



(12) 发明专利申请



(10) 申请公布号 CN 116648523 A

(43) 申请公布日 2023.08.25

(21) 申请号 202180085525.8

(22) 申请日 2021.12.01

(30) 优先权数据

10-2020-0177451 2020.12.17 KR

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2023.06.16

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/KR2021/017995 2021.12.01

(87) PCT国际申请的公布数据

W02022/131626 K0 2022.06.23

(71) 申请人 浦项股份有限公司

地址 韩国庆尚北道

(72) 发明人 李载勋 郑起宅

(74) 专利代理机构 北京路浩知识产权代理有限公司 11002

专利代理师 安玉 刘成春

(51) Int.Cl.

G22C 38/02 (2006.01)

权利要求书2页 说明书23页

(54) 发明名称

加工性优异的高强度钢板及其制造方法

(57) 摘要

本发明涉及一种可以用于汽车部件等的钢板,并且涉及一种强度和延展性的平衡、强度和扩孔性的平衡以及屈强比评价指数优异的钢板及其制造方法。

1. 一种加工性优异的高强度钢板,以重量%计,所述钢板包含:C:0.1-0.25%、Si:0.01-1.5%、Mn:1.0-4.0%、Al:0.01-1.5%、P:0.15%以下、S:0.03%以下、N:0.03%以下、B:0.0005-0.005%及余量的Fe和不可避免的杂质,微细组织包含贝氏体、回火马氏体、新生马氏体、残余奥氏体和其它不可避免的组织,所述钢板满足以下[关系式1]和[关系式2],

[关系式1]

$$0.03 \leq [B]_{FM} / [B]_{TM} \leq 0.55$$

在所述关系式1中,  $[B]_{FM}$  是新生马氏体中包含的硼(B)的含量,其中,含量的单位是重量%;  $[B]_{TM}$  是回火马氏体中包含的硼(B)的含量,其中,含量的单位是重量%,

[关系式2]

$$T(\gamma) / V(\gamma) \geq 0.08$$

在所述关系式2中,  $T(\gamma)$  是钢板的回火残余奥氏体的分数,其中,分数的单位是体积%,  $V(\gamma)$  是钢板的残余奥氏体的分数,其中,分数的单位是体积%。

2. 根据权利要求1所述的加工性优异的高强度钢板,其中,以重量%计,所述钢板进一步包含以下(1)至(8)中的任一种以上:

- (1) Ti:0-0.5%、Nb:0-0.5%和V:0-0.5%中的一种以上,
- (2) Cr:0-3.0%和Mo:0-3.0%中的一种以上,
- (3) Cu:0-4.0%和Ni:0-4.0%中的一种以上,
- (4) Ca:0-0.05%、Y以外的REM:0-0.05%和Mg:0-0.05%中的一种以上,
- (5) W:0-0.5%和Zr:0-0.5%中的一种以上,
- (6) Sb:0-0.5%和Sn:0-0.5%中的一种以上,
- (7) Y:0-0.2%和Hf:0-0.2%中的一种以上,
- (8) Co:0-1.5%。

3. 根据权利要求1所述的加工性优异的高强度钢板,其中,以体积分数计,所述钢板的微细组织包含:10-30%的贝氏体、50-70%的回火马氏体、10-30%的新生马氏体、2-10%的残余奥氏体、5%以下且包括0%的铁素体。

4. 根据权利要求1所述的加工性优异的高强度钢板,其中,在所述钢板中,由以下[关系式3]表示的拉伸强度和伸长率的平衡  $B_{TE}$  满足  $3.0 \times 10^6$  至  $6.2 \times 10^6$  ( $\text{MPa}^2\%^{1/2}$ ),由以下[关系式4]表示的拉伸强度和扩孔率的平衡  $B_{TH}$  满足  $6.0 \times 10^6$  至  $11.5 \times 10^6$  ( $\text{MPa}^2\%^{1/2}$ ),由以下[关系式5]表示的屈强比评价指数  $I_{YR}$  满足0.15至0.42,

[关系式3]

$$B_{TE} = [\text{拉伸强度(TS,MPa)}]^2 * [\text{伸长率(E1, \%)}]^{1/2}$$

[关系式4]

$$B_{TH} = [\text{拉伸强度(TS,MPa)}]^2 * [\text{扩孔率(HER, \%)}]^{1/2}$$

[关系式5]

$$I_{YR} = 1 - [\text{屈强比(YR)}]$$

5. 一种制造加工性优异的高强度钢板的方法,其包括以下步骤:

提供冷轧的钢板,以重量%计,所述钢板包含:C:0.1-0.25%、Si:0.01-1.5%、Mn:1.0-4.0%、Al:0.01-1.5%、P:0.15%以下、S:0.03%以下、N:0.03%以下、B:0.0005-0.005%及余量的Fe和不可避免的杂质;

将冷轧的所述钢板以5℃/秒以上的平均加热速度加热至700℃(一次加热),以5℃/秒以下的平均加热速度加热至Ac3至920℃的温度范围(二次加热),然后保持50-1200秒(一次保持);

将一次保持的所述钢板以2-100℃/秒的平均冷却速度冷却至200-400℃的温度范围(一次冷却);

将一次冷却的所述钢板以5-100℃/秒的平均加热速度加热至400-600℃的温度范围(三次加热),然后保持10-1800秒(二次保持);

将二次保持的所述钢板以1-100℃/秒的平均冷却速度冷却至300-500℃的温度范围(二次冷却),然后保持10-1800秒(三次保持);以及

将三次保持的所述钢板以1℃/秒以上的平均冷却速度冷却至常温(三次冷却)。

6. 根据权利要求5所述的制造加工性优异的高强度钢板的方法,其中,所述钢坯进一步包含以下(1)至(8)中的任一种以上:

- (1) Ti:0-0.5%、Nb:0-0.5%和V:0-0.5%中的一种以上,
- (2) Cr:0-3.0%和Mo:0-3.0%中的一种以上,
- (3) Cu:0-4.0%和Ni:0-4.0%中的一种以上,
- (4) Ca:0-0.05%、Y除外的REM:0-0.05%和Mg:0-0.05%中的一种以上,
- (5) W:0-0.5%和Zr:0-0.5%中的一种以上,
- (6) Sb:0-0.5%和Sn:0-0.5%中的一种以上,
- (7) Y:0-0.2%和Hf:0-0.2%中的一种以上,
- (8) Co:0-1.5%。

7. 根据权利要求5所述的制造加工性优异的高强度钢板的方法,其中,冷轧的所述钢板通过以下步骤提供:

将钢坯加热至1000-1350℃;

在800-1000℃的温度范围内进行热精轧;

在350-650℃的温度范围内,对热轧的所述钢板进行收卷;

将收卷的所述钢板进行酸洗;以及

将酸洗的所述钢板以30-90%的压下率进行冷轧。

8. 根据权利要求5所述的制造加工性优异的高强度钢板的方法,其中,所述一次冷却的冷却速度Vc1和所述二次冷却的冷却速度Vc2满足Vc1>Vc2的关系。

## 加工性优异的高强度钢板及其制造方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种可以用于汽车部件等的钢板,并且涉及一种具有高强度特性且加工性优异的钢板及其制造方法。

### 背景技术

[0002] 近年来,为了保护地球环境,汽车产业正在关注可以实现材料的轻量化的同时确保乘客的稳定性的方法。为了满足这种稳定性和轻量化的需求,高强度钢板的应用正在急剧增加。通常,已知随着钢板实现高强度化,钢板的加工性降低。因此,在汽车部件用钢板中,需要具有高强度特性的同时以延展性及扩孔性等为代表的加工性优异的钢板。

[0003] 已知利用残余奥氏体的相变诱发塑性的相变诱导塑性(Transformation Induced Plasticity, TRIP)钢具有由铁素体、贝氏体、马氏体和残余奥氏体等组成的复杂的微细结构,因此具有高强度特性的同时具有一定水平以上的加工性。

[0004] 作为进一步改善钢板的加工性的技术,专利文献1和专利文献2中公开了一种利用回火马氏体的方法。对硬质的马氏体进行回火(tempering)而形成的回火马氏体是软质化的马氏体,因此回火马氏体与现有的未回火的马氏体(新生马氏体)之间存在强度差异。因此,抑制新生马氏体并形成回火马氏体时,可以增加加工性。

[0005] 然而,在专利文献1和专利文献2中公开的技术中,拉伸强度和伸长率的平衡( $TS^2 * EL^{1/2}$ )无法满足 $3.0 * 10^6$ 至 $6.2 * 10^6$  ( $MPa^2 \%^{1/2}$ )的范围,这表示难以确保强度和延展性均优异的钢板。

[0006] 另外,作为改善钢板的加工性的另一个技术,专利文献3中公开了通过添加硼(B)来诱导贝氏体的形成的方法。添加硼(B)时抑制铁素体-珠光体相变,并诱导贝氏体的形成,因此可以兼顾强度和加工性。

[0007] 但是,在专利文献3中公开的技术中,无法同时确保 $3.0 * 10^6$ 至 $6.2 * 10^6$  ( $MPa^2 \%^{1/2}$ )的拉伸强度和伸长率的平衡( $B_{TE}$ )、 $6.0 * 10^6$ 至 $11.5 * 10^6$  ( $MPa^2 \%^{1/2}$ )的拉伸强度和扩孔率的平衡( $B_{TH}$ )以及0.15至0.42的屈强比评价指数( $I_{YR}$ ),因此这意味着难以确保强度、扩孔性、延展性和屈强比均优异的钢板。

[0008] 即,目前无法满足对拉伸强度和伸长率的平衡( $B_{TE}$ )、拉伸强度和扩孔率的平衡( $B_{TH}$ )以及屈强比评价指数( $I_{YR}$ )均优异的的钢板的需求。

[0009] (现有技术文献)

[0010] (专利文献1)韩国公开专利公报第10-2006-0118602号

[0011] (专利文献2)日本公开专利公报第2009-019258号

[0012] (专利文献3)日本公开专利公报第2016-216808号

### 发明内容

[0013] 要解决的技术问题

[0014] 根据本发明的一个方面,可以提供一种通过优化钢板的组成和微细组织而具有优

异的拉伸强度和伸长率的平衡、优异的拉伸强度和扩孔率的平衡以及优异的屈强比评价指数的钢板及其制造方法。

[0015] 本发明的技术问题不限于上述内容。本发明的附加技术问题记载于说明书全文中，本领域技术人员可以根据本发明的说明书中记载的内容容易地理解本发明的附加技术问题。

[0016] 技术方案

[0017] 根据本发明的一个方面的加工性优异的高强度钢板中，以重量%计，可以包含C:0.1-0.25%、Si:0.01-1.5%、Mn:1.0-4.0%、Al:0.01-1.5%、P:0.15%以下、S:0.03%以下、N:0.03%以下、B:0.0005-0.005%及余量的Fe和不可避免的杂质，微细组织可以包含贝氏体、回火马氏体、新生马氏体、残余奥氏体和其它不可避免的组织，所述钢板可以满足以下[关系式1]和[关系式2]。

[0018] [关系式1]

$$[0019] \quad 0.03 \leq [B]_{FM} / [B]_{TM} \leq 0.55$$

[0020] 在所述关系式1中， $[B]_{FM}$ 是新生马氏体中包含的硼(B)的含量(重量%)， $[B]_{TM}$ 是回火马氏体中包含的硼(B)的含量(重量%)。

[0021] [关系式2]

$$[0022] \quad T(\gamma) / V(\gamma) \geq 0.08$$

[0023] 在所述关系式2中， $T(\gamma)$ 是钢板的回火残余奥氏体的分数(体积%)， $V(\gamma)$ 是钢板的残余奥氏体的分数(体积%)。

[0024] 以重量%计，所述钢板可以进一步包含以下(1)至(8)中的任一种以上。

[0025] (1)Ti:0-0.5%、Nb:0-0.5%和V:0-0.5%中的一种以上，

[0026] (2)Cr:0-3.0%和Mo:0-3.0%中的一种以上，

[0027] (3)Cu:0-4.0%和Ni:0-4.0%中的一种以上，

[0028] (4)Ca:0-0.05%、Y除外的REM:0-0.05%和Mg:0-0.05%中的一种以上，

[0029] (5)W:0-0.5%和Zr:0-0.5%中的一种以上，

[0030] (6)Sb:0-0.5%和Sn:0-0.5%中的一种以上，

[0031] (7)Y:0-0.2%和Hf:0-0.2%中的一种以上，

[0032] (8)Co:0-1.5%。

[0033] 以体积分数计，所述钢板的微细组织可以包含10-30%的贝氏体、50-70%的回火马氏体、10-30%的新生马氏体、2-10%的残余奥氏体、5%以下(包括0%)的铁素体。

[0034] 在所述钢板中，由以下[关系式3]表示的拉伸强度和伸长率的平衡( $B_{TE}$ )可以满足 $3.0 \times 10^6$ 至 $6.2 \times 10^6$  ( $\text{MPa}^2\%^{1/2}$ )，由以下[关系式4]表示的拉伸强度和扩孔率的平衡( $B_{TH}$ )可以满足 $6.0 \times 10^6$ 至 $11.5 \times 10^6$  ( $\text{MPa}^2\%^{1/2}$ )，由以下[关系式5]表示的屈强比评价指数( $I_{YR}$ )可以满足0.15至0.42。

[0035] [关系式3]

$$[0036] \quad B_{TE} = [\text{拉伸强度 (TS, MPa)}]^2 * [\text{伸长率 (E1, \%)}]^{1/2}$$

[0037] [关系式4]

$$[0038] \quad B_{TH} = [\text{拉伸强度 (TS, MPa)}]^2 * [\text{扩孔率 (HER, \%)}]^{1/2}$$

[0039] [关系式5]

[0040]  $I_{YR}=1-[屈强比(YR)]$

[0041] 根据本发明的一个方面的制造加工性优异的高强度钢板的方法可以包括以下步骤:提供冷轧的钢板,以重量%计,所述钢板包含:C:0.1-0.25%、Si:0.01-1.5%、Mn:1.0-4.0%、Al:0.01-1.5%、P:0.15%以下、S:0.03%以下、N:0.03%以下、B:0.0005-0.005%及余量的Fe和不可避免的杂质;将冷轧的所述钢板以5°C/秒以上的平均加热速度加热至700°C(一次加热),以5°C/秒以下的平均加热速度加热至Ac3至920°C的温度范围(二次加热),然后保持50-1200秒(一次保持);将一次保持的所述钢板以2-100°C/秒的平均冷却速度冷却至200-400°C的温度范围(一次冷却);将一次冷却的所述钢板以5-100°C/秒的平均加热速度加热至400-600°C的温度范围(三次加热),然后保持10-1800秒(二次保持);将二次保持的所述钢板以1-100°C/秒的平均冷却速度冷却至300-500°C的温度范围(二次冷却),然后保持10-1800秒(三次保持);以及将三次保持的所述钢板以1°C/秒以上的平均冷却速度冷却至常温(三次冷却)。

[0042] 所述钢坯可以进一步包含以下(1)至(8)中的任一种。

[0043] (1)Ti:0-0.5%、Nb:0-0.5%和V:0-0.5%中的一种以上,

[0044] (2)Cr:0-3.0%和Mo:0-3.0%中的一种以上,

[0045] (3)Cu:0-4.0%和Ni:0-4.0%中的一种以上,

[0046] (4)Ca:0-0.05%、Y除外的REM:0-0.05%和Mg:0-0.05%中的一种以上,

[0047] (5)W:0-0.5%和Zr:0-0.5%中的一种以上,

[0048] (6)Sb:0-0.5%和Sn:0-0.5%中的一种以上,

[0049] (7)Y:0-0.2%和Hf:0-0.2%中的一种以上,

[0050] (8)Co:0-1.5%。

[0051] 所述冷轧的钢板可以通过以下步骤提供:将钢坯加热至1000-1350°C;在800-1000°C的温度范围内进行热精轧;在350-650°C的温度范围内,对热轧的所述钢板进行收卷;将收卷的所述钢板进行酸洗;以及对酸洗的所述钢板以30-90%的压下率进行冷轧。

[0052] 所述一次冷却的冷却速度( $V_{c1}$ )和所述二次冷却的冷却速度( $V_{c2}$ )可以满足 $V_{c1}>V_{c2}$ 的关系。

[0053] 有益效果

[0054] 根据本发明的优选的一个方面,可以提供一种具有优异的拉伸强度和延展性的平衡、优异的拉伸强度和扩孔性的平衡以及优异的屈强比评价指数而可以适用于汽车部件等的钢板及其制造方法。

[0055] 最佳实施方式

[0056] 本发明涉及一种加工性优异的高强度钢板及其制造方法,以下对本发明的优选的具体实施方案进行说明。本发明的具体实施方案可以变形为各种形式,不应解释为本发明的范围限定于以下说明的具体实施方案。本具体实施方案是为了向本领域技术人员更详细地说明本发明而提供的。

[0057] 本发明的发明人认识到在包含贝氏体、回火马氏体、新生马氏体和残余奥氏体的添加硼(B)型相变诱发塑性(TRIP)钢中,将回火马氏体、新生马氏体和残余奥氏体的组织分数控制在一定范围内,并且将回火马氏体和新生马氏体中包含的硼(B)含量控制在一定范围的同时,将残余奥氏体的形状和尺寸控制在一定范围时,可以同时确保优异的拉伸强度

和延展性的平衡、优异的拉伸强度和扩孔性的平衡以及优异的屈强比评价指数。认识到这一点,设计了一种可以有效地兼顾优异的强度、屈强比、延展性和扩孔性的方法,从而完成了本发明。

[0058] 以下,对根据本发明的一个方面的加工性优异的高强度钢板进行详细说明。

[0059] 根据本发明的一个方面的加工性优异的高强度钢板中,以重量%计,可以包含:C:0.1-0.25%、Si:0.01-1.5%、Mn:1.0-4.0%、Al:0.01-1.5%、P:0.15%以下、S:0.03%以下、N:0.03%以下、B:0.0005-0.005%及余量的Fe和不可避免的杂质,显微组织可以包含贝氏体、回火马氏体、新生马氏体、残余奥氏体和其它不可避免的组织,所述钢板可以满足以下[关系式1]和[关系式2]。

[0060] [关系式1]

$$[0061] \quad 0.03 \leq [B]_{FM} / [B]_{TM} \leq 0.55$$

[0062] 在所述关系式1中, $[B]_{FM}$ 是新生马氏体中包含的硼(B)的含量(重量%), $[B]_{TM}$ 是回火马氏体中包含的硼(B)的含量(重量%)。

[0063] [关系式2]

$$[0064] \quad T(\gamma) / V(\gamma) \geq 0.08$$

[0065] 在所述关系式2中, $T(\gamma)$ 是钢板的回火残余奥氏体的分数(体积%), $V(\gamma)$ 是钢板的残余奥氏体的分数(体积%)。

[0066] 以下,对本发明的钢组成进行更详细的说明。以下,除非另有说明,否则表示各元素的含量的%是以重量为基准。

[0067] 根据本发明的一个方面的加工性优异的高强度钢板中,以重量%计,包含:C:0.1-0.25%、Si:0.01-1.5%、Mn:1.0-4.0%、Al:0.01-1.5%、P:0.15%以下、S:0.03%以下、N:0.03%以下、B:0.0005-0.005%及余量的Fe和不可避免的杂质。此外,可以进一步包含:Ti:0.5%以下(包括0%)、Nb:0.5%以下(包括0%)、V:0.5%以下(包括0%)、Cr:3.0%以下(包括0%)、Mo:3.0%以下(包括0%)、Cu:4.0%以下(包括0%)、Ni:4.0%以下(包括0%)、Ca:0.05%以下(包括0%)、Y除外的REM:0.05%以下(包括0%)、Mg:0.05%以下(包括0%)、W:0.5%以下(包括0%)、Zr:0.5%以下(包括0%)、Sb:0.5%以下(包括0%)、Sn:0.5%以下(包括0%)、Y:0.2%以下(包括0%)、Hf:0.2%以下(包括0%)、Co:1.5%以下(包括0%)中的一种以上。

[0068] 碳(C):0.1-0.25%

[0069] 碳(C)是确保钢板强度所必不可少的元素,并且是稳定有助于提高钢板的延展性的残余奥氏体的元素。因此,为了实现如上所述的效果,本发明中可以包含0.1%以上的碳(C)。优选的碳(C)含量可以超过0.1%,并且可以为0.11%以上、0.12%以上。另一方面,当碳(C)含量超过一定水平时,由于强度过度增加,延展性可能会降低,并且焊接性可能会变差。因此,本发明中可以将碳(C)含量的上限限制为0.25%。碳(C)含量可以为0.24%以下,更优选的碳(C)含量可以为0.23%以下。

[0070] 硅(Si):0.01-1.5%以下

[0071] 硅(Si)是通过固溶强化而有助于提高强度的元素,并且也是通过使组织均匀化而改善加工性的元素。此外,硅(Si)是通过抑制渗碳体的析出而有助于残余奥氏体的形成的元素。因此,为了实现如上所述的效果,本发明中可以添加0.01%以上的硅(Si)。优选的硅

(Si)含量可以为0.02%以上,更优选的硅(Si)含量可以为0.04%以上。然而,当硅(Si)含量超过一定水平时,在镀覆工艺中会引发诸如未镀覆的镀覆缺陷问题,而且可能会降低钢板的焊接性,因此本发明中可以将硅(Si)含量的上限限制为1.5%。优选的硅(Si)含量的上限可以为1.48%,更优选的硅(Si)含量的上限可以为1.46%。

[0072] 锰(Mn):1.0-4.0%

[0073] 锰(Mn)是同时提高强度和延展性的有用的元素。因此,为了实现如上所述的效果,本发明中可以添加1.0%以上的锰(Mn)。优选的锰(Mn)含量的下限可以为1.2%,更优选的锰(Mn)含量的下限可以为1.4%。另一方面,当添加过多的锰(Mn)时,由于贝氏体相变时间增加,奥氏体中的碳(C)的富集度不足,因此存在不能确保所期望的奥氏体分数的问题。因此,本发明中可以将锰(Mn)含量的上限限制为4.0%。优选的锰(Mn)含量的上限可以为3.9%。

[0074] 铝(Al):0.01-1.5%

[0075] 铝(Al)是通过与钢中的氧结合而起到脱氧作用的元素。此外,如同硅(Si),铝(Al)是通过抑制渗碳体的析出而稳定残余奥氏体的元素。因此,为了实现如上所述的效果,本发明中可以添加0.01%以上的铝(Al)。优选的铝(Al)含量可以为0.03%以上,更优选的铝(Al)含量可以为0.05%以上。另一方面,当添加过多的铝(Al)时,钢板的夹杂物会增加,而且可能会降低钢板的加工性,因此本发明中可以将铝(Al)含量的上限限制为1.5%。优选的铝(Al)含量的上限可以为1.48%。

[0076] 磷(P):0.15%以下(包括0%)

[0077] 磷(P)是作为杂质而被包含并使冲击韧性变差的元素。因此,磷(P)的含量优选控制在0.15%以下。

[0078] 硫(S):0.03%以下(包括0%)

[0079] 硫(S)是作为杂质被包含并在钢板中形成MnS且使延展性变差的元素。因此,硫(S)的含量优选为0.03%以下。

[0080] 氮(N):0.03%以下(包括0%)

[0081] 氮(N)是作为杂质被包含并在连续铸造中形成氮化物而引起板坯的裂纹的元素。因此,氮(N)的含量优选为0.03%以下。

[0082] 硼(B):0.0005-0.005%

[0083] 硼(B)是通过提高淬透性来提高强度的元素,并且也是抑制晶界的成核的元素。此外,本发明的目的是通过回火马氏体中的硼(B)的富集来同时确保优异的拉伸强度和伸长率的平衡、优异的拉伸强度和扩孔性的平衡和优异的屈强比评价指数,因此本发明中必须添加硼(B)。因此,为了如上所述的效果,本发明中可以添加0.0005%以上的硼(B)。但是,当所添加的硼(B)超过一定水平时,不仅会导致过度的特性效果,而且会导致制造成本增加,因此本发明中可以将硼(B)的含量的上限限制为0.005%。

[0084] 另外,本发明的钢板中,除了上述合金成分之外,存在可以进一步包含的合金组成,下面对此进行详细说明。

[0085] 钛(Ti):0-0.5%、铌(Nb):0-0.5%和钒(V):0-0.5%中的一种以上

[0086] 钛(Ti)、铌(Nb)及钒(V)是通过形成析出物而使晶粒微细化的元素,并且也是有助于提高钢板的强度和冲击韧性的元素,因此,为了如上所述的效果,本发明中可以添加钛

(Ti)、铌(Nb)及钒(V)中的一种以上。然而,当钛(Ti)、铌(Nb)及钒(V)的各自的含量超过一定水平时,形成过多的析出物,从而会降低冲击韧性,而且会增加制造成本,因此本发明中可以将钛(Ti)、铌(Nb)及钒(V)的含量分别限制为0.5%以下。

[0087] 铬(Cr):0-3.0%和钼(Mo):0-3.0%中的一种以上

[0088] 铬(Cr)和钼(Mo)是在合金化处理时抑制奥氏体分解并且如同锰(Mn)一样稳定奥氏体的元素,因此,为了如上所述的效果,本发明中可以添加铬(Cr)和钼(Mo)中的一种以上。然而,当铬(Cr)和钼(Mo)的含量超过一定水平时,由于贝氏体相变时间增加,奥氏体中的碳(C)的富集量变得不足,因此不能确保所期望的残余奥氏体分数。因此,本发明中可以将铬(Cr)和钼(Mo)的含量分别限制为3.0%以下。

[0089] 铜(Cu):0-4.0%和镍(Ni):0-4.0%中的一种以上

[0090] 铜(Cu)和镍(Ni)是稳定奥氏体并抑制腐蚀的元素。此外,铜(Cu)和镍(Ni)是富集在钢板表面并防止向钢板内迁移的氢的侵入以抑制氢致延迟断裂的元素。因此,为了如上所述的效果,本发明中可以添加铜(Cu)和镍(Ni)中的一种以上。然而,当铜(Cu)和镍(Ni)的含量超过一定水平时,不仅会导致过度的特性效果,而且会增加制造成本,因此本发明中可以将铜(Cu)和镍(Ni)的含量分别限制为4.0%以下。

[0091] 钙(Ca):0-0.05%、镁(Mg):0-0.05%和钇(Y)除外的稀土元素(REM):0-0.05%中的一种以上

[0092] 其中,稀土元素(REM)是指钪(Sc)、钇(Y)和镧系元素。除钙(Ca)、镁(Mg)、钇(Y)以外的稀土元素(REM)是通过使硫化物球化以有助于提高钢板的延展性的元素,因此,为了如上所述的效果,本发明中可以添加除钙(Ca)、镁(Mg)、钇(Y)以外的稀土元素(REM)中的一种以上。然而,当除钙(Ca)、镁(Mg)、钇(Y)以外的稀土元素(REM)的含量超过一定水平时,不仅会导致过度的特性效果,而且会增加制造成本,因此本发明中可以将除钙(Ca)、镁(Mg)、钇(Y)以外的稀土元素(REM)的含量分别限制为0.05%以下。

[0093] 钨(W):0-0.5%和锆(Zr):0-0.5%中的一种以上

[0094] 钨(W)和锆(Zr)是通过提高淬透性来增加钢板的强度的元素,因此,为了如上所述的效果,本发明中可以添加钨(W)和锆(Zr)中的一种以上。然而,当钨(W)和锆(Zr)的含量超过一定水平时,不仅会导致过度的特性效果,而且会增加制造成本,因此本发明中可以将钨(W)和锆(Zr)的含量分别限制为0.5%以下。

[0095] 锑(Sb):0-0.5%和锡(Sn):0-0.5%中的一种以上

[0096] 锑(Sb)和锡(Sn)是提高钢板的镀覆润湿性和镀覆粘附性的元素,因此,为了如上所述的效果,本发明中可以添加锑(Sb)和锡(Sn)中的一种以上。然而,当锑(Sb)和锡(Sn)的含量超过一定水平时,钢板的脆性增加,在热加工或冷加工时可能会产生裂纹,因此本发明中可以将锑(Sb)和锡(Sn)的含量分别限制为0.5%以下。

[0097] 钇(Y):0-0.2%和铪(Hf):0-0.2%中的一种以上

[0098] 钇(Y)和铪(Hf)是提高钢板的耐蚀性的元素,因此,为了如上所述的效果,本发明中可以添加钇(Y)和铪(Hf)中的一种以上。然而,当钇(Y)和铪(Hf)的含量超过一定水平时,钢板的延展性可能会变差,因此本发明中可以将钇(Y)和铪(Hf)的含量分别限制为0.2%以下。

[0099] 钴(Co):0-1.5%

[0100] 钴(Co)是通过促进贝氏体相变来增加TRIP效果的元素,因此,为了如上所述的效果,本发明中可以添加钴(Co)。然而,当钴(Co)的含量超过一定水平时,钢板的焊接性和延展性可能会变差,因此本发明中可以将钴(Co)含量限制为1.5%以下。

[0101] 根据本发明的一个方面的加工性优异的高强度钢板除了上述成分之外,可以包含余量的Fe和其它不可避免的杂质。然而,在通常的制造过程中可能会从原料或周围环境不可避免地混入并不期望的杂质,因此不能完全排除这些杂质。这些杂质对于本领域技术人员而言是众所周知的,因此在本说明书中不特别提及其所有内容。此外,不完全排除除了上述成分之外的有效成分的进一步添加。

[0102] 根据本发明的一个方面的加工性优异的高强度钢板中,微细组织可以包含贝氏体、回火马氏体(Tempered Martensite)、新生马氏体(Fresh Martensite)、残余奥氏体和其它不可避免的组织。

[0103] 未回火的马氏体(新生马氏体,FM)和回火的马氏体(回火马氏体,TM)均是提高钢板的强度的微细组织。但是,与回火马氏体相比,新生马氏体具有降低钢板的延展性和毛刺性的特征。此外,与回火马氏体相比,新生马氏体具有降低钢板的屈强比的倾向。这是因为,由于回火热处理,回火马氏体的微细组织被软化。因此,为了确保本发明所期望的拉伸强度和伸长率的平衡( $TS^2*EL^{1/2}$ )、拉伸强度和扩孔率的平衡( $TS^2*HER^{1/2}$ )以及屈强比评价指数(1-YR),优选控制回火马氏体和新生马氏体的组织分数。为了满足 $3.0*10^6$ 以上的拉伸强度和伸长率的平衡( $TS^2*EL^{1/2}$ )、 $6.0*10^6$ 以上的拉伸强度和扩孔率的平衡( $TS^2*HER^{1/2}$ )以及0.42以下的屈强比评价指数(1-YR),将回火马氏体的分数优选限制为50体积%以上,将新生马氏体的分数优选限制为10体积%以上。更优选的回火马氏体的分数可以为52体积%以上或54体积%以上,更优选的新生马氏体的分数可以为12体积%以上。另一方面,当过度地形成回火马氏体或新生马氏体时,延展性和毛刺性降低,最终不能同时满足 $3.0*10^6$ 以上的拉伸强度和伸长率的平衡( $TS^2*EL^{1/2}$ )、 $6.0*10^6$ 以上的拉伸强度和扩孔率的平衡( $TS^2*HER^{1/2}$ )以及0.42以下的屈强比评价指数(1-YR)。因此,在本发明中可以将回火马氏体的分数限制为70体积%以下,并且将新生马氏体的分数限制为30体积%以下。更优选的回火马氏体的分数可以为68体积%以下或65体积%以下,更优选的新生马氏体的分数可以为25体积%以下。

[0104] 为了确保本发明所期望的水平的拉伸强度和伸长率的平衡( $TS^2*EL^{1/2}$ )、拉伸强度和扩孔率的平衡( $TS^2*HER^{1/2}$ )以及屈强比评价指数(1-YR),必须优化贝氏体的分数。为了确保 $3.0*10^6$ 以上的拉伸强度和伸长率的平衡( $TS^2*EL^{1/2}$ )、 $6.0*10^6$ 以上的拉伸强度和扩孔率的平衡( $TS^2*HER^{1/2}$ )以及0.42以下的屈强比评价指数(1-YR),优选将贝氏体的分数控制在10体积%以上。更优选的贝氏体的分数可以为12体积%以上或14体积%以上。另一方面,当形成过多的贝氏体时,最终会引发回火马氏体的分数减少,因此为了确保所期望的拉伸强度和伸长率的平衡( $TS^2*EL^{1/2}$ )、拉伸强度和扩孔率的平衡( $TS^2*HER^{1/2}$ )以及屈强比评价指数(1-YR),可以将贝氏体的分数限制为30体积%以下。优选的贝氏体的分数可以为12体积%以上或14体积%以上,或者28体积%以下或26体积%以下。

[0105] 包含残余奥氏体的钢板由于在加工过程中从奥氏体转变为马氏体时产生的相变诱发塑性而具有优异的延展性和加工性。当残余奥氏体的分数小于一定水平时,拉伸强度和伸长率的平衡( $TS^2*EL^{1/2}$ )小于 $3.0*10^6$ ( $MPa^2\%^{1/2}$ ),因此不优选。另外,当残余奥氏体的分

数超过一定水平时,局部伸长率(Local Elongation)可能会降低,或者点焊性可能会降低。因此,为了获得拉伸强度和伸长率的平衡( $TS^2*EL^{1/2}$ )优异的钢板,本发明中可以将残余奥氏体的分数限制为2-10%的范围。优选的残余奥氏体的分数可以为3体积%以上或9体积%以下。

[0106] 在本发明的钢板中,作为不可避免的组织可以包含铁素体、珠光体、岛状马氏体(马氏体奥氏体成分(Martensite Austenite Constituent),M-A)等。当形成过多的铁素体时,钢板的强度可能会降低,因此本发明中可以将铁素体的分数限制为5体积%(包括0%)以下。并且,当形成过多的珠光体时,钢板的加工性会降低,或者残余奥氏体的分数可能会降低,因此本发明旨在尽可能地限制珠光体的形成。

[0107] 根据本发明的一个方面的加工性优异的高强度钢板可以满足以下[关系式1]和[关系式2]。

[0108] [关系式1]

$$[0109] \quad 0.03 \leq [B]_{FM} / [B]_{TM} \leq 0.55$$

[0110] 在所述关系式1中, $[B]_{FM}$ 是新生马氏体中包含的硼(B)的含量(重量%), $[B]_{TM}$ 是回火马氏体中包含的硼(B)的含量(重量%)。

[0111] [关系式2]

$$[0112] \quad T(\gamma) / V(\gamma) \geq 0.08$$

[0113] 在所述关系式2中, $T(\gamma)$ 是钢板的回火残余奥氏体的分数(体积%), $V(\gamma)$ 是钢板的残余奥氏体的分数(体积%)。

[0114] 为了确保所期望的拉伸强度和伸长率的平衡( $TS^2*EL^{1/2}$ )、拉伸强度和扩孔率的平衡( $TS^2*HER^{1/2}$ )以及屈强比评价指数(1-YR),本发明中可以将回火马氏体、新生马氏体和残余奥氏体的组织分数控制在一定范围,将回火马氏体和新生马氏体中包含的硼(B)含量比例控制在一定范围,而且将相对于整个残余奥氏体的特定种类的残余奥氏体的比例控制在一定范围。

[0115] 在本发明中,如[关系式1]所示,将新生马氏体中包含的硼(B)的含量( $[B]_{FM}$ ,重量%)与回火马氏体中包含的硼(B)的含量( $[B]_{TM}$ ,重量%)之比控制在0.03至0.55的范围,因此可以同时确保 $3.0*10^6$ 至 $6.2*10^6$  ( $MPa^2\%^{1/2}$ )的拉伸强度和伸长率的平衡( $B_{TE}$ )、 $6.0*10^6$ 至 $11.5*10^6$  ( $MPa^2\%^{1/2}$ )的拉伸强度和扩孔率的平衡( $B_{TH}$ )以及0.15至0.42的屈强比评价指数( $I_{YR}$ )。

[0116] 本发明的发明人对确保添加硼(B)型TRIP钢的物理性能的方法进行深入研究的结果,虽然理论基础尚未明确阐明,但注意到了当新生马氏体中包含的硼(B)含量与回火马氏体中包含的硼(B)含量的比例满足一定范围时,可以确保本发明所期望的物理性能。特别地,可以确认到根据回火马氏体和新生马氏体中包含的硼(B)的含量比例,钢板的屈强比显示出一定的倾向。因此,在本发明中,如[关系式1]所示,将新生马氏体中包含的硼(B)含量与回火马氏体中包含的硼(B)含量的比例限制为0.03至0.55的范围,由此可以确保所期望的拉伸强度和伸长率的平衡( $TS^2*EL^{1/2}$ )、拉伸强度和扩孔率的平衡( $TS^2*HER^{1/2}$ )以及屈强比评价指数(1-YR)。

[0117] 此外,本发明的发明人可知,不仅是残余奥氏体的分数,相对于整个残余奥氏体的特定种类的残余奥氏体的比例也是确保强度和加工性的重要因素。

[0118] 残余奥氏体中的回火残余奥氏体的比例越增加,可以越有利于提高钢板的加工性。回火残余奥氏体是在贝氏体形成温度下进行热处理的过程中碳(C)被引入并富集的残余奥氏体,并且表示具有钢板的平均碳(C)含量(重量%)的1.45倍以上的碳(C)含量(重量%)的残余奥氏体。在回火残余奥氏体中作为奥氏体稳定化元素的碳(C)相对富集,从而抑制向马氏体的相变,并且回火残余奥氏体的比例为一定水平以上时,可以更有效地确保钢板的加工性。

[0119] 在本发明中,如[关系式2]所示,将相对于钢板中包含的整个残余奥氏体的分数( $V(\gamma)$ ,体积%)的回火残余奥氏体的分数(体积%)限制为0.08以上,因此可以有效地确保所期望的拉伸强度和伸长率的平衡( $TS^2*EL^{1/2}$ )和拉伸强度和扩孔率的平衡( $TS^2*HER^{1/2}$ )。

[0120] 根据本发明的一个方面的加工性优异的高强度钢板中,由以下[关系式3]表示的拉伸强度和伸长率的平衡( $B_{TE}$ )可以满足 $3.0*10^6$ 至 $6.2*10^6$  ( $MPa^2\%^{1/2}$ ),并且由以下[关系式4]表示的拉伸强度和扩孔率的平衡( $B_{TH}$ )可以满足 $6.0*10^6$ 至 $11.5*10^6$  ( $MPa^2\%^{1/2}$ ),而且由以下[关系式5]表示的屈强比评价指数( $I_{YR}$ )可以满足0.15至0.42。

[0121] [关系式3]

$$[0122] B_{TE} = [\text{拉伸强度 (TS, MPa)}]^2 * [\text{伸长率 (E1, \%)}]^{1/2}$$

[0123] [关系式4]

$$[0124] B_{TH} = [\text{拉伸强度 (TS, MPa)}]^2 * [\text{扩孔率 (HER, \%)}]^{1/2}$$

[0125] [关系式5]

$$[0126] I_{YR} = 1 - [\text{屈强比 (YR)}]$$

[0127] 以下,对制造本发明的钢板的方法的一个实例进行详细说明。

[0128] 根据本发明的一个方面的制造高强度钢板的方法可以包括以下步骤:将具有预定的合金组成的冷轧的钢板以 $5^\circ\text{C}/\text{秒}$ 以上的平均加热速度加热至 $700^\circ\text{C}$ (一次加热),以 $5^\circ\text{C}/\text{秒}$ 以下平均加热速度加热至 $\text{Ac}3$ 至 $920^\circ\text{C}$ 的温度范围(二次加热),然后保持50-1200秒(一次保持);将一次保持的所述钢板以 $2-100^\circ\text{C}/\text{秒}$ 的平均冷却速度冷却至 $200-400^\circ\text{C}$ 的温度范围(一次冷却);将一次冷却的所述钢板以 $5-100^\circ\text{C}/\text{秒}$ 的平均加热速度加热至 $400-600^\circ\text{C}$ 的温度范围(三次加热),然后保持10-1800秒(二次保持);将二次保持的所述钢板以 $1-100^\circ\text{C}/\text{秒}$ 的平均冷却速度冷却至 $300-500^\circ\text{C}$ 的温度范围(二次冷却),然后保持10-1800秒(三次保持);以及将三次保持的所述钢板以 $1^\circ\text{C}/\text{秒}$ 以上的平均冷却速度冷却至常温(三次冷却)。

[0129] 所述冷轧的钢板可以通过以下步骤提供:将具有预定的合金组成的钢坯加热至 $1000-1350^\circ\text{C}$ ;在 $800-1000^\circ\text{C}$ 的温度范围内进行热精轧;在 $350-650^\circ\text{C}$ 的温度范围内,对热轧的所述钢板进行收卷;将收卷的所述钢板进行酸洗;以及将酸洗的所述钢板以30-90%的压下率进行冷轧。

[0130] 准备和加热钢坯

[0131] 准备具有规定的合金组成的钢坯。本发明的钢坯具有与上述钢板的合金组成对应的合金组成,因此使用上述对钢板合金组成的说明来代替对钢坯的合金组成的说明。

[0132] 可以将准备的钢坯加热至一定的温度范围,此时的钢坯的加热温度可以为 $1000-1350^\circ\text{C}$ 的范围。当钢坯的加热温度低于 $1000^\circ\text{C}$ 时,可能会在所期望的热精轧温度范围以下的温度区间进行热轧,当钢坯的加热温度超过 $1350^\circ\text{C}$ 时,可能会达到钢的熔点而熔化。

[0133] 热轧和收卷

[0134] 可以将加热的钢坯进行热轧而提供为热轧钢板。热轧时的热精轧温度优选为800-1000℃的范围。当热精轧温度低于800℃时,过度的轧制负荷可能会成为问题,当热精轧温度超过1000℃时,形成粗大的热轧钢板的晶粒,因此可能会引起最终钢板的物理性能的降低。

[0135] 完成热轧的热轧钢板可以以10℃/秒以上的平均冷却速度进行冷却,并且可以在350-650℃的温度范围内进行收卷。这是因为,当收卷温度低于350℃时,不容易收卷,当收卷温度超过650℃时,表面氧化皮(scale)形成至热轧钢板的内部,因此可能难以进行酸洗。

[0136] 酸洗和冷轧

[0137] 在将收卷的热轧卷材开卷后,可以进行酸洗以去除形成在钢板表面的氧化皮,并进行冷轧。本发明中对酸洗和冷轧条件不作特别限制,但优选以30-90%的累积压下率进行冷轧。当冷轧的累积压下率超过90%时,由于钢板的高强度,可能难以在短时间内进行冷轧。

[0138] 冷轧的钢板可以经过退火热处理工艺制成未镀覆的冷轧钢板,或者为了赋予耐蚀性,可以经过镀覆工艺制成镀覆钢板。镀覆可以应用热浸镀锌、电镀锌、热浸镀铝等镀覆方法,对其方法和种类不作特别限制。

[0139] 退火热处理

[0140] 在本发明中,为了同时确保钢板的强度和加工性,进行退火热处理工艺。

[0141] 将冷轧的钢板以5℃/秒以上的平均加热速度加热至700℃(一次加热),以5℃/秒以下的平均加热速度加热至Ac3至920℃的温度范围(二次加热),然后保持50-1200秒(一次保持)。

[0142] 当加热至700℃的一次加热的平均加热速度小于5℃/秒时,从加热过程中形成的铁素体和渗碳体形成块状的奥氏体,结果作为最终组织不能形成微细的回火马氏体和残余奥氏体。因此,不能实现所期望的 $T(\gamma)/V(\gamma)$ 、拉伸强度和伸长率的平衡( $TS^2*EL^{1/2}$ )和拉伸强度和扩孔率的平衡( $TS^2*HER^{1/2}$ )。此外,当直至一次保持温度的二次加热速度超过5℃/秒时,从加热过程中形成的渗碳体向奥氏体的相变被加速,大量形成块状的奥氏体,最终组织被粗大化,并且硼(B)不能在回火马氏体中充分富集。因此, $[B]_{FM}/[B]_{TM}$ 超过0.55,并且不能实现所期望的水平拉伸强度和伸长率的平衡( $TS^2*EL^{1/2}$ )、拉伸强度和扩孔率的平衡( $TS^2*HER^{1/2}$ )以及屈强比评价指数( $I_{YR}$ )。

[0143] 当一次保持温度小于Ac3(双相区)时,形成5体积%以上的铁素体,因此拉伸强度和伸长率的平衡( $TS^2*EL^{1/2}$ )以及拉伸强度和扩孔率的平衡( $TS^2*HER^{1/2}$ )可能会降低。此外,当一次保持时间小于50秒时,未使组织充分均匀化,因此钢板的物理性能可能会降低。对一次保持温度和一次保持时间的上限不作特别限制,但为了防止晶粒粗大化引起的韧性的降低,一次保持温度优选限制为920℃以下,并且一次保持时间优选限制为1200秒以下。

[0144] 在一次保持后,可以以2℃/秒以上的平均冷却速度冷却至200-400℃的一次冷却终止温度(一次冷却)。当一次冷却的平均冷却速度小于2℃/秒时,由于缓慢冷却,残余奥氏体的分数变得不足,因此钢板的 $T(\gamma)/V(\gamma)$ 、拉伸强度和伸长率的平衡( $TS^2*EL^{1/2}$ )以及拉伸强度和扩孔率的平衡( $TS^2*HER^{1/2}$ )可能会降低。对一次冷却的平均冷却速度的上限无需特别规定,但优选为100℃/秒以下。当一次冷却终止温度低于200℃时,形成过多的回火马氏体,并且残余奥氏体不足,因此钢板的 $T(\gamma)/V(\gamma)$ 、拉伸强度和伸长率的平衡( $TS^2*EL^{1/2}$ )

<sup>2</sup>)以及拉伸强度和扩孔率的平衡( $TS^2*HER^{1/2}$ )可能会降低。另一方面,当一次冷却终止温度超过400℃时,形成过多的贝氏体,并且回火马氏体不足,因此钢板的拉伸强度和伸长率的平衡( $TS^2*EL^{1/2}$ )以及拉伸强度和扩孔率的平衡( $TS^2*HER^{1/2}$ )可能会降低。

[0145] 在一次冷却后,可以以平均加热速度为5℃/秒以上的加热速度加热至400-600℃的温度范围(三次加热),然后保持10-1800秒(二次保持)。对三次加热的平均加热速度的上限无需特别规定,但优选为100℃/秒以下。当二次保持温度低于400℃时,由于低的热处理温度,钢板的拉伸强度和扩孔率的平衡( $TS^2*HER^{1/2}$ )可能会降低。当二次保持温度超过600℃时,残余奥氏体的分数不足,因此 $T(\gamma)/V(\gamma)$ 、拉伸强度和伸长率的平衡( $TS^2*EL^{1/2}$ )以及拉伸强度和扩孔率的平衡( $TS^2*HER^{1/2}$ )可能会降低。当二次保持时间小于10秒时,热处理时间不足,因此钢板的拉伸强度和扩孔率的平衡( $TS^2*HER^{1/2}$ )可能会降低。对二次保持时间的上限无需特别规定,但优选为1800秒以下。

[0146] 在二次保持后,可以以1℃/秒以上的平均冷却速度冷却至300-500℃的温度范围(二次冷却),然后保持10-1800秒(三次保持)。对二次冷却的平均冷却速度的上限无需特别规定,但优选为100℃/秒以下。当三次保持温度低于300℃时,由于低热处理温度,拉伸强度和扩孔率的平衡( $TS^2*HER^{1/2}$ )可能会降低。另一方面,当三次保持温度超过500℃时,残余奥氏体的分数不足,因此 $T(\gamma)/V(\gamma)$ 、拉伸强度和伸长率的平衡( $TS^2*EL^{1/2}$ )以及拉伸强度和扩孔率的平衡( $TS^2*HER^{1/2}$ )可能会降低。当三次保持时间小于10秒时,热处理时间不足,因此钢板的拉伸强度和扩孔率的平衡( $TS^2*HER^{1/2}$ )可能会降低。对三次保持时间的上限无需特别规定,但优选为1800秒以下。

[0147] 一次冷却的冷却速度( $V_{c1}$ )和所述二次冷却的冷却速度( $V_{c2}$ )可以满足 $V_{c1}>V_{c2}$ 的关系。

[0148] 在三次保持后,可以以1℃/秒以上的平均冷却速度冷却至常温(三次冷却)。

[0149] 在通过上述制造方法制造的加工性优异的高强度钢板中,微细组织可以包含贝氏体、回火马氏体、新生马氏体、残余奥氏体和其它不可避免的组织,作为优选的一个示例,以体积分数计,可以包含10-30%的贝氏体、50-70%的回火马氏体、10-30%的新生马氏体、2-10%的残余奥氏体以及5%以下(包括0%)的铁素体。

[0150] 在通过上述制造方法制造的钢板中,由以下[关系式3]表示的拉伸强度和伸长率的平衡( $B_{TE}$ )可以满足 $3.0*10^6$ 至 $6.2*10^6$ ( $MPa^2\%^{1/2}$ ),由以下[关系式4]表示的拉伸强度和扩孔率的平衡( $B_{TH}$ )可以满足 $6.0*10^6$ 至 $11.5*10^6$ ( $MPa^2\%^{1/2}$ ),由以下[关系式5]表示的屈强比评价指数( $I_{YR}$ )可以满足0.15至0.42。

[0151] [关系式3]

$$[0152] B_{TE} = [\text{拉伸强度 (TS, MPa)}]^2 * [\text{伸长率 (E1, \%)}]^{1/2}$$

[0153] [关系式4]

$$[0154] B_{TH} = [\text{拉伸强度 (TS, MPa)}]^2 * [\text{扩孔率 (HER, \%)}]^{1/2}$$

[0155] [关系式5]

$$[0156] I_{YR} = 1 - [\text{屈强比 (YR)}]$$

## 具体实施方式

[0157] 以下,通过具体的实施例对本发明的一个方面的加工性优异的高强度钢板及其制

造方法进行更详细的说明。需要注意的是,以下实施例仅仅是用于理解本发明,并不是用于限定本发明的权利范围。本发明的权利范围由权利要求书中记载的内容和由此合理推导的内容所决定。

[0158] (实施例)

[0159] 制造具有下表1中记载的合金组成(余量为Fe及不可避免的杂质)的厚度为100mm的钢坯,并在1200℃下进行加热,然后在900℃下进行热精轧。之后,以30℃/秒的平均冷却速度进行冷却,并在表2和表3的收卷温度下进行收卷,从而制造厚度为3mm的热轧钢板。之后,进行酸洗以去除表面氧化皮,然后进行冷轧直至1.5mm的厚度。

[0160] 之后,在下表2至表5中记载的退火热处理条件下进行热处理,从而制造钢板。在下表2和表3中,单相区表示Ac3至920℃的温度范围,双相区表示低于Ac3℃的温度范围。

[0161] 对如上所述制造的钢板的微细组织进行观察,并将结果示于表6和表7中。对抛光的试片的截面使用硝酸酒精溶液浸蚀,然后通过SEM观察微细组织中的铁素体(F)、贝氏体(B)、回火马氏体(TM)、新生马氏体(FM)和珠光体(P)。在硝酸酒精溶液浸蚀后,将在试片表面上没有凹凸的组织区分为铁素体,将具有渗碳体和铁素体的层状结构的组织区分为珠光体。所观察的贝氏体(B)和回火马氏体(TM)均为板条和块状形态,从而难以区分,因此贝氏体和回火马氏体是膨胀评价后利用膨胀曲线来计算分数。即,将在通过SEM观察测量的贝氏体和回火马氏体的分数中减去通过膨胀曲线计算的回火马氏体的分数的值确定为贝氏体的分数。另外,新生马氏体(FM)和残余奥氏体(残余 $\gamma$ )也难以区分,因此将在通过所述SEM观察到的马氏体和残余奥氏体的分数中减去通过X射线衍射法计算的残余奥氏体的分数的值确定为新生马氏体分数。

[0162] 另外,将钢板的 $[B]_{FM}/[B]_{TM}$ 、 $T(\gamma)/V(\gamma)$ 、拉伸强度和伸长率的平衡( $TS^2*EL^{1/2}$ )、拉伸强度和扩孔率的平衡( $TS^2*HER^{1/2}$ )以及屈强比评价指数( $I_{YR}$ )进行测量和评价,并将其结果示于表8和表9中。

[0163] 新生马氏体中的硼(B)含量( $[B]_{FM}$ )和回火马氏体中的硼(B)含量( $[B]_{TM}$ )确定为利用电子探针微量分析仪(Electron Probe MicroAnalyser, EPMA)在新生马氏体和回火马氏体中测量的硼(B)的浓度。回火残余奥氏体是利用EPMA并基于残余奥氏体中的测量的碳(C)含量来进行区分。

[0164] 拉伸强度(TS)和伸长率(E1)是通过拉伸试验进行评价,以相对于轧制板材的轧制方向为90°的方向为基准,根据JIS5号标准获取试片并进行评价,从而测量拉伸强度(TS)和伸长率(E1)。扩孔率(HER)是通过扩孔试验进行评价,在形成10mm $\Psi$ 的冲孔(模具内径为10.3mm,间隙为12.5%)后,将顶角为60°的圆锥形冲头沿冲孔的毛刺(burr)成为外侧的方向插入冲孔中,并以20mm/分钟的移动速度对冲孔周边部分进行挤压和扩展,然后利用以下[关系式6]进行计算。

[0165] [关系式6]

[0166] 扩孔率(HER, %) =  $\{(D-D_0)/D_0\} \times 100$

[0167] 在所述关系式6中,D表示裂纹沿厚度方向贯穿钢板时的孔径(mm), $D_0$ 表示初始孔径(mm)。

[0168] [表1]

钢种	化学成分(重量%)										
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Cr	Mo	B	其它
A	0.15	0.55	2.23	0.010	0.0009	0.48	0.0031			0.0022	
B	0.13	0.49	2.41	0.009	0.0010	0.50	0.0028	0.24	0.38	0.0025	
C	0.17	0.61	2.50	0.008	0.0013	0.44	0.0027		0.53	0.0023	
D	0.12	0.52	1.19	0.010	0.0009	0.91	0.0030	0.87		0.0031	
E	0.14	1.44	2.33	0.009	0.0007	0.15	0.0032			0.0048	
F	0.23	0.12	1.85	0.012	0.0010	1.48	0.0028			0.0045	
G	0.17	0.30	2.08	0.007	0.0012	0.75	0.0033			0.0030	Ti: 0.04
H	0.13	0.35	2.57	0.011	0.0008	0.39	0.0030			0.0026	Nb: 0.05
I	0.22	0.43	2.38	0.009	0.0011	0.42	0.0028			0.0029	V: 0.05
J	0.15	0.28	1.94	0.013	0.0009	0.46	0.0026			0.0015	Ni: 0.36
K	0.17	0.53	2.29	0.008	0.0012	0.53	0.0033			0.0018	Cu: 0.35
L	0.14	0.74	2.36	0.012	0.0008	0.68	0.0027			0.0007	
M	0.12	0.48	3.92	0.010	0.0010	0.54	0.0029			0.0009	Ca: 0.002
N	0.15	0.97	2.51	0.009	0.0013	0.50	0.0032			0.0033	REM: 0.001
O	0.19	0.62	2.48	0.007	0.0010	0.42	0.0029			0.0036	Mg: 0.002
P	0.15	0.57	2.36	0.011	0.0008	0.51	0.0032			0.0028	W: 0.15
Q	0.16	0.66	2.83	0.008	0.0010	0.47	0.0028			0.0024	Zr: 0.13
R	0.14	0.06	2.75	0.009	0.0009	1.45	0.0030			0.0022	Sb: 0.03
S	0.18	1.48	2.62	0.007	0.0011	0.05	0.0032			0.0026	Sn: 0.03
T	0.20	0.93	2.59	0.011	0.0008	0.48	0.0026			0.0021	Y: 0.02
U	0.13	0.65	2.48	0.010	0.0010	0.53	0.0027			0.0027	Hf: 0.01
V	0.16	0.72	2.65	0.012	0.0008	0.46	0.0033			0.0035	Co: 0.35
XA	0.07	0.53	2.50	0.009	0.0009	0.52	0.0031			0.0034	
XB	0.28	0.61	2.74	0.007	0.0010	0.48	0.0028			0.0031	
XC	0.15	0.004	2.82	0.011	0.0013	0.004	0.0030			0.0023	
XD	0.13	1.54	2.59	0.012	0.0012	0.59	0.0033			0.0028	
XE	0.16	0.52	2.64	0.010	0.0010	1.54	0.0028			0.0026	
XF	0.14	0.43	0.85	0.007	0.0008	0.52	0.0026			0.0032	
XG	0.17	0.61	4.16	0.010	0.0010	0.73	0.0031			0.0030	
XH	0.21	0.55	2.59	0.008	0.0009	0.55	0.0030	3.26		0.0024	
XI	0.19	0.46	2.32	0.007	0.0010	0.48	0.0028		3.22	0.0025	
XJ	0.14	0.57	2.46	0.011	0.0012	0.44	0.0029			0.0004	
XK	0.16	0.52	2.49	0.010	0.0011	0.42	0.0027			0.0052	

[0169]

[0170] [表2]

[0171]

试片 编号	钢种	热轧 钢板 收卷 温度 (°C)	一次 平均 加热 速度 (°C/秒)	一次 加热 终止 温度 (°C)	二次 平均 加热 速度 (°C/秒)	一次 保持 温度 区间	一次 保持 时间 (秒)	一次 平均 冷却 速度 (°C/秒)	一次 冷却 终止 温度 (°C)
1	A	550	15	700	0.5	单相区	180	20	300
2	A	550	1	700	0.5	单相区	180	20	350
3	A	550	15	700	10	单相区	180	20	300
4	A	550	15	700	0.5	双相区	180	20	350
5	A	550	15	700	0.5	单相区	180	0.5	350
6	A	550	15	700	0.5	单相区	180	20	170
7	A	550	15	700	0.5	单相区	180	20	430
8	A	550	15	700	0.5	单相区	180	20	300
9	A	550	15	700	0.5	单相区	180	20	300
10	A	550	15	700	0.5	单相区	180	20	300
11	A	550	15	700	0.5	单相区	180	20	300
12	A	550	15	700	0.5	单相区	180	20	300
13	A	550	15	700	0.5	单相区	180	20	350
14	B	500	15	700	0.5	单相区	180	20	300
15	C	500	15	700	0.5	单相区	180	20	300
16	D	500	15	700	0.5	单相区	180	20	350
17	E	450	15	700	0.5	单相区	180	20	250
18	F	450	15	700	0.5	单相区	180	20	300
19	G	450	15	700	0.5	单相区	180	20	350
20	H	500	15	700	0.5	单相区	180	20	230
21	I	550	15	700	0.5	单相区	180	20	370
22	J	400	15	700	0.5	单相区	180	20	300
23	K	600	15	700	0.5	单相区	180	20	300

[0172] [表3]

[0173]

试片 编号	钢种	热轧 钢板 收卷 温度 (°C)	一次 平均 加热 速度 (°C/秒)	一次 加热 终止 温度 (°C)	二次 平均 加热 速度 (°C/秒)	一次 保持 温度 区间	一次 保持 时间 (秒)	一次 平均 冷却 速度 (°C/秒)	一次 冷却 终止 温度 (°C)
24	L	550	15	700	0.5	单相区	180	20	300
25	M	550	15	700	0.5	单相区	180	20	300
26	N	600	15	700	0.5	单相区	180	20	350
27	O	550	15	700	0.5	单相区	180	20	350
28	P	450	15	700	0.5	单相区	180	20	300
29	Q	550	15	700	0.5	单相区	180	20	250
30	R	400	15	700	0.5	单相区	180	20	250
31	S	500	15	700	0.5	单相区	180	20	300
32	T	500	15	700	0.5	单相区	180	20	300
33	U	500	15	700	0.5	单相区	180	20	300
34	V	500	15	700	0.5	单相区	180	20	350
35	XA	550	15	700	0.5	单相区	180	20	300
36	XB	550	15	700	0.5	单相区	180	20	300
37	XC	550	15	700	0.5	单相区	180	20	300
38	XD	550	15	700	0.5	单相区	180	20	350
39	XE	550	15	700	0.5	单相区	180	20	300
40	XF	500	15	700	0.5	单相区	180	20	300
41	XG	500	15	700	0.5	单相区	180	20	350
42	XH	500	15	700	0.5	单相区	180	20	300
43	XI	500	15	700	0.5	单相区	180	20	300
44	XJ	500	15	700	0.5	单相区	180	20	300
45	XK	500	15	700	0.5	单相区	180	20	300

[0174] [表4]

[0175]

试片 编号	钢种	三次平均 加热速度 (°C/秒)	二次保持 温度 (°C)	二次保持 时间 (秒)	二次平均 冷却速度 (°C/秒)	三次保持 温度 (°C)	三次保持 时间 (秒)	三次平均 冷却速度 (°C/秒)
1	A	15	500	160	10	400	160	10
2	A	15	500	160	10	400	160	10
3	A	15	500	160	10	400	160	10
4	A	15	550	160	10	400	160	10
5	A	15	500	160	10	400	160	10
6	A	15	500	160	10	450	160	10
7	A	15	500	160	10	400	160	10
8	A	15	370	160	10	400	160	10
9	A	15	630	160	10	400	160	10
10	A	15	500	3	10	400	160	10
11	A	15	500	160	10	270	160	10
12	A	15	500	160	10	530	160	10
13	A	15	500	160	10	400	3	10
14	B	15	500	160	10	400	160	10
15	C	15	550	160	10	400	160	10
16	D	15	550	160	10	450	160	10
17	E	15	500	160	10	450	160	10
18	F	15	500	160	10	400	160	10
19	G	15	450	160	10	400	160	10
20	H	15	450	160	10	350	160	10
21	I	15	500	160	10	350	160	10
22	J	15	430	160	10	400	160	10
23	K	15	570	160	10	400	160	10

[0176] [表5]

[0177]

试片 编号	钢种	三次平均 加热速度 (°C/秒)	二次保持 温度 (°C)	二次保持 时间 (秒)	二次平均 冷却速度 (°C/秒)	三次保持 温度 (°C)	三次保持 时间 (秒)	三次平均 冷却速度 (°C/秒)
24	L	15	500	160	10	400	160	10
25	M	15	500	160	10	330	160	10
26	N	15	500	160	10	470	160	10
27	O	15	500	160	10	400	160	10
28	P	15	450	160	10	400	160	10
29	Q	15	450	160	10	400	160	10
30	R	15	500	160	10	400	160	10
31	S	15	550	160	10	400	160	10
32	T	15	550	160	10	400	160	10
33	U	15	500	160	10	400	160	10
34	V	15	500	160	10	450	160	10
35	XA	15	500	160	10	400	160	10
36	XB	15	500	160	10	400	160	10
37	XC	15	500	160	10	400	160	10
38	XD	15	500	160	10	400	160	10
39	XE	15	550	160	10	400	160	10
40	XF	15	500	160	10	400	160	10
41	XG	15	500	160	10	450	160	10
42	XH	15	500	160	10	400	160	10
43	XI	15	500	160	10	400	160	10
44	XJ	15	500	160	10	400	160	10
45	XK	15	500	160	10	400	160	10

[0178] [表6]

[0179]

试片 编号	钢种	F (体积%)	B (体积%)	TM (体积%)	FM (体积%)	P (体积%)	V( $\gamma$ ) (体积%)	T( $\gamma$ ) (体积%)
1	A	0	21	56	15	1	7	1.5
2	A	0	28	46	24	1	1	0.05
3	A	0	20	55	14	5	6	1.1
4	A	12	14	53	16	0	5	1.2
5	A	0	22	62	15	0	1	0.07
6	A	0	12	73	14	0	1	0.06
7	A	0	33	47	15	0	5	0.9
8	A	0	23	61	13	0	3	0.5
9	A	0	20	63	16	0	1	0.04
10	A	0	23	58	15	0	4	0.5
11	A	0	21	56	17	0	6	0.9
12	A	0	20	65	14	0	1	0.05
13	A	0	23	58	13	1	5	1.1
14	B	0	21	58	15	0	6	1.2
15	C	0	23	56	16	0	5	0.8
16	D	0	19	59	14	0	8	1.5
17	E	0	18	60	15	0	7	1.3
18	F	0	20	57	18	0	5	1.1
19	G	0	19	58	17	0	6	0.8
20	H	0	22	55	16	0	7	1
21	I	0	19	58	15	0	8	1.3
22	J	0	18	60	17	0	5	0.6
23	K	0	20	59	14	1	6	0.9

[0180] [表7]

[0181]

编号	钢种	F (体积%)	B (体积%)	TM (体积%)	FM (体积%)	P (体积%)	V( $\gamma$ ) (体积%)	T( $\gamma$ ) (体积%)
24	L	0	22	58	15	0	5	0.7
25	M	0	19	57	18	0	6	1.1
26	N	0	17	62	13	0	8	2.2
27	O	0	21	57	16	0	6	1.6
28	P	0	18	58	17	0	7	2
29	Q	0	20	59	15	0	6	1.1
30	R	0	19	60	16	0	5	0.8
31	S	0	22	55	19	0	4	0.7
32	T	0	17	57	18	0	8	2.3
33	U	0	19	59	16	0	6	1
34	V	0	21	60	14	0	5	0.6
35	XA	0	20	58	17	0	5	0.7
36	XB	0	14	41	33	0	12	3.3
37	XC	0	22	62	15	0	1	0.06
38	XD	0	14	52	31	0	3	0.5
39	XE	0	13	51	32	0	4	0.6
40	XF	0	17	58	14	10	1	0.03
41	XG	0	12	53	32	0	3	0.4
42	XH	0	13	51	33	0	3	0.5
43	XI	0	11	54	31	0	4	0.6
44	XJ	0	20	62	15	0	3	0.4
45	XK	0	21	60	14	0	5	0.7

[0182] [表8]

[0183]

编号	钢种	$[B]_{FM}/[B]_{TM}$	$T(\gamma)/V(\gamma)$	$B_{TE}$ ( $10^6 \text{ MPa}^2\%^{1/2}$ )	$B_{TH}$ ( $10^6 \text{ MPa}^2\%^{1/2}$ )	1-YR
1	A	0.32	0.21	5.3	9.1	0.30
2	A	0.13	0.05	2.1	4.0	0.29
3	A	0.57	0.18	2.4	5.5	0.47
4	A	0.20	0.24	2.7	4.3	0.38
5	A	0.06	0.07	1.8	4.8	0.25
6	A	0.17	0.06	2.5	3.3	0.28
7	A	0.19	0.18	1.9	4.6	0.33
8	A	0.12	0.17	4.4	5.2	0.31
9	A	0.27	0.04	2.0	4.8	0.26
10	A	0.22	0.13	4.5	3.9	0.37
11	A	0.35	0.15	3.8	3.4	0.28
12	A	0.28	0.05	2.6	5.6	0.33
13	A	0.30	0.22	4.1	4.7	0.25
14	B	0.23	0.20	4.8	8.6	0.28
15	C	0.42	0.16	5.9	9.7	0.35
16	D	0.06	0.19	4.2	11.3	0.40
17	E	0.50	0.19	6.1	6.3	0.38
18	F	0.32	0.22	5.2	10.5	0.17
19	G	0.28	0.13	4.5	10.2	0.35
20	H	0.09	0.14	3.3	9.8	0.19
21	I	0.53	0.16	5.9	8.2	0.27
22	J	0.47	0.12	5.2	8.9	0.29
23	K	0.38	0.15	4.6	7.5	0.36

[0184] [表9]

[0185]

编号	钢种	$[B]_{FM}/[B]_{TM}$	$T(\gamma)/V(\gamma)$	$B_{TE}$ ( $10^6 \text{ MPa}^2\%^{1/2}$ )	$B_{TH}$ ( $10^6 \text{ MPa}^2\%^{1/2}$ )	1-YR
24	L	0.34	0.14	5.4	9.4	0.33
25	M	0.39	0.18	3.6	8.8	0.28
26	N	0.26	0.28	4.2	8.1	0.24
27	O	0.15	0.27	5.0	7.6	0.35
28	P	0.36	0.29	4.7	8.5	0.37
29	Q	0.48	0.18	3.9	6.3	0.19
30	R	0.53	0.16	6.0	11.2	0.21
31	S	0.06	0.18	4.3	7.5	0.40
32	T	0.48	0.29	3.8	9.2	0.33
33	U	0.37	0.17	3.6	10.8	0.28
34	V	0.25	0.12	4.8	8.4	0.35
35	XA	0.29	0.14	2.3	4.8	0.23
36	XB	0.24	0.28	2.5	5.2	0.28
37	XC	0.19	0.06	1.9	5.5	0.35
38	XD	0.20	0.17	2.2	4.3	0.29
39	XE	0.22	0.15	1.7	5.7	0.32
40	XF	0.25	0.03	2.0	4.9	0.18
41	XG	0.16	0.13	2.7	5.4	0.24
42	XH	0.14	0.17	1.8	4.5	0.19
43	XI	0.19	0.15	2.1	4.2	0.21
44	XJ	0.58	0.13	3.3	6.8	0.45
45	XK	0.01	0.14	3.6	6.2	0.13

[0186] 如所述表1至表9所示,可知满足本发明中提出的条件的试片的情况下,均满足[关系式1]和[关系式2],拉伸强度和伸长率的平衡( $B_{TE}$ )满足 $3.0 \times 10^6$ 至 $6.2 \times 10^6$  ( $\text{MPa}^2\%^{1/2}$ ),拉伸强度和扩孔率的平衡( $B_{TH}$ )满足 $6.0 \times 10^6$ 至 $11.5 \times 10^6$  ( $\text{MPa}^2\%^{1/2}$ ),屈强比评价指数( $I_{YR}$ )满足0.15至0.42。

[0187] 在试片2中,一次平均加热速度小于 $5^\circ\text{C}/\text{秒}$ ,因此回火马氏体和残余奥氏体不足。其结果,试片2的 $T(\gamma)/V(\gamma)$ 小于0.08,拉伸强度和伸长率的平衡( $B_{TE}$ )小于 $3.0 \times 10^6$ ,拉伸强度和扩孔率的平衡( $B_{TH}$ )小于 $6.0 \times 10^6$ 。

[0188] 在试片3中,二次平均加热速度超过 $5^\circ\text{C}/\text{秒}$ ,因此形成块状的奥氏体,并且硼(B)未富集在回火马氏体中。其结果,试片3的 $[B]_{FM}/[B]_{TM}$ 超过0.55,屈强比评价指数( $I_{YR}$ )超过0.42,拉伸强度和伸长率的平衡( $B_{TE}$ )小于 $3.0 \times 10^6$ ,拉伸强度和扩孔率的平衡( $B_{TH}$ )小于 $6.0 \times 10^6$ 。

[0189] 在试片4中,在一次保持温度低于Ac3的双相区中进行,因此铁素体的分数超出。其结果,试片4的拉伸强度和伸长率的平衡( $B_{TE}$ )小于 $3.0 \times 10^6$ ,拉伸强度和扩孔率的平衡( $B_{TH}$ )小于 $6.0 \times 10^6$ 。

[0190] 在试片5中,一次平均冷却速度小于 $2^\circ\text{C}/\text{秒}$ ,因此残余奥氏体的分数不足。其结果,试片5的 $T(\gamma)/V(\gamma)$ 小于0.08,拉伸强度和伸长率的平衡( $B_{TE}$ )小于 $3.0 \times 10^6$ ,拉伸强度和扩

孔率的平衡( $B_{TH}$ )小于 $6.0 \times 10^6$ 。

[0191] 在试片6中,一次冷却终止温度低于 $200^\circ\text{C}$ ,因此回火马氏体的分数超出,并且残余奥氏体的分数不足。其结果,试片6的 $T(\gamma)/V(\gamma)$ 小于0.08,拉伸强度和伸长率的平衡( $B_{TE}$ )小于 $3.0 \times 10^6$ ,拉伸强度和扩孔率的平衡( $B_{TH}$ )小于 $6.0 \times 10^6$ 。

[0192] 在试片7中,一次冷却终止温度超过 $400^\circ\text{C}$ ,因此贝氏体的分数超出,并且回火马氏体的分数不足。其结果,试片7的拉伸强度和伸长率的平衡( $B_{TE}$ )小于 $3.0 \times 10^6$ ,拉伸强度和扩孔率的平衡( $B_{TH}$ )小于 $6.0 \times 10^6$ 。

[0193] 在试片8中,二次保持温度低于 $400^\circ\text{C}$ ,因此热处理温度不足。其结果,试片8的拉伸强度和扩孔率的平衡( $B_{TH}$ )小于 $6.0 \times 10^6$ 。

[0194] 在试片9中,三次保持温度超过 $600^\circ\text{C}$ ,因此残余奥氏体的分数不足。其结果,试片9的 $T(\gamma)/V(\gamma)$ 小于0.08,拉伸强度和伸长率的平衡( $B_{TE}$ )小于 $3.0 \times 10^6$ ,拉伸强度和扩孔率的平衡( $B_{TH}$ )小于 $6.0 \times 10^6$ 。

[0195] 在试片10中,二次保持时间小于10秒(s),因此热处理时间不足。其结果,试片10的拉伸强度和扩孔率的平衡( $B_{TH}$ )小于 $6.0 \times 10^6$ 。

[0196] 在试片11中,三次保持温度低于 $300^\circ\text{C}$ ,因此热处理温度不足。其结果,试片11的拉伸强度和扩孔率的平衡( $B_{TH}$ )小于 $6.0 \times 10^6$ 。

[0197] 在试片12中,三次保持温度超过 $500^\circ\text{C}$ ,因此残余奥氏体的分数不足。其结果,试片12的 $T(\gamma)/V(\gamma)$ 小于0.08,拉伸强度和伸长率的平衡( $B_{TE}$ )小于 $3.0 \times 10^6$ ,拉伸强度和扩孔率的平衡( $B_{TH}$ )小于 $6.0 \times 10^6$ 。

[0198] 在试片13中,三次保持时间小于10秒,因此热处理时间不足。其结果,试片13的拉伸强度和扩孔率的平衡( $B_{TH}$ )小于 $6.0 \times 10^6$ 。

[0199] 在试片35中,碳(C)含量低,因此拉伸强度和伸长率的平衡( $B_{TE}$ )小于 $3.0 \times 10^6$ ,拉伸强度和扩孔率的平衡( $B_{TH}$ )小于 $6.0 \times 10^6$ 。

[0200] 在试片36中,碳(C)含量高,因此回火马氏体的分数不足,并且超过新生马氏体的分数。其结果,试片36的拉伸强度和伸长率的平衡( $B_{TE}$ )小于 $3.0 \times 10^6$ ,拉伸强度和扩孔率的平衡( $B_{TH}$ )小于 $6.0 \times 10^6$ 。

[0201] 在试片37中,硅(Si)含量低,因此残余奥氏体的分数不足。其结果,试片37的 $T(\gamma)/V(\gamma)$ 小于0.08,拉伸强度和伸长率的平衡( $B_{TE}$ )小于 $3.0 \times 10^6$ ,拉伸强度和扩孔率的平衡( $B_{TH}$ )小于 $6.0 \times 10^6$ 。

[0202] 在试片38中,硅(Si)含量高,因此新生马氏体的分数超出。其结果,试片38的拉伸强度和伸长率的平衡( $B_{TE}$ )小于 $3.0 \times 10^6$ ,拉伸强度和扩孔率的平衡( $B_{TH}$ )小于 $6.0 \times 10^6$ 。

[0203] 在试片39中,铝(Al)含量高,因此超过新生马氏体的分数。其结果,试片39的拉伸强度和伸长率的平衡( $B_{TE}$ )小于 $3.0 \times 10^6$ ,拉伸强度和扩孔率的平衡( $B_{TH}$ )小于 $6.0 \times 10^6$ 。

[0204] 在试片40中,锰(Mn)含量低,由于珠光体的形成,残余奥氏体的分数不足。其结果,试片40的 $T(\gamma)/V(\gamma)$ 小于0.08,拉伸强度和伸长率的平衡( $B_{TE}$ )小于 $3.0 \times 10^6$ ,拉伸强度和扩孔率的平衡( $B_{TH}$ )小于 $6.0 \times 10^6$ 。

[0205] 在试片41中,锰(Mn)含量高,因此新生马氏体的分数超出。其结果,试片41的拉伸强度和伸长率的平衡( $B_{TE}$ )小于 $3.0 \times 10^6$ ,拉伸强度和扩孔率的平衡( $B_{TH}$ )小于 $6.0 \times 10^6$ 。

[0206] 在试片42中,铬(Cr)含量高,因此新生马氏体的分数超出。其结果,试片42的拉伸

强度和伸长率的平衡( $B_{TE}$ )小于 $3.0 \times 10^6$ ,拉伸强度和扩孔率的平衡( $B_{TH}$ )小于 $6.0 \times 10^6$ 。

[0207] 在试片43中,钼(Mo)含量高,因此新生马氏体的分数超出。其结果,试片43的拉伸强度和伸长率的平衡( $B_{TE}$ )小于 $3.0 \times 10^6$ ,拉伸强度和扩孔率的平衡( $B_{TH}$ )小于 $6.0 \times 10^6$ 。

[0208] 在试片44中,硼(B)含量低,硼(B)无法在回火马氏体中富集。其结果,试片44的 $[B]_{FM}/[B]_{TM}$ 超过0.55,屈强比评价指数( $I_{YR}$ )超过0.42。

[0209] 在试片45中,硼(B)含量高,硼(B)在回火马氏体中过度富集。其结果,试片45的 $[B]_{FM}/[B]_{TM}$ 小于0.03,屈强比评价指数( $I_{YR}$ )小于0.15。

[0210] 以上,通过实施例对本发明进行了详细说明,但也可以包括与其不同的其它形式的实施例。因此,权利要求的技术思想和范围并不受限于实施例。