | 0.53       | 979              |

[0202] Ar<sub>3</sub> (°C) 由表1及表2中所示的成分使用式 (3) 而求出。

$$[0203] \quad Ar_3 = 970 - 325 \times [C] + 33 \times [Si] + 287 \times [P] + 40 \times [Al] - 92 \times ([Mn] + [Mo] + [Cu]) - 46 \times ([Cr] + [Ni]) \quad (3)$$

[0204] 精轧3段的累积应变由式 (2) 求出。

$$[0205] \quad \varepsilon_{eff.} = \sum \varepsilon_i(t, T) \quad (2)$$

[0206] 其中,

$$[0207] \quad \varepsilon_i(t, T) = \varepsilon_{i0} / \exp\{(t/\tau_R)^{2/3}\},$$

$$[0208] \quad \tau_R = \tau_0 \cdot \exp(Q/RT),$$

$$[0209] \quad \tau_0 = 8.46 \times 10^{-9},$$

$$[0210] \quad Q = 183200J,$$

$$[0211] \quad R = 8.314J/K \cdot mol,$$

[0212]  $\varepsilon_{i0}$ 表示压下时的对数应变,  $t$ 表示该道次中的直至即将冷却之前的累积时间,  $T$ 表示该道次中的轧制温度。

[0213] 接着,在表5及表6中所示的条件下进行热轧钢板的空气冷却、第1冷却、第1温度区域中的保持、第2冷却,得到了试验No.1~45的热轧钢板。空气冷却时间相当于从精轧的结

束到第1冷却的开始为止的时间。

[0214] 对于试验No.21的热轧钢板,以表5中所示的压下率实施冷轧,在表5中所示的热处理温度下实施热处理后,形成热浸镀锌层,进一步进行合金化处理,在表面形成了合金化热浸镀锌层(GA)。对于试验No.18~20、45的热轧钢板,在表5及表6中所示的热处理温度下实施了热处理。试验No.18~20的热轧钢板在实施了热处理后,在表面形成了热浸镀锌层(GI)。表6中的下划线表示脱离了适合于制造本发明的钢板的范围。

[0215] 表5

[0216]

| 试验 No. | 钢 No. | 空气冷却时间 (秒) | 第1冷却的冷却速度 (°C/秒) | 第1冷却的冷却停止温度 (°C) | 第1温度区域中的保持时间 (秒) | 第2冷却的冷却速度 (°C/秒) | 第2冷却的冷却停止温度 (°C) | 冷轧的压下率 (%) | 热处理温度 (°C) | 镀覆 |
|--------|-------|------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------|------------|----|
| 1      | A     | 3.7        | 32               | 690              | 3                | 35               | 570              | 无          | 无          | 无  |
| 2      | B     | 4.4        | 39               | 640              | 4                | 40               | 580              | 无          | 无          | 无  |
| 3      | C     | 2.7        | 41               | 610              | 2                | 45               | 600              | 无          | 无          | 无  |
| 4      | D     | 3.1        | 55               | 630              | 5                | 35               | 620              | 无          | 无          | 无  |
| 5      | E     | 2.5        | 42               | 650              | 3                | 40               | 590              | 无          | 无          | 无  |
| 6      | F     | 3.5        | 45               | 620              | 4                | 50               | 565              | 无          | 无          | 无  |
| 7      | G     | 2.9        | 57               | 660              | 6                | 33               | 510              | 无          | 无          | 无  |
| 8      | H     | 2.6        | 30               | 670              | 3                | 40               | 570              | 无          | 无          | 无  |
| 9      | I     | 2.8        | 55               | 630              | 2                | 35               | 620              | 无          | 无          | 无  |
| 10     | J     | 2.5        | 48               | 680              | 4                | 40               | 600              | 无          | 无          | 无  |
| 11     | K     | 3.8        | 40               | 690              | 8                | 36               | 640              | 无          | 无          | 无  |
| 12     | L     | 3.3        | 77               | 650              | 3                | 60               | 570              | 无          | 无          | 无  |
| 13     | M     | 3.9        | 73               | 640              | 2                | 54               | 550              | 无          | 无          | 无  |
| 14     | N     | 2.5        | 59               | 650              | 4                | 65               | 530              | 无          | 无          | 无  |
| 15     | O     | 2.7        | 62               | 660              | 6                | 36               | 540              | 无          | 无          | 无  |
| 16     | P     | 2.8        | 37               | 630              | 5                | 55               | 580              | 无          | 无          | 无  |
| 17     | Q     | 2.8        | 37               | 680              | 5                | 49               | 620              | 无          | 无          | 无  |
| 18     | R     | 3.1        | 59               | 660              | 3                | 30               | 600              | 无          | 700        | GI |
| 19     | S     | 3.8        | 63               | 660              | 3                | 30               | 630              | 无          | 700        | GI |
| 20     | T     | 2.8        | 62               | 620              | 3                | 30               | 600              | 无          | 700        | GI |
| 21     | U     | 3.6        | 74               | 610              | 3                | 30               | 550              | 62%        | 750        | GA |

[0217] 表6

[0218]

| 试验 No. | 钢 No. | 空气冷却时间 (秒) | 第1冷却的冷却速度 (°C/秒) | 第1冷却的冷却停止温度 (°C) | 第1温度区域中的保持时间 (秒) | 第2冷却的冷却速度 (°C/秒) | 第2冷却的冷却停止温度 (°C) | 冷轧的压下率 (%) | 热处理温度 (°C) | 镀覆 |
|--------|-------|------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------|------------|----|
| 22     | a     | 2.8        | 44               | 690              | 4                | 35               | 600              | 无          | 无          | 无  |
| 23     | b     | 4          | 48               | 690              | 5                | 45               | 570              | 无          | 无          | 无  |
| 24     | c     | 4.1        | 60               | 700              | 6                | 37               | 560              | 无          | 无          | 无  |
| 25     | d     | 3.1        | 33               | 670              | 2                | 42               | 550              | 无          | 无          | 无  |
| 26     | e     | 2.5        | 42               | 640              | 3                | 53               | 540              | 无          | 无          | 无  |
| 27     | g     | 3.1        | 55               | 710              | 4                | 46               | 650              | 无          | 无          | 无  |
| 28     | M     | 4.2        | 45               | 690              | 4                | 35               | 570              | 无          | 无          | 无  |
| 29     | C     | 2.9        | 27               | 740              | 3                | 50               | 590              | 无          | 无          | 无  |
| 30     | C     | 3.4        | 36               | 720              | 6                | 43               | 600              | 无          | 无          | 无  |
| 31     | C     | 3.2        | 61               | 710              | 3                | 54               | 570              | 无          | 无          | 无  |
| 32     | C     | 3.6        | 49               | 720              | 3                | 43               | 550              | 无          | 无          | 无  |
| 33     | C     | 4.4        | 5                | 680              | 6                | 35               | 570              | 无          | 无          | 无  |
| 34     | C     | 4          | 39               | 530              | 4                | 36               | 520              | 无          | 无          | 无  |
| 35     | M     | 3.3        | 56               | 795              | 5                | 35               | 620              | 无          | 无          | 无  |
| 36     | M     | 3.7        | 35               | 710              | 0                | 48               | 560              | 无          | 无          | 无  |
| 37     | M     | 3.9        | 36               | 650              | 15               | 45               | 550              | 无          | 无          | 无  |
| 38     | M     | 2.9        | 37               | 700              | 4                | 5                | 570              | 无          | 无          | 无  |
| 39     | M     | 4.5        | 47               | 600              | 5                | 43               | 360              | 无          | 无          | 无  |
| 40     | M     | 3.5        | 42               | 700              | 3                | 35               | 670              | 无          | 无          | 无  |
| 41     | M     | 4.3        | 60               | 700              | 2                | 54               | 550              | 无          | 无          | 无  |
| 42     | M     | 2.8        | 71               | 680              | 2                | 54               | 550              | 无          | 无          | 无  |
| 43     | M     | 0.5        | 73               | 670              | 2                | 54               | 550              | 无          | 无          | 无  |
| 44     | M     | 8          | 60               | 710              | 2                | 54               | 550              | 无          | 无          | 无  |
| 45     | M     | 2.7        | 41               | 730              | 3                | 35               | 650              | 无          | 860        | 无  |

[0219] 然后,对于各钢板(试验No.1~17、22~44的热轧钢板、实施了热处理的试验No.18~20、45的热轧钢板、实施了热处理的试验No.21的冷轧钢板),通过以下所示的方法,求出了铁素体、贝氏体、马氏体、珠光体的组织分率(面积率)及晶内的取向差为5~14°的晶粒的

比例。将其结果示于表7及表8中。在包含马氏体和/或珠光体的情况下,记载于表中的“剩余部分的组织”的栏中。表8中的下划线表示其数值脱离了本发明的范围。

[0220] “铁素体、贝氏体、马氏体、珠光体的组织分率(面积率)”

[0221] 首先,对从钢板中采集的试样用硝酸乙醇进行了蚀刻。对在蚀刻后使用光学显微镜在板厚的1/4深度的位置处以 $300\mu\text{m}\times 300\mu\text{m}$ 的视场得到的组织照片进行了图像解析。通过该图像解析,得到了铁素体的面积率、珠光体的面积率以及贝氏体及马氏体的合计面积率。接着,对使用经Lepera腐蚀的试样并使用光学显微镜在板厚的1/4深度的位置处以 $300\mu\text{m}\times 300\mu\text{m}$ 的视场得到的组织照片进行了图像解析。通过该图像解析,得到了残留奥氏体及马氏体的合计面积率。进而,使用从轧制面法线方向面削至板厚的1/4深度为止的试样,通过X射线衍射测定求出了残留奥氏体的体积率。残留奥氏体的体积率由于与面积率同等,所以将其设定为残留奥氏体的面积率。然后,通过从残留奥氏体及马氏体的合计面积率中减去残留奥氏体的面积率而得到马氏体的面积率,通过从贝氏体及马氏体的合计面积率中减去马氏体的面积率而得到贝氏体的面积率。像这样操作,得到了铁素体、贝氏体、马氏体、残留奥氏体及珠光体各自的面积率。

[0222] “晶内的取向差为 $5\sim 14^\circ$ 的晶粒的比例”

[0223] 对于距离钢板表面为板厚 $t$ 的1/4深度位置(1/4 $t$ 部)的轧制方向垂直截面,对在轧制方向上为 $200\mu\text{m}$ 、在轧制面法线方向上为 $100\mu\text{m}$ 的区域以 $0.2\mu\text{m}$ 的测定间隔进行EBSD解析而得到了晶体取向信息。这里,EBSD解析是使用由热场致发射型扫描电子显微镜(JEOL制JSM-7001F)和EBSD检测器(TSL制HIKARI检测器)构成的装置,以 $200\sim 300$ 点/秒的解析速度来实施。接着,对于所得到的晶体取向信息,将取向差为 $15^\circ$ 以上并且当量圆直径为 $0.3\mu\text{m}$ 以上的区域定义为晶粒,计算出晶粒的晶内的平均取向差,求出了晶内的取向差为 $5\sim 14^\circ$ 的晶粒的比例。上述定义的晶粒、晶内的平均取向差使用EBSD解析装置附属的软件“OIM Analysis(注册商标)”来算出。

[0224] 对于各钢板(试验No.1~17、22~44的热轧钢板、实施了热处理的试验No.18~20、45的热轧钢板、实施了热处理的试验No.21的冷轧钢板),通过以下所示的方法,求出了晶粒的当量椭圆的平均长宽比和铁素体晶界上的粒径为 $20\text{nm}$ 以上的Ti系碳化物及Nb系碳化物的合计的平均分布密度。将其结果示于表7及表8中。

[0225] “晶粒的当量椭圆的平均长宽比”

[0226] 使用上述的EBSD对L截面(与轧制方向平行的截面)进行组织观察,对于50个以上的晶粒分别算出(椭圆长轴长度)/(椭圆短轴长度),求出所算出的值的平均值。图2是表示算出晶粒的平均长宽比的方法的图。图2中所示的晶粒14是由晶界倾角为 $15^\circ$ 以上的大倾角晶界所围成的粒。如图2中所示的那样,椭圆长轴12是指下述直线:使用上述的EBSD来观察的各晶粒14的晶界11上的连接任意的2点间的直线中的最长的直线。椭圆短轴13是指下述直线:使用上述的EBSD来观察的各晶粒14的晶界11上的连接任意的2点间的直线中的通过将椭圆长轴12的长度两等分的点且与椭圆长轴12正交的直线。

[0227] “铁素体晶界上的粒径为 $20\text{nm}$ 以上的Ti系碳化物及Nb系碳化物的合计的平均分布密度”

[0228] 使用SEM对L截面进行观察,测定铁素体晶界的长度,进一步计测了该铁素体晶界上的粒径为 $20\text{nm}$ 以上的Ti系碳化物及Nb系碳化物的合计的个数。使用所计测的Ti系碳化物

及Nb系碳化物的合计的个数,算出了铁素体晶界的每1 $\mu\text{m}$ 长度的Ti系碳化物及Nb系碳化物的合计的个数即平均分布密度。需要说明的是,Ti系碳化物及Nb系碳化物的粒径是指Ti系碳化物及Nb系碳化物的当量圆半径。

[0229] 表7

[0230]

| 试验 No. | 铁素体的面积率 (%) | 贝氏体的面积率 (%) | 剩余部分的组织 (%) | 晶内的取向差为5~14°的晶粒的比例 (%) | 平均长宽比 | 晶界上的Ti系碳化物及Nb系碳化物的合计的密度 (个/ $\mu\text{m}$ ) | 备注   |
|--------|-------------|-------------|-------------|------------------------|-------|---|------|
| 1      | 35          | 65          | 0           | 54                     | 3.5   | 2.00  | 本发明例 |
| 2      | 60          | 40          | 0           | 79                     | 3.5   | 1.00  | 本发明例 |
| 3      | 40          | 60          | 0           | 72                     | 3.5   | 3.00  | 本发明例 |
| 4      | 60          | 40          | 0           | 71                     | 3.0   | 4.00  | 本发明例 |
| 5      | 50          | 50          | 0           | 39                     | 3.0   | 4.00  | 本发明例 |
| 6      | 38          | 62          | 0           | 52                     | 3.1   | 3.00  | 本发明例 |
| 7      | 49          | 51          | 0           | 68                     | 3.3   | 2.00  | 本发明例 |
| 8      | 50          | 50          | 0           | 75                     | 3.3   | 4.00  | 本发明例 |
| 9      | 49          | 51          | 0           | 73                     | 3.4   | 2.00  | 本发明例 |
| 10     | 50          | 50          | 0           | 77                     | 2.9   | 3.00  | 本发明例 |
| 11     | 40          | 60          | 0           | 52                     | 3.2   | 4.00  | 本发明例 |
| 12     | 65          | 35          | 0           | 82                     | 3.4   | 2.00  | 本发明例 |
| 13     | 48          | 52          | 0           | 67                     | 3.0   | 2.00  | 本发明例 |
| 14     | 50          | 50          | 0           | 56                     | 2.8   | 3.00  | 本发明例 |
| 15     | 40          | 60          | 0           | 86                     | 3.4   | 2.00  | 本发明例 |
| 16     | 30          | 70          | 0           | 89                     | 3.0   | 1.00  | 本发明例 |
| 17     | 60          | 40          | 0           | 91                     | 3.2   | 3.00  | 本发明例 |
| 18     | 40          | 60          | 0           | 85                     | 3.2   | 3.00  | 本发明例 |
| 19     | 75          | 25          | 0           | 84                     | 3.4   | 3.00  | 本发明例 |
| 20     | 38          | 62          | 0           | 72                     | 3.3   | 1.00  | 本发明例 |
| 21     | 45          | 55          | 0           | 92                     | 2.9   | 2.00  | 本发明例 |

[0231] 表8

[0232]

| 试验 No. | 铁素体的面积率 (%) | 贝氏体的面积率 (%) | 剩余部分的组织 (%)        | 晶内的取向差为5~14°的晶粒的比例 (%) | 平均长宽比      | 晶界上的Ti系碳化物及Nb系碳化物的合计的密度 (个/μm) | 备注  |
|--------|-------------|-------------|--------------------|------------------------|------------|--------------------------------|-----|
| 22     | <u>0</u>    | 55          | 8%珠光体、<br>剩余部分为马氏体 | <u>18</u>              | 3.1        | 3.00                           | 比较例 |
| 23     | <u>100</u>  | <u>0</u>    | 0                  | <u>10</u>              | 3.2        | 4.00                           | 比较例 |
| 24     | <u>3</u>    | 35          | 剩余部分为马氏体           | 27                     | 3.3        | 1.00                           | 比较例 |
| 25     | 67          | 33          | 0                  | 28                     | 2.8        | 1.00                           | 比较例 |
| 26     | 轧制中产生开裂     |             |                    |                        |            |                                | 比较例 |
| 27     | 73          | 27          | 0                  | <u>6</u>               | 3.2        | 4.00                           | 比较例 |
| 28     | 76          | 24          | 0                  | <u>18</u>              | 3.4        | 4.00                           | 比较例 |
| 29     | 80          | 20          | 0                  | <u>3</u>               | <u>5.3</u> | 4.00                           | 比较例 |
| 30     | 75          | 25          | 0                  | <u>15</u>              | <u>5.5</u> | 4.00                           | 比较例 |
| 31     | 55          | 45          | 0                  | <u>13</u>              | 2.9        | 4.00                           | 比较例 |
| 32     | 50          | 50          | 0                  | <u>5</u>               | 3.3        | 3.00                           | 比较例 |
| 33     | 45          | 55          | 0                  | <u>17</u>              | 3.1        | 4.00                           | 比较例 |
| 34     | <u>5</u>    | <u>95</u>   | 0                  | <u>6</u>               | 3.0        | 4.00                           | 比较例 |
| 35     | 75          | 25          | 0                  | <u>18</u>              | 3.3        | <u>15.00</u>                   | 比较例 |
| 36     | <u>3</u>    | <u>97</u>   | 0                  | <u>16</u>              | 3.4        | 2.00                           | 比较例 |
| 37     | 65          | 35          | 0                  | <u>14</u>              | 3.2        | 2.00                           | 比较例 |
| 38     | 60          | 40          | 0                  | <u>12</u>              | 2.8        | 1.00                           | 比较例 |
| 39     | 40          | 60          | 0                  | <u>8</u>               | 3.4        | 4.00                           | 比较例 |
| 40     | 80          | 20          | 0                  | <u>8</u>               | 2.8        | 4.00                           | 比较例 |
| 41     | 70          | 30          | 0                  | 60                     | <u>5.4</u> | 3.00                           | 比较例 |
| 42     | 60          | 40          | 0                  | 57                     | <u>5.3</u> | 3.00                           | 比较例 |
| 43     | 50          | 50          | 0                  | 56                     | <u>5.4</u> | 2.00                           | 比较例 |
| 44     | 55          | 45          | 0                  | 53                     | <u>5.5</u> | 3.00                           | 比较例 |
| 45     | 60          | 20          | 剩余部分为马氏体           | <u>8</u>               | 3.0        | 4.00                           | 比较例 |

[0233] 对于各钢板(试验No.1~17、22~44的热轧钢板、实施了热处理的试验No.18~20、45的热轧钢板、实施了热处理的试验No.21的冷轧钢板),按照JIS Z2275,在应力比=-1的条件下进行平面弯曲疲劳试验,根据疲劳极限进行了评价。对于试验No.1~17、22~44的热轧钢板、实施了热处理的试验No.18~20、45的热轧钢板、实施了热处理的试验No.21的冷轧钢板,在拉伸试验中,求出屈服强度和抗拉强度,通过鞍型拉伸凸缘试验,求出了凸缘的极限成形高度。然后,将抗拉强度(MPa)与极限成形高度(mm)之积作为拉伸凸缘性的指标,在积为19500mm·MPa以上的情况下,判断为拉伸凸缘性优异。另外,在抗拉强度(TS)为480MPa以上的情况下,判断为高强度。另外,在冲裁时的脆性断面率低于20%、并且疲劳限度比为0.4以上的情况下,判断为母材及冲裁加工部的疲劳特性良好。将它们的结果示于表9及表10中。表10中的下划线表示该数值脱离了期望的范围。

[0234] 拉伸试验是相对于轧制方向从直角方向采集JIS5号拉伸试验片,使用该试验片,依据JISZ2241进行了试验。

[0235] 鞍型拉伸凸缘试验是使用将拐角的曲率半径设定为R60mm、将开口角 $\theta$ 设定为 $120^\circ$ 的鞍型成形品,将冲裁拐角部时的余隙设定为11%来进行。极限成形高度是在成形后通过目视观察有无存在具有板厚的1/3以上的长度的裂纹,作为不存在裂纹的极限的成形高度。

[0236] 冲裁时的脆性断面率是在板厚的10~15%的余隙条件下将20~50个试样钢板用剪切机或冲头冲裁成圆形状,使用显微镜分别对所形成的断裂面进行了观察。然后,将具有金属光泽的部分设定为脆性断面,测定了脆性断面的圆周方向的长度。这里,脆性断面的圆周方向的长度是指成为脆性断面的区域的从端至端为止的圆周方向的长度。然后,将合计的脆性断面的圆周长度相对于所观察的全部的圆周长度的比例设定为脆性断面率。例如,在对20个试样钢板用直径为10mm的冲头进行冲裁的情况下,圆周长度的合计成为 $20 \times 10 \times \pi$ mm。在20个试样钢板中仅1个有脆性断面、并且该脆性断面的圆周方向的长度为1mm的情况下,脆性断面率成为 $1 / (20 \times 10 \times \pi)$ 。

[0237] 疲劳限度比通过将利用上述的方法所测定的各钢板的疲劳极限的值除以抗拉强度(疲劳极限(MPa)/抗拉强度(MPa))来算出。

[0238] 表9

[0239]

| 试验 No. | 屈服强度 (MPa) | 抗拉强度 (MPa) | 脆性断面率 (%) | 疲劳极限 (MPa) | 疲劳限度比 | 拉伸凸缘性的指标 (mm·MPa) | 备注   |
|--------|------------|------------|-----------|------------|-------|-------------------|------|
| 1      | 585        | 666        | 5         | 280        | 0.42  | 21457             | 本发明例 |
| 2      | 576        | 611        | 7         | 269        | 0.44  | 23175             | 本发明例 |
| 3      | 756        | 815        | 4         | 359        | 0.44  | 22254             | 本发明例 |
| 4      | 675        | 788        | 4         | 331        | 0.42  | 22784             | 本发明例 |
| 5      | 515        | 609        | 6         | 256        | 0.42  | 20598             | 本发明例 |
| 6      | 707        | 806        | 6         | 346        | 0.43  | 20554             | 本发明例 |
| 7      | 610        | 724        | 6         | 304        | 0.42  | 21416             | 本发明例 |
| 8      | 683        | 777        | 3         | 334        | 0.43  | 22505             | 本发明例 |
| 9      | 571        | 619        | 4         | 266        | 0.43  | 23138             | 本发明例 |
| 10     | 556        | 648        | 5         | 285        | 0.44  | 22149             | 本发明例 |
| 11     | 765        | 840        | 5         | 361        | 0.43  | 21053             | 本发明例 |
| 12     | 679        | 843        | 3         | 371        | 0.44  | 22584             | 本发明例 |
| 13     | 650        | 698        | 2         | 293        | 0.42  | 21512             | 本发明例 |
| 14     | 577        | 670        | 3         | 288        | 0.43  | 22293             | 本发明例 |
| 15     | 572        | 715        | 6         | 300        | 0.42  | 23599             | 本发明例 |
| 16     | 722        | 783        | 4         | 337        | 0.43  | 22652             | 本发明例 |
| 17     | 526        | 601        | 4         | 264        | 0.44  | 22459             | 本发明例 |
| 18     | 543        | 596        | 5         | 256        | 0.43  | 22848             | 本发明例 |
| 19     | 470        | 540        | 3         | 232        | 0.43  | 23124             | 本发明例 |
| 20     | 602        | 685        | 3         | 301        | 0.44  | 23524             | 本发明例 |
| 21     | 605        | 685        | 3         | 288        | 0.42  | 25679             | 本发明例 |

[0240] 表10

[0241]

| 试验 No. | 屈服强度 (MPa) | 抗拉强度 (MPa) | 脆性断面率 (%) | 疲劳极限 (MPa) | 疲劳限度比 | 拉伸凸缘性的指标 (mm·MPa) | 备注  |
|--------|------------|------------|-----------|------------|-------|-------------------|-----|
| 22     | 678        | 868        | 3         | 382        | 0.44  | 17984             | 比较例 |
| 23     | 628        | 643        | 3         | 283        | 0.44  | 18621             | 比较例 |
| 24     | 880        | 998        | 5         | 439        | 0.44  | 10424             | 比较例 |
| 25     | 334        | 470        | 3         | 219        | 0.42  | 14310             | 比较例 |
| 26     | 轧制中产生开裂    |            |           |            |       |                   | 比较例 |
| 27     | 895        | 998        | 4         | 419        | 0.42  | 8072              | 比较例 |
| 28     | 488        | 576        | 6         | 242        | 0.42  | 17961             | 比较例 |
| 29     | 662        | 725        | 25        | 312        | 0.43  | 17526             | 比较例 |
| 30     | 749        | 809        | 27        | 348        | 0.43  | 19165             | 比较例 |
| 31     | 762        | 820        | 2         | 353        | 0.43  | 18670             | 比较例 |
| 32     | 745        | 782        | 3         | 344        | 0.44  | 18630             | 比较例 |
| 33     | 758        | 772        | 3         | 332        | 0.43  | 18328             | 比较例 |
| 34     | 754        | 817        | 3         | 351        | 0.43  | 16728             | 比较例 |
| 35     | 562        | 650        | 4         | 247        | 0.38  | 17807             | 比较例 |
| 36     | 654        | 737        | 5         | 317        | 0.43  | 16718             | 比较例 |
| 37     | 707        | 744        | 6         | 312        | 0.42  | 17653             | 比较例 |
| 38     | 565        | 679        | 2         | 292        | 0.43  | 17145             | 比较例 |
| 39     | 601        | 745        | 7         | 328        | 0.44  | 16870             | 比较例 |
| 40     | 566        | 673        | 4         | 296        | 0.44  | 18157             | 比较例 |
| 41     | 654        | 698        | 25        | 300        | 0.43  | 21512             | 比较例 |
| 42     | 642        | 703        | 21        | 309        | 0.44  | 21301             | 比较例 |
| 43     | 650        | 693        | 21        | 291        | 0.42  | 21512             | 比较例 |
| 44     | 643        | 696        | 30        | 292        | 0.42  | 21512             | 比较例 |
| 45     | 480        | 594        | 5         | 250        | 0.42  | 13415             | 比较例 |

[0242] 就本发明例(试验No.1~21)而言,得到了下述结果:480MPa以上的抗拉强度、19500mm·MPa以上的抗拉强度与鞍型拉伸凸缘试验中的极限成形高度之积、低于20%的冲裁时的脆性断面率以及0.4以上的疲劳限度比。

[0243] 试验No.22~27是化学成分为本发明的范围外的比较例。试验No.22~24的拉伸凸缘性的指标不满足目标值。试验No.25由于Ti及Nb的合计含量少,所以拉伸凸缘性的指标及抗拉强度不满足目标值。试验No.26由于Ti及Nb的合计含量多,所以加工性劣化,在轧制中产生了开裂。试验No.27由于Ti及Nb的合计含量多,所以拉伸凸缘性的指标不满足目标值。

[0244] 试验No.28~46是比较例,这些比较例的制造条件脱离了期望的范围,其结果是,由光学显微镜观察的组织、晶内的取向差为5~14°的晶粒的比例、平均长宽比、碳化物的密度中的某一个或多个不满足本发明的范围。试验No.28~40、45由于晶内的取向差为5~14°的晶粒的比例少,所以拉伸凸缘性的指标不满足目标值。试验No.41~44由于晶粒的当量椭圆的平均长宽比大,所以冲裁时的脆性断面率变得超过20%。

[0245] 产业上的可利用性

[0246] 根据本发明,能够提供高强度、且具有优异的拉伸凸缘性、母材及冲裁加工部的疲劳特性良好的钢板。本发明的钢板即使是在余隙严苛、使用磨损的剪切机、冲头的严苛的加工条件下进行冲裁加工的情况下,也能够防止冲裁端面处的伴随凹凸的损伤。本发明的钢板能够应用于不仅为高强度而且要求严格的拉伸凸缘性和母材及冲裁加工部的疲劳特性的构件。本发明的钢板是适合于由汽车的构件的薄壁化带来的轻量化的原材料,由于有助于提高汽车的燃油经济性等,所以产业上的可利用性高。

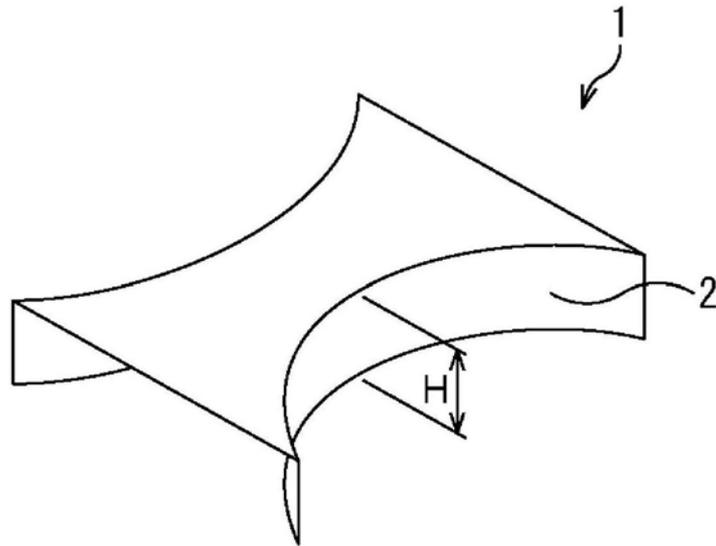


图1A

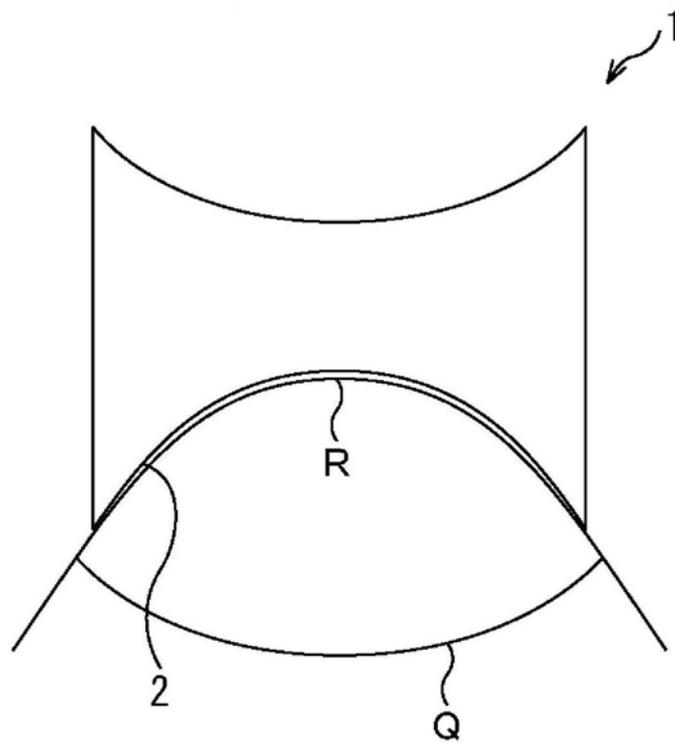


图1B

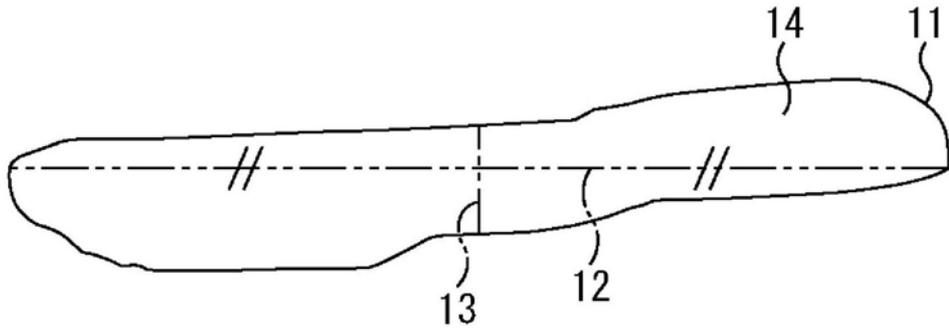


图2