



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 115917027 B

(45) 授权公告日 2024.06.28

(21) 申请号 202180042287.2

(22) 申请日 2021.04.13

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 115917027 A

(43) 申请公布日 2023.04.04

(30) 优先权数据  
2020-072335 2020.04.14 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日  
2022.12.12

(86) PCT国际申请的申请数据  
PCT/JP2021/015310 2021.04.13

(87) PCT国际申请的公布数据  
W02021/210577 JA 2021.10.21

(73) 专利权人 日本制铁株式会社

地址 日本东京都

(72) 发明人 铃木崇久 宫西庆 江头诚

(74) 专利代理机构 北京林达刘知识产权代理事  
务所(普通合伙) 11277  
专利代理师 刘新宇 李茂家

(51) Int.Cl.  
C22C 38/00 (2006.01)  
C21D 8/06 (2006.01)  
C22C 38/60 (2006.01)

(56) 对比文件  
CN 101643880 A, 2010.02.10  
CN 108699660 A, 2018.10.23

审查员 殷晨亮

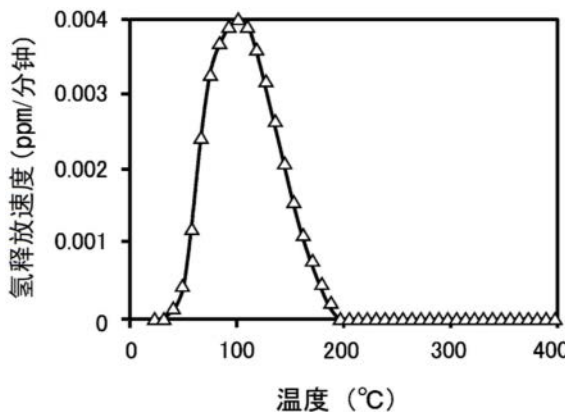
权利要求书4页 说明书31页 附图1页

(54) 发明名称

钢近终形材料及其制造方法

(57) 摘要

提供具有高疲劳强度和高拉伸强度的钢近终形材料。钢近终形材料的化学组成以质量%计含有C:0.03~0.25%、Si:0.02~0.50%、Mn:超过0.70%且为2.50%以下、P:0.035%以下、S:0.050%以下、Al:0.005~0.050%、V:超过0.10%且为0.40%以下、以及N:0.003~0.030%,包含面积率为20~90%的多边形铁素体以及面积率为10~80%的硬质相,满足式(1),采用阴极充氢法充氢时的扩散性氢量为0.10ppm以上。[析出物中V]/[V]≥0.30(1)。



1. 一种钢近终形材料，  
其化学组成以质量%计为C:0.03~0.25%、  
Si:0.02~0.50%、  
Mn:超过0.70%且为2.50%以下、P:0.035%以下、  
S:0.050%以下、  
Al:0.005~0.050%、  
V:超过0.10%且为0.40%以下、N:0.003~0.030%、  
Cr:0~0.70%、  
Nb:0~0.100%、  
B:0~0.0100%、  
Cu:0~0.30%、  
Ni:0~0.30%、  
Ca:0~0.0050%、  
Bi:0~0.100%、  
Pb:0~0.090%、  
Mo:0~0.05%、  
Ti:0~0.005%、  
Zr:0~0.010%、  
Se:0~0.10%、  
Te:0~0.10%、  
稀土元素:0~0.010%、  
Sb:0~0.10%、  
Mg:0~0.0050%、  
W:0~0.050%、以及余量:Fe和杂质，  
所述钢近终形材料的显微组织由如下相构成：  
面积率为20~90%的多边形铁素体；以及  
由珠光体和/或贝氏体构成的、面积率为10~80%的硬质相，  
将所述化学组成中的V含量定义为[V] (质量%)、将所述钢近终形材料中的V析出物中的V的总含量定义为[析出物中V] (质量%)时，满足式(1)，采用阴极充氢法充氢时的扩散性氢量为0.10ppm以上，

$$[\text{析出物中V}]/[\text{V}] \geq 0.30 \quad (1)$$

2. 根据权利要求1所述的钢近终形材料，其中，  
所述化学组成含有选自由

Cr:0.01~0.70%、  
Nb:0.001~0.100%、  
B:0.0001~0.0100%、  
Cu:0.01~0.30%、  
Ni:0.01~0.30%、  
Ca:0.0001~0.0050%、

Bi:0.001~0.100%、

Pb:0.001~0.090%、

Mo:0.01~0.05%、

Ti:0.001~0.005%、

Zr:0.002~0.010%、

Se:0.01~0.10%、

Te:0.01~0.10%、

稀土元素:0.001~0.010%、

Sb:0.01~0.10%、

Mg:0.0005~0.0050%、

W:0.001~0.050%组成的组中的1种以上元素来代替一部分Fe。

3.一种权利要求1所述的钢近终形材料的制造方法,该制造方法具备以下工序:

准备钢材的钢材准备工序,所述钢材的化学组成以质量%计为C:0.03~0.25%、

Si:0.02~0.50%、

Mn:超过0.70%且为2.50%以下、

P:0.035%以下、

S:0.050%以下、

Al:0.005~0.050%、

V:超过0.10%且为0.40%以下、

N:0.003~0.030%、

Cr:0~0.70%、

Nb:0~0.100%、

B:0~0.0100%、

Cu:0~0.30%、

Ni:0~0.30%、

Ca:0~0.0050%、

Bi:0~0.100%、

Pb:0~0.090%、

Mo:0~0.05%、

Ti:0~0.005%、

Zr:0~0.010%、

Se:0~0.10%、

Te:0~0.10%、

稀土元素:0~0.010%、

Sb:0~0.10%、

Mg:0~0.0050%、

W:0~0.050%、以及

余量:Fe和杂质,

所述钢材的显微组织由如下相构成:

面积率为20~90%的多边形铁素体;以及  
由珠光体和/或贝氏体构成的、面积率为10~80%的硬质相,  
将所述化学组成中的V含量定义为[V] (质量%)、将钢中的V析出物中的V的总含量定义为[析出物中V] (质量%)时,[析出物中V]/[V]为0.05以上且小于0.30;  
对所述钢材进行冷加工的冷加工工序;  
对冷加工后的所述钢材实施将处理温度设为 $500^{\circ}\text{C} \sim A_{c1}$ 点、将所述处理温度下的保持时间设为15~150分钟的时效硬化处理的时效硬化处理工序,  
所述冷加工工序包括  
对所述钢材从第1方向实施加工应变量为0.05以上的冷加工的第1方向冷加工工序,以及  
对所述钢材从与所述第1方向不同的第2方向实施加工应变量为0.05以上的冷加工的第2方向冷加工工序,  
所述第1方向冷加工工序中所述钢材产生的加工应变量为与所述第2方向冷加工工序中所述钢材产生的加工应变量的总和为0.20以上。

4. 一种权利要求2所述的钢近终形材料的制造方法,该制造方法具备以下工序:

准备钢材的钢材准备工序,所述钢材的化学组成以质量%计含有

C:0.03~0.25%、

Si:0.02~0.50%、

Mn:超过0.70%且为2.50%以下、

P:0.035%以下、

S:0.050%以下、

Al:0.005~0.050%、

V:超过0.10%且为0.40%以下、

N:0.003~0.030%、

还含有选自由Cr:0.01~0.70%、

Nb:0.001~0.100%、

B:0.0001~0.0100%、

Cu:0.01~0.30%、

Ni:0.01~0.30%、

Ca:0.0001~0.0050%、

Bi:0.001~0.100%、

Pb:0.001~0.090%、

Mo:0.01~0.05%、

Ti:0.001~0.005%、

Zr:0.002~0.010%、

Se:0.01~0.10%、

Te:0.01~0.10%、

稀土元素:0.001~0.010%、

Sb:0.01~0.10%、

Mg:0.0005~0.0050%、以及

W:0.001~0.050%组成的组中的1种以上元素,且

余量为Fe和杂质,

所述钢材的显微组织由如下相构成:

面积率为20~90%的多边形铁素体;以及

由珠光体和/或贝氏体构成的、面积率为10~80%的硬质相,

将所述化学组成中的V含量定义为[V] (质量%)、将钢中的V析出物中的V的总含量定义为[析出物中V] (质量%)时,[析出物中V]/[V]为0.05以上且小于0.30;

对所述钢材进行冷加工的冷加工工序;

对冷加工后的所述钢材实施将处理温度设为 $500^{\circ}\text{C} \sim A_{c1}$ 点、将所述处理温度下的保持时间设为15~150分钟的时效硬化处理的时效硬化处理工序,

所述冷加工工序包括

对所述钢材从第1方向实施加工应变量为0.05以上的冷加工的第1方向冷加工工序,以及

对所述钢材从与所述第1方向不同的第2方向实施加工应变量为0.05以上的冷加工的第2方向冷加工工序,

所述第1方向冷加工工序中所述钢材产生的加工应变量为与第2方向冷加工工序中所述钢材产生的加工应变量的总和为0.20以上。

## 钢近终形材料及其制造方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及由钢形成的近终形材料即钢近终形材料及其制造方法。

### 背景技术

[0002] 作为由汽车部件、工业机械部件和建筑机械部件等所代表的机械结构用部件的坯料,会使用结构用钢钢材。结构用钢钢材例如为机械结构用碳钢钢材、机械结构用合金钢钢材等。

[0003] 机械结构用部件要求高疲劳强度。为此,作为使用坯料钢材制造具有高疲劳强度的机械结构用部件的方法已知存在以下制造方法。首先,对钢材实施热锻等加工,制造所要的部件形状的钢材。对所要的部件形状的钢材实施时效硬化处理来制造钢近终形材料。对钢近终形材料实施切削加工,制造作为最终制品的机械结构用部件。在以上制造工序中,通过对加工后的钢材实施时效硬化处理,能够提高机械结构用部件的疲劳强度。

[0004] 实施时效硬化处理而制造的机械结构用部件的坯料钢材,例如在日本特开2011-236452号公报(专利文献1)中给出了一种方案。

[0005] 专利文献1所述的钢材以质量%计含有C:0.14~0.35%、Si:0.05~0.70%、Mn:1.10~2.30%、S:0.003~0.120%、Cu:0.01~0.40%、Ni:0.01~0.40%、Cr:0.01~0.50%、Mo:0.01~0.30%以及V:0.05~0.45%、余量由Fe以及不可避免的杂质组成,且满足 $13[C]+8[Si]+10[Mn]+3[Cu]+3[Ni]+22[Mo]+11[V] \leq 30$ 、 $5[C]+[Si]+2[Mn]+3[Cr]+2[Mo]+4[V] \leq 7.3$ 、 $2.4 \leq 0.3[C]+1.1[Mn]+0.2[Cu]+0.2[Ni]+1.2[Cr]+1.1[Mo]+0.2[V] \leq 3.1$ 、 $2.5 \leq [C]+[Si]+4[Mo]+9[V]$ 、 $[C] \geq [Mo]/16+[V]/3$ 。专利文献1公开的钢材通过将化学组成调整为满足上述参数式,由此显微组织成为贝氏体,提高了热锻性,并提高了热锻后的硬度。专利文献1中记载了由于专利文献1公开的钢材具有贝氏体组织,因此切削性优异。在专利文献1中,对具有上述构成的钢材实施热锻来制造中间部件。然后,对中间部件实施切削加工而形成所要的形状的部件。然后,进行时效硬化处理。专利文献1中记载了由此制造的部件可获得高强度。

[0006] 但是,实施热锻来制造部件时,热锻后的中间部件在冷却工序中容易发生应变。因此,中间部件的形状相对于所要的形状容易出现些许变形。即,受热应变的影响,使热锻后的中间部件接近最终形状是很困难的。因此,对热锻后的中间部件实施切削加工使其接近最终形状。

[0007] 如上所述,若对热锻后的中间部件实施切削加工,则成品率下降。为此,最近以提高成品率为目的,有意将热锻替换为由冷锻所代表的冷加工。当采用冷加工代替热锻的情况下,中间品能够实现近终形(与最终形状大致相同的形状)。在这种情况下,能够降低中间部件的切削加工工序中的切削量。因此成品率提高。此外,有时还能够省略切削加工工序本身。在这种情况下,生产率提高。

[0008] 但是,由冷锻所代表的冷加工与热锻相比,加工载荷容易变大。因此,需要提高冷加工时钢材的加工性(以下称为冷加工性)。具体而言,要求能够以较小的载荷加工成所要

的形状,并且,抑制冷加工时裂纹的发生。因此,在冷加工后实施时效硬化处理的情况下,对其对象的钢材要求优异的冷加工性和时效硬化处理后优异的疲劳强度。

[0009] 冷锻后实施时效硬化处理而制造的部件的坯料钢材,在日本特开2019-173168号公报(专利文献2)中给出了一种方案。

[0010] 专利文献2公开的钢材以质量%计为C:0.02~0.25%、Si:0.005~0.50%、Mn:超过0.70%且为2.50%以下、P:0.035%以下、S:0.050%以下、Al:0.005~0.050%、Cr:0.02~0.70%、V:0.02~0.30%、N:0.003~0.030%、Nb:0~0.10%、B:0~0.005%、Ca:0~0.005%、Bi:0~0.10%、Pb:0~0.20%、以及余量:Fe和杂质。在专利文献2的钢材中具有以下化学组成:杂质中的Cu、Ni和Mo的总含量为0.05质量%以下,杂质中的Ti含量为0.005质量%以下,且满足式(1)。需要说明的是,式(1)为 $[V析出物]/[V含量] \leq 0.50$ 。专利文献2的钢材的显微组织含有铁素体、珠光体和/或贝氏体。显微组织中的铁素体的面积率为10~90%。专利文献2中记载了具有以上构成的钢材具有高冷锻性,且冷锻后进行时效硬化处理的情况下可以获得高疲劳强度。

[0011] 现有技术文献

[0012] 专利文献

[0013] 专利文献1:日本特开2011-236452号公报

[0014] 专利文献2:日本特开2019-173168号公报

## 发明内容

[0015] 发明要解决的问题

[0016] 由专利文献2公开的钢材制造的部件具有高疲劳强度。但是,有时部件不仅要求高疲劳强度,还要求高拉伸强度。在专利文献2中并没有对兼顾高疲劳强度和高拉伸强度进行研究。

[0017] 本发明的目的在于提供具有高疲劳强度和高拉伸强度的钢近终形材料及其制造方法。

[0018] 用于解决问题的方案

[0019] 本申请涉及的钢近终形材料,其化学组成以质量%计为

[0020] C:0.03~0.25%、

[0021] Si:0.02~0.50%、

[0022] Mn:超过0.70%且为2.50%以下、

[0023] P:0.035%以下、

[0024] S:0.050%以下、

[0025] Al:0.005~0.050%、

[0026] V:超过0.10%且为0.40%以下、

[0027] N:0.003~0.030%、

[0028] Cr:0~0.70%、

[0029] Nb:0~0.100%、

[0030] B:0~0.0100%、

[0031] Cu:0~0.30%、

- [0032] Ni:0~0.30%、  
[0033] Ca:0~0.0050%、  
[0034] Bi:0~0.100%、  
[0035] Pb:0~0.090%、  
[0036] Mo:0~0.05%、  
[0037] Ti:0~0.005%、  
[0038] Zr:0~0.010%、  
[0039] Se:0~0.10%、  
[0040] Te:0~0.10%、  
[0041] 稀土元素:0~0.010%、  
[0042] Sb:0~0.10%、  
[0043] Mg:0~0.0050%、  
[0044] W:0~0.050%、以及  
[0045] 余量:Fe和杂质,  
[0046] 所述钢近终形材料的显微组织由如下相构成:  
[0047] 面积率为20~90%的多边形铁素体;以及  
[0048] 由珠光体和/或贝氏体构成的、面积率为10~80%的硬质相,  
[0049] 将所述化学组成中的V含量定义为[V] (质量%)、将所述钢近终形材料中的V析出物中的V的总含量定义为[析出物中V] (质量%)时,满足式(1),  
[0050] 采用阴极充氢法充氢时的扩散性氢量为0.10ppm以上。  
[0051]  $[析出物中V]/[V] \geq 0.30(1)$   
[0052] 本发明涉及的上述钢近终形材料的制造方法具备以下工序:  
[0053] 准备钢材的钢材准备工序,所述钢材的化学组成以质量%计为  
[0054] C:0.03~0.25%、  
[0055] Si:0.02~0.50%、  
[0056] Mn:超过0.70%且为2.50%以下、  
[0057] P:0.035%以下、  
[0058] S:0.050%以下、  
[0059] Al:0.005~0.050%、  
[0060] V:超过0.10%且为0.40%以下、  
[0061] N:0.003~0.030%、  
[0062] Cr:0~0.70%、  
[0063] Nb:0~0.100%、  
[0064] B:0~0.0100%、  
[0065] Cu:0~0.30%、  
[0066] Ni:0~0.30%、  
[0067] Ca:0~0.0050%、  
[0068] Bi:0~0.100%、  
[0069] Pb:0~0.090%、

- [0070] Mo:0~0.05%、
- [0071] Ti:0~0.005%、
- [0072] Zr:0~0.010%、
- [0073] Se:0~0.10%、
- [0074] Te:0~0.10%、
- [0075] 稀土元素:0~0.010%、
- [0076] Sb:0~0.10%、
- [0077] Mg:0~0.0050%、
- [0078] W:0~0.050%、以及
- [0079] 余量:Fe和杂质,所述钢材的显微组织由如下相构成:
- [0080] 面积率为20~90%的多边形铁素体;以及
- [0081] 由珠光体和/或贝氏体构成的、面积率为10~80%的硬质相,
- [0082] 将所述化学组成中的V含量定义为[V](质量%)、将钢中的V析出物中的V的总含量定义为[析出物中V](质量%)时,[析出物中V]/[V]为0.05以上且小于0.30;
- [0083] 对所述钢材进行冷加工的冷加工工序;以及,
- [0084] 对冷加工后的所述钢材实施将处理温度设为 $500^{\circ}\text{C} \sim A_{c1}$ 点、将所述处理温度下的保持时间设为15~150分钟的时效硬化处理的时效硬化处理工序,
- [0085] 所述冷加工工序包括
- [0086] 对所述钢材从第1方向实施加工应变量为0.05以上的冷加工的第1方向冷加工工序,以及
- [0087] 对所述钢材从与所述第1方向不同的第2方向实施加工应变量为0.05以上的冷加工的第2方向冷加工工序,
- [0088] 所述第1方向冷加工工序中所述钢材产生的加工应变量为与第2方向冷加工工序中所述钢材产生的加工应变量的总和为0.20以上。
- [0089] 发明的效果
- [0090] 本申请的钢近终形材料具有高疲劳强度和高拉伸强度。本申请的钢近终形材料的制造方法能够制造上述钢近终形材料。

## 附图说明

- [0091] 图1为示出对钢近终形材料采用阴极充氢法充氢时所得到的氢释放曲线的图。

## 具体实施方式

[0092] 本发明人等为了在钢近终形材料中得到高疲劳强度和高拉伸强度,进行了各种研究,得到了以下见解。

[0093] 本发明人等首先关于能够兼顾高疲劳强度和高拉伸强度的钢近终形材料,从化学组成的角度进行了研究。其结果认为若钢近终形材料的化学组成为以质量%计为C:0.03~0.25%、Si:0.02~0.50%、Mn:超过0.70%且为2.50%以下、P:0.035%以下、S:0.050%以下、Al:0.005~0.050%、V:超过0.10%且为0.40%以下、N:0.003~0.030%、Cr:0~0.70%、Nb:0~0.100%、B:0~0.0100%、Cu:0~0.30%、Ni:0~0.30%、Ca:0~0.0050%、

Bi:0~0.100%、Pb:0~0.090%、Mo:0~0.05%、Ti:0~0.005%、Zr:0~0.010%、Se:0~0.10%、Te:0~0.10%、稀土元素:0~0.010%、Sb:0~0.10%、Mg:0~0.0050%、W:0~0.050%、以及余量:Fe和杂质的化学组成,则有可能得到高疲劳强度和高拉伸强度。

[0094] 在此,本发明人等认为如果钢近终形材料的显微组织为马氏体主体的组织,则拉伸强度会提升。但是,在上述化学组成的钢近终形材料的显微组织为马氏体主体的组织的情况下,需要实施调质处理(淬火处理和回火处理)。在淬火处理中,需要将钢材加热到 $A_{c3}$ 点以上的高温。此外,在调质处理中,淬火处理后也会实施回火处理,因此制造工序中工时也会增多。因此,在将上述化学组成的钢近终形材料的显微组织设为马氏体主体的组织的情况下,生产成本增大。在此,马氏体主体的组织是指马氏体面积率为90%以上的组织。

[0095] 在上述化学组成的钢近终形材料的显微组织为马氏体主体的组织的情况下,有时还存在钢近终形材料的硬度过高的情况。在这种情况下,有时即使得到高拉伸强度,钢近终形材料的疲劳强度也会下降。

[0096] 为此,本发明人等对上述化学组成的钢近终形材料中即使显微组织不是马氏体主体的显微组织而是多边形铁素体以及由珠光体和/或贝氏体构成的相(以下称为硬质相)也能兼顾高疲劳强度和高拉伸强度的手段进行了研究。其结果,本发明人等认为通过利用V析出物所产生的析出强化,即使显微组织不是马氏体主体,而是包含多边形铁素体和硬质相的组织,也能够兼顾高疲劳强度和高拉伸强度。

[0097] V析出物所产生的析出强化在钢材中生成很多纳米尺寸的微细V析出物从而疲劳强度提升。在本说明书中,将V碳氮化物(V(C,N))、V碳化物(VC)和V氮化物(VN)总体定义为“V析出物”。钢近终形材料中的V析出物大部分是V碳氮化物。但是,也可能存在V析出物的一部分以V碳化物和/或V氮化物的形式析出的情况。V碳化物和V氮化物也与V碳氮化物具有同样的效果。因此,在本说明书中,“V析出物”包含V碳氮化物、V碳化物和V氮化物。

[0098] 本发明人等还对化学组成中的各元素含量在上述范围内的钢近终形材料中V析出物以何种程度存在则疲劳强度会提升这点进行了研究。在此,在化学组成中的各元素含量在上述范围内的钢近终形材料中,将上述化学组成中的V含量定义为[V](质量%)。此外,将在钢近终形材料的化学组成以质量%计为100%的情况下的钢近终形材料中的V析出物中V的总含量定义为[析出物中V](质量%)。本发明人等研究的结果发现,在化学组成中的各元素含量在上述范围内的钢近终形材料中,满足式(1)时,即使钢近终形材料的显微组织是包含多边形铁素体和硬质相的组织,钢近终形材料的疲劳强度也会充分提升。

[0099]  $[析出物中V]/[V] \geq 0.30(1)$

[0100] 如上所述,在化学组成中的各元素含量在上述范围内的钢近终形材料中,满足式(1)时,即使钢近终形材料的显微组织是包含多边形铁素体和硬质相的组织,钢近终形材料的疲劳强度也会充分提升。但是,判断明确了存在虽然钢近终形材料的疲劳强度充分提升,但是无法充分得到钢近终形材料的拉伸强度的情况。为此,本发明人等对能够兼顾高疲劳强度和高拉伸强度的手段进行了进一步研究。其结果,本发明人等发现在化学组成中的各元素含量在上述范围内,显微组织是包含多边形铁素体和硬质相的组织,且满足式(1)的钢近终形材料中,进一步地,如果采用阴极充氢法充氢时的扩散性氢量为0.10ppm以上,则能够兼顾高疲劳强度和高拉伸强度。下面关于该点进行说明。

[0101] 认为采用阴极充氢法充氢时的扩散性氢量与钢近终形材料中的V析出物的形状存

在相关关系。在V析出物中存在球状的V析出物和板状的V析出物。在之后的说明中,将球状的V析出物称为球状V析出物。将板状的V析出物称为板状V析出物。

[0102] 球状V析出物相对于母相( $\alpha$ )形成非共格界面。在这种情况下,球状V析出物仅作为单纯的障碍物发挥作用。具体而言,球状V析出物仅阻碍与该球状V析出物直接碰撞的位错运动。因此,球状V析出物对于位错运动的阻力比较小。

[0103] 另一方面,板状V析出物具有NaCl型的晶体结构,其相对于母相( $\alpha$ )形成呈Baker-Nutting (B-N)关系的共格界面或半共格界面。具体而言,板状V析出物形成板状V析出物的{100}与母相的{100}平行、并且板状V析出物的 $\langle 100 \rangle$ 方向与母相的 $\langle 110 \rangle$ 方向平行的共格界面或半共格界面。该共格界面或半共格界面在板状V析出物的周边形成共格应变场。该共格应变场阻碍位错运动。即,板状V析出物不仅阻碍与该板状V析出物直接碰撞的位错运动,还阻碍通过板状V析出物的周边的位错运动。因此,板状V析出物对于位错运动的阻力比球状V析出物大。

[0104] 因此,在化学组成中的各元素含量在上述范围内,显微组织是包含多边形铁素体和硬质相的组织,且满足式(1)的钢近终形材料中,只要V析出物中的板状V析出物的比例大就能够进一步提高位错运动的阻力,其结果,不仅得到高疲劳强度还得到高拉伸强度。

[0105] 可是,V析出物(球状V析出物和板状V析出物)的尺寸是纳米级的。因此,通过显微组织观察来识别板状V析出物和球状V析出物并求出V析出物中的板状V析出物的比例是极其困难的。另一方面,氢在共格界面和半共格界面容易被捕获,氢在非共格界面不易被捕获。也就是说,板状V析出物容易捕获氢,球状V析出物不易捕获氢。因此,意味着在化学组成中的各元素含量在上述范围内,显微组织是包含多边形铁素体和硬质相的组织,且满足式(1)的量的V析出物析出的钢近终形材料中,采用阴极充氢法充氢时的氢捕获量(即扩散性氢量)越多,在提高疲劳强度的V析出物中可提高拉伸强度的板状V析出物的比例也越大。

[0106] 基于以上理由,认为在化学组成中的各元素含量在上述范围内,显微组织是包含多边形铁素体和硬质相的组织,且满足式(1)的钢近终形材料中,进而如果采用阴极充氢法充氢时的扩散性氢量为0.10ppm以上,则可得到高疲劳强度和高拉伸强度。以上理由是推定的。但是,后续的实施例证明了在化学组成中的各元素含量在上述范围内,显微组织是包含多边形铁素体和硬质相的组织,且满足式(1)的钢近终形材料中,进而如果采用阴极充氢法充氢时的扩散性氢量为0.10ppm以上,则可得到高疲劳强度和高拉伸强度。

[0107] 基于以上见解完成的本实施方式的钢坯料及其制造方法具有以下特征。

[0108] [1]

[0109] 一种钢近终形材料,

[0110] 其化学组成以质量%计为

[0111] C:0.03~0.25%、

[0112] Si:0.02~0.50%、

[0113] Mn:超过0.70%且为2.50%以下、

[0114] P:0.035%以下、

[0115] S:0.050%以下、

[0116] Al:0.005~0.050%、

[0117] V:超过0.10%且为0.40%以下、

- [0118] N:0.003~0.030%、
- [0119] Cr:0~0.70%、
- [0120] Nb:0~0.100%、
- [0121] B:0~0.0100%、
- [0122] Cu:0~0.30%、
- [0123] Ni:0~0.30%、
- [0124] Ca:0~0.0050%、
- [0125] Bi:0~0.100%、
- [0126] Pb:0~0.090%、
- [0127] Mo:0~0.05%、
- [0128] Ti:0~0.005%、
- [0129] Zr:0~0.010%、
- [0130] Se:0~0.10%、
- [0131] Te:0~0.10%、
- [0132] 稀土元素:0~0.010%、
- [0133] Sb:0~0.10%、
- [0134] Mg:0~0.0050%、
- [0135] W:0~0.050%、以及
- [0136] 余量:Fe和杂质,
- [0137] 所述钢近终形材料的显微组织由如下相构成:
- [0138] 面积率为20~90%的多边形铁素体;以及
- [0139] 由珠光体和/或贝氏体构成的、面积率为10~80%的硬质相,
- [0140] 将所述化学组成中的V含量定义为[V](质量%)、将所述钢近终形材料中的V析出物中的V的总含量定义为[析出物中V](质量%)时,满足式(1),
- [0141] 采用阴极充氢法充氢时的扩散性氢量为0.10ppm以上。
- [0142]  $[析出物中V]/[V] \geq 0.30$  (1)
- [0143] [2]
- [0144] 根据[1]所述的钢近终形材料,其中,
- [0145] 所述化学组成代替一部分Fe含有选自由
- [0146] Cr:0.01~0.70%、
- [0147] Nb:0.001~0.100%、
- [0148] B:0.0001~0.0100%、
- [0149] Cu:0.01~0.30%、
- [0150] Ni:0.01~0.30%、
- [0151] Ca:0.0001~0.0050%、
- [0152] Bi:0.001~0.100%、
- [0153] Pb:0.001~0.090%、
- [0154] Mo:0.01~0.05%、
- [0155] Ti:0.001~0.005%、

- [0156] Zr:0.002~0.010%、
- [0157] Se:0.01~0.10%、
- [0158] Te:0.01~0.10%、
- [0159] 稀土元素:0.01~0.010%、
- [0160] Sb:0.01~0.10%、
- [0161] Mg:0.0005~0.0050%、
- [0162] W:0.001~0.050%组成的组中的1种以上元素。
- [0163] [3]
- [0164] [1]或[2]所述的钢近终形材料的制造方法,该制造方法具备以下工序:准备钢材的钢材准备工序,所述钢材的化学组成以质量%计为
- [0165] C:0.03~0.25%、
- [0166] Si:0.02~0.50%、
- [0167] Mn:超过0.70%且为2.50%以下、
- [0168] P:0.035%以下、
- [0169] S:0.050%以下、
- [0170] Al:0.005~0.050%、
- [0171] V:超过0.10%且为0.40%以下、
- [0172] N:0.003~0.030%、
- [0173] Cr:0~0.70%、
- [0174] Nb:0~0.100%、
- [0175] B:0~0.0100%、
- [0176] Cu:0~0.30%、
- [0177] Ni:0~0.30%、
- [0178] Ca:0~0.0050%、
- [0179] Bi:0~0.100%、
- [0180] Pb:0~0.090%、
- [0181] Mo:0~0.05%、
- [0182] Ti:0~0.005%、
- [0183] Zr:0~0.010%、
- [0184] Se:0~0.10%、
- [0185] Te:0~0.10%、
- [0186] 稀土元素:0~0.010%、
- [0187] Sb:0~0.10%、
- [0188] Mg:0~0.0050%、
- [0189] W:0~0.050%、以及
- [0190] 余量:Fe和杂质,
- [0191] 所述钢材的显微组织由如下相构成:
- [0192] 面积率为20~90%的多边形铁素体;以及
- [0193] 由珠光体和/或贝氏体构成、面积率为10~80%的硬质相,

[0194] 将所述化学组成中的V含量定义为[V] (质量%)、将钢中的V析出物中的V的总含量定义为[析出物中V] (质量%)时, [析出物中V]/[V]为0.05以上且小于0.30;

[0195] 对所述钢材进行冷加工的冷加工工序;以及,

[0196] 对冷加工后的所述钢材实施将处理温度设为 $500^{\circ}\text{C} \sim A_{c1}$ 点、将所述处理温度下的保持时间设为15~150分钟的时效硬化处理的时效硬化处理工序,

[0197] 所述冷加工工序包括

[0198] 对所述钢材从第1方向实施加工应变量为0.05以上的冷加工的第1方向冷加工工序,以及

[0199] 对所述钢材从与所述第1方向不同的第2方向实施加工应变量为0.05以上的冷加工的第2方向冷加工工序,

[0200] 所述第1方向冷加工工序中所述钢材产生的加工应变量为与所述第2方向冷加工工序中所述钢材产生的加工应变量的总和为0.20以上。

[0201] 以下,关于本实施方式的钢近终形材料及其制造方法进行详细说明。涉及元素的%只要没有特别说明就是指质量%。

[0202] [关于钢近终形材料]

[0203] 在本说明书中,钢近终形材料是指对钢材施加通过外力的加工或热处理从而赋予其形状的部件。钢近终形材料可以是最终制品。另外,也可以对钢近终形材料进一步实施切削加工等加工从而制造最终制品。

[0204] [化学组成]

[0205] 本实施方式的钢近终形材料的化学组成含有以下元素。

[0206] C:0.03~0.25%

[0207] 碳(C)与钢材的V结合形成V析出物。V析出物通过析出强化提高钢近终形材料的疲劳强度和拉伸强度。C含量小于0.03%时,即使其它元素含量在本实施方式的范围内也无法充分得到上述效果。另一方面,C含量超过0.25%时,即使其它元素含量在本实施方式的范围内,作为钢近终形材料的坯料钢材的冷加工性也会下降。因此,C含量为0.03~0.25%。C含量的优选下限为0.04%,进一步优选为0.05%,进一步优选为0.06%,进一步优选为0.07%,进一步优选为0.08%。C含量的优选上限为0.24%,进一步优选为0.23%,进一步优选为0.22%,进一步优选为0.21%,进一步优选为0.20%。

[0208] Si:0.02~0.50%

[0209] 硅(Si)提高钢近终形材料的疲劳强度。进一步地,Si使钢脱氧。Si含量小于0.02%时,即使其它元素含量在本实施方式的范围内也无法充分得到上述效果。另一方面,Si含量超过0.50%时,即使其它元素含量在本实施方式的范围内,作为钢近终形材料的坯料钢材的冷加工性也会下降。因此,Si含量为0.02~0.50%。Si含量的优选下限为0.03%,进一步优选为0.04%,进一步优选为0.05%,进一步优选为0.06%,进一步优选为0.07%。Si含量的优选上限为0.45%,进一步优选为0.40%,进一步优选为0.35%,进一步优选为0.30%,进一步优选为0.25%。

[0210] Mn:超过0.70%且为2.50%以下

[0211] 锰(Mn)提高钢近终形材料的疲劳强度。Mn含量为0.70%以下时,即使其它元素含量在本实施方式的范围内也无法充分得到上述效果。另一方面,Mn含量超过2.50%时,即使

其它元素含量在本实施方式的范围内,作为钢近终形材料的坯料钢材的冷加工性也会下降。因此,Mn含量超过0.70%且为2.50%以下。Mn含量的优选下限为0.75%,进一步优选为0.80%,进一步优选为1.00%,进一步优选为1.20%,进一步优选为1.40%,进一步优选为1.50%。Mn含量的优选上限为2.40%,进一步优选为2.30%,进一步优选为2.20%,进一步优选为2.10%,进一步优选为2.00%,进一步优选为1.90%。

[0212] P:0.035%以下

[0213] 磷(P)为不可避免地含有的杂质。即,P含量超过0%。P会在晶界偏析,使钢近终形材料的疲劳强度和拉伸强度下降。因此,P含量为0.035%以下。P含量的优选上限为0.030%,进一步优选为0.025%,进一步优选为0.020%。P含量优选尽可能低。但是,过分降低P含量会使生产成本增加。因此,考虑到常规的工业生产,P含量的优选下限为0.001%,进一步优选为0.005%,进一步优选为0.008%,进一步优选为0.010%。

[0214] S:0.050%以下

[0215] 硫(S)为不可避免地含有的杂质。即,S含量超过0%。S会与Mn结合形成MnS,提高钢材的切削性。但是,S含量超过0.050%时,会生成粗大的MnS。粗大的MnS在冷加工时容易成为裂纹的起点。因此,作为钢近终形材料的坯料钢材的冷加工性下降。因此,S含量为0.050%以下。S含量的优选上限为0.045%,进一步优选为0.040%,进一步优选为0.030%,进一步优选为0.020%。S含量优选尽可能低。但是,过分降低S含量会使生产成本增加。因此,考虑到常规的工业生产,S含量的优选下限为0.001%,进一步优选为0.005%,进一步优选为0.006%。

[0216] Al:0.005~0.050%

[0217] 铝(Al)使钢脱氧。Al含量小于0.005%时,即使其它元素含量在本实施方式的范围内也无法充分得到上述效果。另一方面,Al含量超过0.050%时,即使其它元素含量在本实施方式的范围内,在钢材中也会生成Al氧化物等粗大的Al系夹杂物。粗大的Al系夹杂物在冷加工时容易成为裂纹的基点。因此,作为钢近终形材料的坯料钢材的冷加工性下降。因此,Al含量为0.005~0.050%。Al含量的优选下限为0.005%,进一步优选为0.006%,进一步优选为0.007%,进一步优选为0.008%,进一步优选为0.009%,进一步优选为0.010%,进一步优选为0.015%。Al含量的优选上限为0.045%,进一步优选为0.040%,进一步优选为0.030%,进一步优选为0.025%,进一步优选为0.020%。需要说明的是,在本实施方式的钢近终形材料中,Al含量是指所有Al的含量。

[0218] V:超过0.10%且为0.40%以下

[0219] 钒(V)与钢材中的C和/或N结合形成V析出物。V析出物通过析出强化提高钢近终形材料的疲劳强度和拉伸强度。V含量为0.10%以下时,即使其它元素含量在本实施方式的范围内也无法充分得到上述效果。另一方面,V含量超过0.40%时,即使其它元素含量在本实施方式的范围内,作为钢近终形材料的坯料钢材的冷加工性也会下降。因此,V含量超过0.10%且为0.40%以下。V含量的优选下限为0.11%,进一步优选为0.12%,进一步优选为0.13%,进一步优选为0.14%,进一步优选为0.15%。V含量的优选上限为0.38%,进一步优选为0.35%,进一步优选为0.33%,进一步优选为0.30%,进一步优选为0.28%,进一步优选为0.25%。

[0220] N:0.003~0.030%

[0221] 氮(N)与钢材中的V结合形成V析出物。V析出物通过析出强化提高钢近终形材料的疲劳强度和拉伸强度。N含量小于0.003%时,即使其它元素含量在本实施方式的范围内也无法充分得到上述效果。另一方面,N含量超过0.030%时,即使其它元素含量在本实施方式的范围内,V析出物中的球状V析出物的个数比例也会增多。在这种情况下,钢近终形材料的疲劳强度和拉伸强度下降。因此,N含量为0.003~0.030%。N含量的优选下限大于0.003%,进一步优选为0.004%,进一步优选为0.005%。N含量的优选上限为0.028%,进一步优选为0.025%,进一步优选为0.023%,进一步优选为0.020%,进一步优选为0.018%,进一步优选为0.015%。

[0222] 本实施方式的钢近终形材料的化学组成的余量由Fe和杂质组成。在此,杂质是指在对作为钢近终形材料的坯料钢材进行工业制造时,从作为原料的矿石、废料或从制造环境等中混入,并非钢近终形材料有意含有的元素。可想到的杂质例如为氧(O)。作为杂质的O含有0.040%以下也可得到本实施方式的钢近终形材料的效果。需要说明的是,杂质中可能包含的元素也会是O以外的元素。

[0223] [关于任选元素(optional elements)]

[0224] 本实施方式的钢近终形材料的化学组成,进一步地,可以代替一部分Fe含有选自由Cr、Nb、B、Cu、Ni、Ca、Bi、Pb、Mo、Ti、Zr、Se、Te、稀土元素(REM)、Sb、Mg和W组成的组中的1种以上元素。这些元素均为任选元素。以下,对各任选元素进行说明。

[0225] [第1组]

[0226] 本实施方式的钢近终形材料的化学组成,进一步地,可以代替一部分Fe以下述所示含量的范围含有选自由Cr、Nb、B、Cu和Ni组成的组中的1种以上元素。这些元素均可提高钢近终形材料的疲劳强度和拉伸强度。

[0227] Cr:0~0.70%

[0228] 铬(Cr)为任选元素,也可以不含有。即,Cr含量可以为0%。在含有的情况下,即在Cr含量超过0%的情况下,Cr提高钢材的淬硬性,钢近终形材料的疲劳强度和拉伸强度提高。只要少量含有Cr,就可在一定程度上取得上述效果。但是,Cr含量超过0.70%时,即使其它元素含量在本实施方式的范围内,作为钢近终形材料的坯料钢材的冷加工性也会下降。因此,Cr含量为0~0.70%。在含有的情况下,Cr含量为0.70%以下。Cr含量的优选下限为0.01%,进一步优选为0.03%,进一步优选为0.05%,进一步优选为0.07%,进一步优选为0.09%,进一步优选为0.10%。Cr含量的优选上限为0.65%,进一步优选为0.60%,进一步优选为0.50%,进一步优选为0.45%,进一步优选为0.40%,进一步优选为0.35%,进一步优选为0.30%。

[0229] Nb:0~0.100%

[0230] 铌(Nb)为任选元素,也可以不含有。即,Nb含量可以为0%。在含有的情况下,即在Nb含量超过0%的情况下,Nb与钢材中的C和/或N结合形成Nb析出物。Nb析出物通过析出强化提高钢近终形材料的疲劳强度和拉伸强度。只要少量含有Nb,就可在一定程度上取得上述效果。但是,Nb含量超过0.100%时,即使其它元素含量在本实施方式的范围内,作为钢近终形材料的坯料钢材的冷加工性也会下降。因此,Nb含量为0~0.100%。在含有的情况下,Nb含量为0.100%以下。Nb含量的优选下限超过0%,进一步优选为0.001%,进一步优选为0.010%,进一步优选为0.020%。Nb含量的优选上限为0.080%,进一步优选为0.060%。

[0231] B:0~0.0100%

[0232] 硼(B)为任选元素,也可以不含有。即,B含量可以为0%。在含有的情况下,即在B含量超过0%的情况下,B使钢近终形材料的晶界强化。其结果,钢近终形材料的疲劳强度和拉伸强度提升。只要少量含有B,就可在一定程度上取得上述效果。但是,B含量超过0.0100%时,上述效果饱和。B含量超过0.0100%时,进一步地,原料成本增加,并且制造性也下降。因此,B含量为0~0.0100%。在含有的情况下,B含量为0.0100%以下。B含量的优选下限超过0%,进一步优选为0.0001%,进一步优选为0.0010%,进一步优选为0.0020%,进一步优选为0.0030%。B含量的优选上限为0.0080%,进一步优选为0.0070%,进一步优选为0.0060%。

[0233] Cu:0~0.30%

[0234] 铜(Cu)为任选元素,也可以不含有。即,Cu含量可以为0%。在含有的情况下,即在Cu含量超过0%的情况下,Cu提高钢材的淬火性,钢近终形材料的疲劳强度和拉伸强度提高。只要少量含有Cu,就可在一定程度上取得上述效果。但是,Cu含量超过0.30%时,即使其它元素含量在本实施方式的范围内,作为钢近终形材料的坯料钢材的冷加工性也会下降。因此,Cu含量为0~0.30%。在含有的情况下,Cu含量为0.30%以下。Cu含量的优选下限超过0%,进一步优选为0.01%,进一步优选为0.05%,进一步优选为0.10%。Cu含量的优选上限为0.29%,进一步优选为0.28%,进一步优选为0.25%。

[0235] Ni:0~0.30%

[0236] 镍(Ni)为任选元素,也可以不含有。即,Ni含量可以为0%。在含有的情况下,即在Ni含量超过0%的情况下,Ni提高钢材的淬火性,钢近终形材料的疲劳强度和拉伸强度提高。只要少量含有Ni,就可在一定程度上取得上述效果。但是,Ni含量超过0.30%时,即使其它元素含量在本实施方式的范围内,作为钢近终形材料的坯料钢材的冷锻性也会下降。因此,Ni含量为0~0.30%。在含有的情况下,Ni含量为0.30%以下。Ni含量的优选下限超过0%,进一步优选为0.01%,进一步优选为0.05%,进一步优选为0.10%。Ni含量的优选上限为0.29%,进一步优选为0.28%,进一步优选为0.27%,进一步优选为0.25%。

[0237] [第2组]

[0238] 本实施方式的钢近终形材料的化学组成,进一步地,可以代替一部分Fe以下述所示含量的范围含有选自由Ca、Bi和Pb组成的组中的1种以上元素。这些元素均可提高钢近终形材料的切削性。

[0239] Ca:0~0.0050%

[0240] 钙(Ca)为任选元素,也可以不含有。即,Ca含量可以为0%。在含有的情况下,即在Ca含量超过0%的情况下,Ca提高钢近终形材料的切削性。只要少量含有Ca,就可在一定程度上取得上述效果。但是,Ca含量超过0.0050%时,即使其它元素含量在本实施方式的范围内,也会生成粗大的CaO。在这种情况下,作为钢近终形材料的坯料钢材的冷加工性下降。因此,Ca含量为0~0.0050%。在含有的情况下,Ca含量为0.0050%以下。Ca含量的优选下限超过0%,进一步优选为0.0001%,进一步优选为0.0010%,进一步优选为0.0020%。Ca含量的优选上限为0.0045%,进一步优选为0.0040%。

[0241] Bi:0~0.100%

[0242] 铋(Bi)为任选元素,也可以不含有。即,Bi含量可以为0%。在含有的情况下,即在

Bi含量超过0%的情况下,Bi提高钢近终形材料的切削性。只要少量含有Bi,就可在一定程度上取得上述效果。但是,Bi含量超过0.100%时,即使其它元素含量在本实施方式的范围内,作为钢近终形材料的坯料钢材的冷加工性也会下降。因此,Bi含量为0~0.100%。在含有的情况下,Bi含量为0.100%以下。Bi含量的优选下限超过0%,进一步优选为0.001%,进一步优选为0.010%,进一步优选为0.020%,进一步优选为0.030%。Bi含量的优选上限为0.090%,进一步优选为0.080%,进一步优选为0.070%,进一步优选为0.065%。

[0243] Pb:0~0.090%

[0244] 铅(Pb)为任选元素,也可以不含有。即,Pb含量可以为0%。在含有的情况下,即在Pb含量超过0%的情况下,Pb提高钢近终形材料的切削性。只要少量含有Pb,就可在一定程度上取得上述效果。但是,Pb含量超过0.090%时,即使其它元素含量在本实施方式的范围内,作为钢近终形材料的坯料钢材的冷加工性也会下降。因此,Pb含量为0~0.090%。在含有的情况下,Pb含量为0.090%以下。Pb含量的优选下限超过0%,进一步优选为0.001%,进一步优选为0.010%,进一步优选为0.020%,进一步优选为0.040%。Pb含量的优选上限为0.080%,进一步优选为0.070%。

[0245] [第3组]

[0246] 本实施方式的钢近终形材料的化学组成,进一步地,可以代替一部分Fe含有选自自由Mo、Ti、Zr、Se、Te、稀土元素(REM)、Sb、Mg和W组成的组中的1种以上元素。这些元素为杂质。

[0247] Mo:0~0.05%

[0248] 钼(Mo)为杂质,也可以不含有。即,Mo含量可以为0%。Mo降低作为钢近终形材料的坯料钢材的冷加工性。Mo含量超过0.05%时,即使其它元素含量在本实施方式的范围内,钢材的冷加工性也会下降。因此,Mo含量为0~0.05%。在含有的情况下,Mo含量为0.05%以下。Mo含量的优选上限为0.04%,进一步优选为0.03%,进一步优选为0.02%。Mo含量优选尽可能低。但是,过分降低Mo含量会使生产成本增加。因此,Mo含量的优选下限超过0%,进一步优选为0.01%。

[0249] Ti:0~0.005%

[0250] 钛(Ti)为杂质,也可以不含有。即,Ti含量可以为0%。Ti与钢近终形材料中的N结合,形成Ti系夹杂物。Ti系夹杂物在冷加工时中成为裂纹的起点。因此,Ti系夹杂物会使作为钢近终形材料的坯料钢材的冷加工性下降。Ti含量超过0.005%时,即使其它元素含量在本实施方式的范围内,钢材的冷加工性也会下降。因此,Ti含量为0~0.005%。在含有的情况下,Ti含量为0.005%以下。Ti含量的优选上限为0.004%,进一步优选为0.003%,进一步优选为0.002%。Ti含量优选尽可能低。但是,过分降低Ti含量会使生产成本增加。因此,Ti含量的优选下限超过0%,进一步优选为0.001%。

[0251] Zr:0~0.010%

[0252] 锆(Zr)为杂质,也可以不含有。即,Zr含量可以为0%。Zr含量超过0.010%时,即使其它元素含量在本实施方式的范围内,Zr也会形成粗大的夹杂物,使钢材的疲劳特性下降。因此,Zr含量为0~0.010%。在含有的情况下,Zr含量为0.010%以下。Zr含量的优选上限为0.008%,进一步优选为0.006%,进一步优选为0.005%。Zr含量优选尽可能低。但是,过分降低Zr含量会使生产成本增加。因此,Zr含量的优选下限超过0%,进一步优选为0.002%。

[0253] Se:0~0.10%

[0254] 硒(Se)为杂质,也可以不含有。即,Se含量可以为0%。Se含量超过0.10%时,即使其它元素含量在本实施方式的范围内,Se也会使钢材脆化,使钢材的强度和疲劳特性下降。因此,Se含量为0~0.10%。在含有的情况下,Se含量为0.10%以下。Se含量的优选上限为0.08%,进一步优选为0.06%,进一步优选为0.05%。Se含量优选尽可能低。但是,过分降低Se含量会使生产成本增加。因此,Se含量的优选下限超过0%,进一步优选为0.01%。

[0255] Te:0~0.10%

[0256] 碲(Te)为杂质,也可以不含有。即,Te含量可以为0%。Te含量超过0.10%时,即使其它元素含量在本实施方式的范围内,Te也会使钢材脆化,使钢材的强度和疲劳强度下降。因此,Te含量为0~0.10%。在含有的情况下,Te含量为0.10%以下。Te含量的优选上限为0.08%,进一步优选为0.06%,进一步优选为0.05%。Te含量优选尽可能低。但是,过分降低Te含量会使生产成本增加。因此,Te含量的优选下限超过0%,进一步优选为0.01%。

[0257] 稀土元素(REM):0~0.010%

[0258] 稀土元素(REM)为杂质,也可以不含有。即,REM含量可以为0%。REM含量超过0.010%时,即使其它元素含量在本实施方式的范围内,REM也会形成粗大的夹杂物,使钢材的疲劳特性下降。因此,REM含量为0~0.010%。在含有的情况下,REM含量为0.010%以下。REM含量的优选上限为0.008%,进一步优选为0.006%,进一步优选为0.005%。REM含量优选尽可能低。但是,过分降低REM含量会使生产成本增加。因此,REM含量的优选下限超过0%,进一步优选为0.001%。

[0259] 需要说明的是,本说明书中的REM是指选自原子序数21的钪(Sc)、原子序数39的钇(Y)、和属于镧系的原子序数57的镧(La)~原子序数71的镥(Lu)组成的组中的1种以上元素。本说明书中的REM含量是指这些元素的总含量。

[0260] Sb:0~0.10%

[0261] 锑(Sb)为杂质,也可以不含有。即,Sb含量可以为0%。Sb含量超过0.10%时,即使其它元素含量在本实施方式的范围内,Sb也会使钢材脆化,使钢材的强度和疲劳特性下降。因此,Sb含量为0~0.10%。在含有的情况下,Sb含量为0.10%以下。Sb含量的优选上限为0.08%,进一步优选为0.06%,进一步优选为0.05%。Sb含量优选尽可能低。但是,过分降低Sb含量会使生产成本增加。因此,Sb含量的优选下限超过0%,进一步优选为0.01%。

[0262] Mg:0~0.0050%

[0263] 镁(Mg)为杂质,也可以不含有。即,Mg含量可以为0%。Mg含量超过0.0050%时,即使其它元素含量在本实施方式的范围内,Mg也会形成粗大的夹杂物,使钢材的疲劳特性下降。因此,Mg含量为0~0.0050%。在含有的情况下,Mg含量为0.0050%以下。Mg含量的优选上限为0.0040%,进一步优选为0.0030%,进一步优选为0.0025%。Mg含量优选尽可能低。但是,过分降低Mg含量会使生产成本增加。因此,Mg含量的优选下限超过0%,进一步优选为0.0005%。

[0264] W:0~0.050%

[0265] 钨(W)为杂质,也可以不含有。即,W含量可以为0%。W含量超过0.050%时,即使其它元素含量在本实施方式的范围内,W也会使作为坯料钢材的冷加工性下降。因此,W含量为0~0.050%。在含有的情况下,W含量为0.040%以下。W含量的优选上限为0.030%,进一步

优选为0.025%，进一步优选为0.020%。W含量优选尽可能低。但是，过分降低W含量会使生产成本增加。因此，W含量的优选下限超过0%，进一步优选为0.001%。

[0266] [显微组织]

[0267] 本实施方式的钢近终形材料的显微组织含有多边形铁素体，以及珠光体和/或贝氏体。在本说明书中，将珠光体和/或贝氏体称为“硬质相”。另外，在本说明书中，贝氏体包含马氏体。在后续的显微组织观察中，对时效硬化处理后的贝氏体和马氏体进行区分是极其困难的。为此，在本说明书中，不对贝氏体和马氏体进行区分，统称为“贝氏体”。

[0268] 显微组织中的多边形铁素体的面积率为20~90%。如上所述，显微组织的余量为硬质相。即，钢近终形材料的显微组织含有：面积率为20~90%的多边形铁素体，以及总面积率为10~80%的硬质相。

[0269] 多边形铁素体的面积率为20~90%时，以化学组成中的各元素含量在本实施方式的范围，满足式(1)，且采用阴极充氢法充氢时的扩散性氢量为0.10ppm以上作为前提，钢近终形材料可得到高疲劳强度和高拉伸强度。

[0270] 钢近终形材料的显微组织中的多边形铁素体面积率的优选下限为25%，进一步优选为30%，进一步优选为35%。多边形铁素体面积率的优选上限为80%，进一步优选为75%，进一步优选为70%。

[0271] 如上所述，显微组织中的硬质相的面积率为10~80%。显微组织中的珠光体的面积率的优选下限为5%，进一步优选为10%。珠光体的面积率的优选上限为50%，进一步优选为40%。显微组织中的贝氏体的面积率的优选下限为5%，进一步优选为10%。显微组织中的贝氏体的面积率的优选上限为80%，进一步优选为70%。

[0272] [显微组织的多边形铁素体面积率以及珠光体和贝氏体的总面积率的测定方法]

[0273] 钢近终形材料的显微组织中的多边形铁素体面积率，珠光体和贝氏体总面积率通过以下方法测定。

[0274] 从钢近终形材料的任意位置选取显微组织观察用的试验片。将试验片的表面中的任意表面确定为观察面。对观察面进行镜面抛光。使用3%硝酸乙醇腐蚀液(乙醇+3%硝酸溶液)，对研磨后的观察面进行蚀刻。用400倍的光学显微镜对经蚀刻的观察面中的任意5个观察视场进行观察，生成照片图像。此时，将各观察视场的位置设为距原钢近终形材料的表面至少3mm深的位置。各观察视场的尺寸为200 $\mu\text{m}$ ×200 $\mu\text{m}$ 。在各视场的照片图像中，确定多边形铁素体。具体而言，具有层状结构的相可确定为珠光体。比珠光体亮度高的区域(白色区域)可确定为多边形铁素体。比多边形铁素体和珠光体亮度低的区域(深色区域)可确定为贝氏体。根据在5个视场求出的多边形铁素体的总面积和5个视场的总面积，求出多边形铁素体面积率(%)。同样地，根据在5个视场求出的珠光体和贝氏体的总面积和5个视场的总面积，求出珠光体和贝氏体的总面积率(%)。需要说明的是，在显微组织中，珠光体为0%时，珠光体和贝氏体的总面积率相当于是贝氏体的面积率。同样地，在显微组织中，贝氏体为0%时，珠光体和贝氏体的总面积率相当于是珠光体的面积率。

[0275] [关于式(1)]

[0276] 在本实施方式的钢近终形材料中，将钢近终形材料的化学组成中的V含量定义为[V](质量%)。此外，将在钢近终形材料的化学组成计为100%情况下的钢近终形材料中的V析出物中的V的总含量定义为[析出物中V](质量%)。在这种情况下，本实施方式的钢近终

形材料满足式(1)。

[0277]  $[析出物中V]/[V] \geq 0.30$  (1)

[0278] 定义 $VP = [析出物中V]/[V]$ 。VP表示在钢近终形材料中的V析出物的析出比例。即使钢近终形材料的化学组成中的各元素含量在本实施方式的范围内,并且显微组织是包含面积率为20~90%的多边形铁素体、以及面积率为10~80%的硬质相的组织,若VP小于0.30,在钢近终形材料中的V析出物就会生成不足。在这种情况下,钢近终形材料中的疲劳强度和拉伸强度下降。

[0279] 另一方面,VP为0.30以上时,以钢近终形材料的化学组成中的各元素含量在本实施方式的范围内,并且显微组织是包含面积率为20~90%的多边形铁素体、以及面积率为10~80%的硬质相的组织,并且扩散性氢量为0.10ppm以下作为前提,在钢近终形材料中V析出物会充分析出。因此,通过V析出物所产生的析出强化,钢近终形材料的疲劳强度和拉伸强度提升。

[0280] VP的优选下限为0.31,进一步优选为0.32。对VP的上限并不进行特别限定。VP的优选上限为0.60,进一步优选为0.55,进一步优选为0.52。

[0281] [钢近终形材料中的V析出物中的V的总含量([析出物中V])的测定方法]

[0282] 钢近终形材料中的V析出物的V含量(即[析出物中V])通过提取残渣分析法求出。

[0283] 具体而言,从钢近终形材料选取约 $1000\text{mm}^3$ (约7.8g)的试样。准备10%AA系溶液(将四甲基氯化铵、乙酰丙酮、甲醇以1:10:100混合的液体)。将选取的试样浸渍到10%AA系溶液中。对浸渍的试样实施恒定电流电解。

[0284] 首先,对试样进行预电解。由此,去除试样表面的附着物。预电解的条件为电流:1000mA,时间:28分钟,室温(25℃)。取出经预电解的试样。对取出的试样在酒精中实施超声波清洗。由此,去除试样表面的附着物。测定去除附着物的试样的质量(恒定电流电解前的试样的质量)。

[0285] 接着,对预电解后的试样实施恒定电流电解。电解的条件为电流:173mA,时间:142分钟,室温(25℃)。取出经电解的试样。对取出的试样在酒精中实施超声波清洗。由此去除试样表面的附着物(残渣)。用过滤器对电解后的溶液和超声波清洗所用的溶液进行抽滤。将过滤器的筛孔尺寸设为 $0.2\mu\text{m}$ 。由此,提取残渣。

[0286] 对去除附着物(残渣)的试样的质量(恒定电流电解后的试样的质量)进行测定。并且由恒定电流电解前后的试样的质量的测定值的差值求出“恒定电流电解的试样的质量”。

[0287] 将在上述过滤器上提取的残渣转移到培养皿上使其干燥。测定干燥的残渣的质量。然后,基于JIS G 1258(2014),利用ICP发光分析装置(高频电感耦合等离子体发射光谱分析装置)对残渣进行分析,求出“残渣中的V的质量”。

[0288] 将求出的“残渣中的V的质量”除以“恒定电流电解的试样的质量”用百分率表示的数值定义为[析出物中V](质量%)。

[0289] [关于扩散性氢量]

[0290] 在本实施方式的钢近终形材料中,进一步地,以化学组成中的各元素含量在本实施方式的范围内,显微组织是包含20~90%的多边形铁素体以及10~80%的硬质相,且满足式(1)作为前提,采用阴极充氢法充氢时的扩散性氢量为0.10ppm以上。更具体而言,本实施方式的钢近终形材料采用在3%NaCl-3g/LNH<sub>4</sub>SCN水溶液中电流密度为 $0.1\text{mA}/\text{cm}^2$ 、通电时

间为72小时的阴极充氢法充氢时的扩散性氢量为0.10ppm以上。

[0291] 在本实施方式的钢近终形材料中,扩散性氢量为0.10ppm以上时,以化学组成中的各元素含量在本实施方式的范围内,显微组织是包含20~90%的多边形铁素体以及10~80%的硬质相,且满足式(1)作为前提,可得到高疲劳强度和高拉伸强度。

[0292] 该原因虽不明确,但如上所述,认为是V析出物的形状引起的。在V析出物中,球状V析出物相对于母相形成非共格界面。在这种情况下,相对于位错运动,球状V析出物本身构成障碍。但是,与球状析出物在非共格界面接触的母相难以构成位错运动的障碍。另一方面,板状V析出物的周边形成共格界面或半共格界面。在这种情况下,相对于位错运动,不仅板状V析出物,与板状V析出物在共格界面或半共格界面接触的板状V析出物周边的母相的共格应变场也构成障碍。因此,板状V析出物对于位错运动的阻力比球状V析出物大。因此,在VP为相同值的情况下(即,即使V析出物的析出量相同),板状V析出物的析出量多者的疲劳强度和拉伸强度提高。

[0293] 可是,氢在共格界面和半共格界面容易被捕获,另一方面,氢在非共格界面不易被捕获。也就是说,板状V析出物容易捕获氢,球状V析出物不易捕获氢。因此,认为在含有满足式(1)的量的V析出物的钢近终形材料中,上述扩散性氢量多的情况下,板状V析出物的比例高。其结果,在钢近终形材料中,可在得到高疲劳强度的同时得到高拉伸强度。

[0294] 上述机制是推定的。但是,后续的实施例证明在化学组成中的各元素含量在上述范围内,显微组织由20~90%的多边形铁素体、以及10~80%的硬质相构成,且满足式(1)的钢近终形材料中,进一步地,采用阴极充氢法充氢时的扩散性氢量为0.10ppm以上时,可得到高疲劳强度和高拉伸强度。

[0295] 扩散性氢量的优选下限为0.11ppm,进一步优选为0.12ppm,进一步优选为0.13ppm,进一步优选为0.14ppm。扩散性氢量的优选上限并不进行特别限定,例如为0.50ppm,进一步优选为0.45ppm,进一步优选为0.40ppm,进一步优选为0.35ppm,进一步优选为0.30ppm。

[0296] [扩散性氢量的测定方法]

[0297] 扩散性氢量的测定方法如下。从钢近终形材料的任意位置选取直径7mm、长度40mm的圆棒试验片。对选取的圆棒试验片,使用阴极充氢法导入氢。

[0298] 具体而言,将圆棒试验片浸渍于3%NaCl-3g/LNH<sub>4</sub>SCN水溶液中。然后,在电流密度:0.1mA/cm<sup>2</sup>和通电时间:72小时的条件下,采用阴极充氢法向圆棒试验片导入氢。停止上述通电的时刻为完成向圆棒试验片导入氢的时刻。

[0299] 在完成向圆棒试验片导入氢后,使用程序升温气相色谱仪,测定圆棒试验片中的氢量。根据从完成向圆棒试验片导入氢到使用程序升温气相色谱仪进行圆棒试验片中的氢量测定开始为止的时间(以下称为间隙时间),进行如下处理。

[0300] 在间隙时间为30分钟以内的情况下,直接使用完成氢导入的圆棒试验片开始进行氢量的测定。另一方面,在间隙时间超过30分钟的情况下,在完成向圆棒试验片导入氢后,将圆棒试验片以浸渍在液氮中的状态保管直至开始进行氢量的测定。这是为了抑制在直至开始进行氢量的测定期间已导入圆棒试验片的氢被释放到圆棒试验片的外部。

[0301] 对于根据间隙时间实施了上述处理的圆棒试验片,使用程序升温气相色谱仪,通过下述方法测定圆棒试验片中的氢量。具体而言,以100℃/小时的升温速度将圆棒试验片

从室温加热至400℃。以5分钟为间隔测定通过升温产生的氢量。根据得到的氢量,可得到图1所示的氢释放曲线。使用得到的氢释放曲线,求出室温至350℃之间释放的累积氢量。得到的累积氢量为扩散性氢量(ppm)。

[0302] 如上所述,本实施方式的钢近终形材料,化学组成中的各元素含量在本实施方式的范围,显微组织由面积率为20~90%的多边形铁素体、以及面积率为10~80%的硬质相构成,满足式(1),且采用阴极充氢法充氢时的扩散性氢量为0.10ppm以上。因此,本实施方式的钢近终形材料不仅可以得到高疲劳强度,还可以得到高拉伸强度。

[0303] [制造方法]

[0304] 以下,对本实施方式的钢近终形材料的制造方法进行说明。之后说明的制造方法为钢近终形材料的制造方法的一个示例,并不限于此。即,若化学组成中的各元素含量在本实施方式的范围内,显微组织由面积率为20~90%的多边形铁素体、以及面积率为10~80%的硬质相构成,满足式(1),且采用阴极充氢法充氢时的扩散性氢量为0.10ppm以上,则钢近终形材料的制造方法并不限于之后说明的制造方法。但是,之后说明的制造方法为本实施方式的钢近终形材料的优选的制造方法。

[0305] 本实施方式的钢近终形材料的制造方法具备:准备作为钢近终形材料的坯料钢材的工序(钢材准备工序);以及由钢材制造钢近终形材料的工序(钢近终形材料制造工序)。以下,对各工序进行详细说明。

[0306] [钢材准备工序]

[0307] 在钢材准备工序中,准备作为钢近终形材料的坯料钢材。钢材的形状并不特别限定,例如为钢棒或线材。本实施方式的作为钢近终形材料的坯料钢材的构成如下。

[0308] [作为钢近终形材料的坯料钢材的构成]

[0309] 本实施方式的作为钢近终形材料的坯料钢材的构成如下。作为钢近终形材料的坯料钢材的化学组成与钢近终形材料的化学组成相同。即,钢材的化学组成以质量%计为C:0.03~0.25%、Si:0.02~0.50%、Mn:超过0.70%且为2.50%以下、P:0.035%以下、S:0.050%以下、Al:0.005~0.050%、V:超过0.10%且为0.40%以下、N:0.003~0.030%、Cr:0~0.70%、Nb:0~0.100%、B:0~0.0100%、Cu:0~0.30%、Ni:0~0.30%、Ca:0~0.0050%、Bi:0~0.100%、Pb:0~0.090%、Mo:0~0.05%、Ti:0~0.005%、Zr:0~0.010%、Se:0~0.10%、Te:0~0.10%、稀土元素:0~0.010%、Sb:0~0.10%、Mg:0~0.0050%、W:0~0.050%、以及余量:Fe和杂质。

[0310] 在本实施方式的作为钢近终形材料的坯料钢材中,将钢材的化学组成中的V定义为[V](质量%)。将在钢材的化学组成计为100%的情况下的钢材中的V析出物中的V的总含量定义为“析出物中V”(质量%)。在这种情况下,钢材中的[析出物中V]/[V]为0.05以上且小于0.30。

[0311] 定义 $VP_0 = \text{钢材中的}[\text{析出物中V}]/[V]$ 。在作为钢近终形材料的坯料钢材中,优选尽量不生成V析出物且固溶V量多的钢材。在钢材中已经生成大量的V析出物的情况下,在该钢材作为坯料的钢近终形材料的制造工序中的后续时效硬化处理中,不会生成微细的V析出物,钢材中已经存在的V析出物粗大化。在这种情况下,在钢近终形材料中,难以形成板状V析出物,球状V析出物的比例过多。在这种情况下,采用阴极充氢法充氢时的钢近终形材料的扩散性氢量低。因此,在钢近终形材料中,无法得到足够的疲劳强度和拉伸强度。

[0312] 钢材的VP0为0.30以上时,采用阴极充氢法充氢时的钢近终形材料的扩散性氢量低。因此,在钢近终形材料中,无法得到足够的疲劳强度和拉伸强度。因此,钢材的VP0小于0.30。对钢材的VP0的下限并不进行特别限定,例如为0.05。

[0313] 需要说明的是,钢材的VP0可以通过与钢近终形材料中的VP的测定方法同样的测定方法求出。

[0314] 此外,本实施方式的作为钢近终形材料的坯料钢材的显微组织与上述钢近终形材料的显微组织相同。即,钢材的显微组织由20~90%的多边形铁素体、以及10~80%的硬质相构成。

[0315] 钢材的显微组织中的多边形铁素体面积率超过90%以上时,在钢材中生成过多的V析出物。因此,VP0为0.30以上。在这种情况下,在这种情况下,采用阴极充氢法充氢时的钢近终形材料的扩散性氢量低。因此,在钢近终形材料中,无法得到足够的疲劳强度和拉伸强度。

[0316] 另一方面,钢材的显微组织中的多边形铁素体面积率小于10%时,钢材的冷加工性过低。在这种情况下,在后续的钢近终形材料的制造工序中的冷加工工序中会导致钢材产生裂纹。因此,钢材的显微组织由20~90%的多边形铁素体、以及10~80%的硬质相构成。

[0317] 需要说明的是,钢材的显微组织中的多边形铁素体面积率和硬质相面积率能够通过钢近终形材料的显微组织中的多边形铁素体面积率和硬质相面积率相同的测定方法测定。

[0318] 本实施方式的作为氮化钢部件的坯料钢材可以由第三方提供,也可以制造。在制造钢材的情况下,钢材准备工序包括准备坯料的工序(坯料准备工序),以及对坯料进行热加工而制造钢材的工序(热加工工序)。以下,对这些工序进行说明。

[0319] [坯料准备工序]

[0320] 制造具有上述化学组成的钢水。使用钢水准备坯料。例如,使用转炉和电炉等制造具有上述化学组成的钢水。使用钢水通过连续铸造法制造铸坯。或者,使用钢水通过铸锭法制造铸锭。

[0321] [热加工工序]

[0322] 对准备的坯料实施热加工,制造钢材。作为热加工,实施热轧的情况下,例如,存在以下方法。在热轧中包括对坯料进行粗轧形成小方坯的粗轧工序,以及对小方坯进行精轧形成钢材的精轧工序。粗轧工序例如实施以下工序。对坯料(铸坯、铸锭)加热后,使用初轧机进行初轧。根据需要,在初轧后通过连续轧机进一步轧制,制造小方坯。在连续轧机中,水平辊架、垂直辊架交错排列成一行,使用在各机架的轧辊上形成的孔模对坯料进行轧制,形成小方坯。需要说明的是,也可以通过连续铸造法直接制造小方坯。

[0323] 精轧工序例如实施以下工序。将在粗轧工序制造的小方坯装入加热炉中进行加热。使用已加热的小方坯,由精轧机列实施精轧(热轧)而形成规定直径的棒线。精轧机列包括排列成一行的多个机架。各机架包含配置在轧制线周围的多个辊。使用在各机架的轧辊上形成的孔模对小方坯进行轧制,制造钢材(棒线)。

[0324] 需要说明的是,热加工工序并不限定于热轧。在热加工工序中,替代上述热轧,可以实施热锻,也可以实施热挤压。

[0325] [关于加热温度]

[0326] 在热加工工序中,即将实施最终的热加工前的钢材的加热温度例如为1000~1300℃。例如,在热加工工序包括粗轧工序和精轧工序的情况下,精轧工序的加热炉中的加热温度为1000~1300℃。精轧工序的加热炉中的加热温度为1000~1300℃时,以满足其它制造条件作为前提,热加工工序前生成的V析出物充分固溶。

[0327] [关于结束温度]

[0328] 在热加工工序中,将最后压下后的钢材温度定义为结束温度(℃)。在热加工工序包括粗轧工序和精轧工序的情况下,结束温度是指在精轧工序中由精轧机列在最后进行压下的机架出口侧的钢材温度(钢材的表面温度)。结束温度例如为800~1200℃。结束温度为800~1200℃时,以满足其它制造条件作为前提,能够充分抑制加热炉中固溶的V的再析出。

[0329] [关于冷却速度]

[0330] 在热加工工序中,热加工后的冷却速度例如为0.4~4.0℃/s。在此,对热加工后的冷却速度做出如下定义。将在热加工结束后钢材温度从结束温度降至200℃的平均冷却速度定义为热加工后的冷却速度(℃/s)。热加工后的冷却速度为0.4~4.0℃/s时,以满足其它制造条件作为前提,钢材中的多边形铁素体面积率为20~90%,硬质相面积率为10~80%,此外,钢材中的[析出物中V]/[V]为0.05以上且小于0.30。

[0331] 通过以上制造方法制造作为钢近终形材料的坯料钢材。需要说明的是,也可以以调节显微组织为目的对热加工工序后的钢材实施正火处理工序。

[0332] [正火处理工序]

[0333] 正火处理工序为任选工序,也可以不实施。在实施的情况下,正火处理的热处理温度为1000~1300℃,在热处理温度下保持后的冷却速度可以为0.4~4.0℃/s。即,正火处理的热处理温度和冷却速度与热加工工序中的加热温度和冷却速度设为相同范围。

[0334] [钢近终形材料制造工序]

[0335] 对使用上述钢材的钢近终形材料的制造方法的一个示例进行说明。钢近终形材料制造工序具备:对钢材进行冷加工的工序(冷加工工序)、对冷加工后的钢材实施时效硬化处理的工序(时效硬化处理工序)以及对时效硬化处理后的钢材实施切削加工的工序(切削加工工序)。在此,切削加工工序为任选工序。即,也可以不实施切削加工工序。以下,对各工序进行说明。

[0336] [冷加工工序]

[0337] 冷加工工序包括第1方向冷加工工序以及第2方向冷加工工序。在第1方向冷加工工序中,对钢材从第1方向实施加工应变量为0.05以上的冷加工。在第2方向冷加工工序中,对钢材从第2方向实施加工应变量为0.05以上的冷加工。在冷加工工序中,进一步地,第1方向冷加工工序中钢材产生的加工应变量为与第2方向冷加工工序中钢材产生的加工应变量的总和为0.20以上。

[0338] 第1方向和第2方向只要是不同方向并不进行特别限定。例如,第1方向和第2方向可以交叉。另外,如后续的拉拔加工和镦粗加工那样,第1方向和第2方向也可以相互垂直。

[0339] 总而言之,在冷加工工序中,钢材从不同的两个方向(第1方向和第2方向)受到载荷。通过从两个方向施加的载荷,钢材的晶粒内的位错的运动方向不仅是固定的方向,还是多个方向。因此,与仅从一个方向实施冷加工的情况相比,在钢材中容易产生交叉滑移。产

生交叉滑移时,位错彼此易于碰撞。因此,随着碰撞而渐渐无法移动的位错(不动位错)增加,在晶粒内残留的位错增加。其结果,晶粒内的位错密度增加。位错密度增加,则形成应变。在后续的时效硬化处理工序中,为了消除该应变,板状V析出物容易在形成有应变的部分析出。也就是说,已形成的应变成为板状V析出物的核。若板状V析出物析出,则通过析出强化使所制造的钢近终形材料的疲劳强度和拉伸强度提升。

[0340] 也就是说,可以认为在钢材中形成的应变量和钢材中的板状V析出物的析出量存在正相关性。在冷加工工序中,通过从不同的两个方向(第1方向和第2方向)实施冷加工,使钢材中产生应变。在本说明书中,将通过从不同的两个方向冷加工而产生的加工应变的总和称为总加工应变。通过总加工应变在钢材内积蓄,在后续的时效硬化处理工序中,能够使板状V析出物充分析出以使扩散性氢量为0.10ppm以上。

[0341] 在此,将通过第1冷加工工序产生的应变(第1方向加工应变)和通过第2冷加工工序产生的应变(第2方向加工应变)的总和定义为总加工应变。更具体而言,在本实施方式中,第1方向加工应变为0.05以上,第2方向加工应变为0.05以上。此外,总加工应变为0.20以上。

[0342] 总加工应变为0.20以上时,在钢材中向多个方向运动的位错增加,其结果,晶粒内的位错密度增加。因此,在后续的时效硬化处理工序中,能够使板状V析出物充分析出以满足式(1)且扩散性氢量为0.10ppm以上。其结果,在钢近终形材料中,可得到充分高的疲劳强度和充分高的拉伸强度。总加工应变小于0.20时,无法充分得到上述效果。因此,总加工应变为0.20以上。总加工应变的优选下限为0.23,进一步优选为0.25,进一步优选为0.28。

[0343] 对总加工应变量的上限并不进行特别限定。但是,在总加工应变量过大的情况下,冷加工工序中的钢材的变形阻力会过度升高,给制造设备造成过大的负担。因此,总加工应变量的优选上限为1.50,进一步优选为1.20,进一步优选为0.80。

[0344] 在本实施方式的冷加工工序中,进一步地,如上所述,不仅要求第1方向加工应变与第2方向加工应变的总和即总加工应变为0.20以上,还要求第1方向加工应变为0.05以上、且第2方向加工应变为0.05以上。在第1方向加工应变和第2方向加工应变中的至少一者小于0.05的情况下,即使总加工应变为0.20以上,尽管存在满足式(1)的情况,但是采用阴极充氢法充氢时的钢近终形材料的扩散性氢量过低。在第1方向加工应变和第2方向加工应变中的至少一者小于0.05的情况下,晶粒内的位错的运动方向会失衡。在这种情况下,难以产生交叉滑移。因此,晶粒内的位错密度不足。因此,可以认为时效硬化处理工序中板状V析出物的生成不足。

[0345] 对第1方向加工应变和第2方向加工应变的上限并不进行特别限定。第1方向加工应变的优选上限例如为0.40,进一步优选为0.30。第1方向加工应变的优选下限为0.06,进一步优选为0.08。第2方向加工应变的优选上限例如为0.80,进一步优选为0.50。第2方向加工应变的优选下限为0.06,进一步优选为0.08。

[0346] [优选的第1方向冷加工工序和第2方向冷加工工序]

[0347] 优选第1方向冷加工工序为拉拔加工,第2方向冷加工工序为镦粗加工。

[0348] 在拉拔加工(第1方向冷加工工序)中,实施拉丝加工。拉丝加工可以仅为一次拉丝,也可以实施二次拉丝等多次拉拔加工。在拉拔加工后(第1方向冷加工工序后),根据制

造的钢近终形材料,可以将钢材切断成适当的长度。

[0349] 在镦粗加工(第2方向冷加工工序)中,实施在长度方向压缩钢材的加工。镦粗加工可以实施1次,也可以实施多次。

[0350] 作为第1冷加工工序采用拉拔加工,作为第2冷加工工序采用镦粗加工的情况下,钢材通过拉拔加工和镦粗加工从与钢材的长度方向垂直的方向和钢材的长度方向这两个方向受到载荷。在这种情况下,更容易产生交叉滑移,在钢材中更容易增加不动位错。其结果,晶粒内的位错密度增加,容易在钢材中形成很多作为板状V析出物的核的应变。

[0351] 将通过拉拔加工在钢材产生的加工应变变量(第1方向加工应变变量)定义为拉拔应变变量。将通过镦粗加工在钢材产生的加工应变变量(第2方向加工应变变量)定义为镦粗应变变量。拉拔应变变量和镦粗应变变量通过式(2)所定义的基于近似圆筒的真应变变量 $\epsilon$ (-)计算。

$$[0352] \quad \epsilon(-) = |\ln\{1+(L-L_0)/L_0\}| \quad (2)$$

[0353] 具体而言,在计算拉拔应变变量时,式(2)中的L为拉拔加工工序后的钢材的拉丝方向(长度方向)的长度。式(2)中的L<sub>0</sub>为拉拔加工工序前的钢材的拉丝方向(长度方向)的长度。根据以上定义,采用式(2)求出拉拔应变变量(真应变变量 $\epsilon$ )。实施多次拉拔加工的情况下,求出各拉拔加工中的拉拔应变变量(真应变变量 $\epsilon$ ),它们的总和值为拉拔加工工序中的拉拔应变变量(真应变变量 $\epsilon$ )。

[0354] 另一方面,在计算镦粗应变变量时,式(2)中的L为镦粗加工工序后的钢材的拉丝方向(长度方向)的长度。式(2)中的L<sub>0</sub>是指镦粗加工工序前的钢材的拉丝方向(长度方向)的长度。根据上述定义,采用式(2)求出镦粗应变变量(真应变变量 $\epsilon$ )。实施多次镦粗加工的情况下,求出各镦粗加工中的镦粗应变变量(真应变变量 $\epsilon$ ),它们的总和值为镦粗加工工序中的镦粗应变变量(真应变变量 $\epsilon$ )。

[0355] 求出的拉拔应变变量和镦粗应变变量的总和值为总加工应变变量(-)。

[0356] 如上所述,在本实施方式的制造方法的冷加工工序中,通过实施第1方向冷加工工序和第2方向冷加工工序,对钢材赋予不同的两个方向的加工应变变量。此时,第1方向加工应变变量为0.05以上,第2方向加工应变变量为0.05以上,此外,总加工应变变量为0.20以上。由此,在后续的时效硬化处理工序中,在钢材中形成使很多板状V析出物生成的核。其结果,在时效硬化处理工序中,能够使板状V析出物充分析出以满足式(1)且扩散性氢量为0.10ppm以上。

[0357] [时效硬化处理工序]

[0358] 对冷加工工序后的钢材实施时效硬化处理工序。时效硬化处理工序中的处理温度(°C)和处理温度下的保持时间(分钟)如下。

[0359] 处理温度:500°C ~ A<sub>c1</sub>点

[0360] 时效硬化处理工序的处理温度(以下也称为时效硬化处理温度)为500°C ~ A<sub>c1</sub>点时,V析出物能够在钢材中析出,以满足式(1)且采用阴极充氢法充氢时的钢近终形材料的扩散性氢量为0.10ppm以上。其结果,在钢近终形材料中,能够得到高疲劳强度和高拉伸强度。

[0361] 时效硬化处理温度小于500°C时,V析出物的析出量不足。在这种情况下,钢近终形材料不满足式(1)。另一方面,时效硬化处理温度超过A<sub>c1</sub>点时,认为会促进从板状V析出物变化为球状V析出物。因此,采用阴极充氢法充氢时的钢近终形材料的扩散性氢量过低。因此,

时效硬化处理温度为 $500^{\circ}\text{C} \sim A_{c1}$ 点。时效硬化处理温度的优选下限为 $520^{\circ}\text{C}$ ，进一步优选为 $540^{\circ}\text{C}$ ，进一步优选为 $560^{\circ}\text{C}$ 。时效硬化处理温度的优选上限为 $700^{\circ}\text{C}$ ，进一步优选为 $680^{\circ}\text{C}$ ，进一步优选为 $660^{\circ}\text{C}$ 。

[0362] 保持时间:15~150分钟

[0363] 上述时效硬化处理温度下的保持时间为15~150分钟。保持时间为15~150分钟时,V析出物能够在钢材中析出,以满足式(1)且采用阴极充氢法充氢时的钢近终形材料的扩散性氢量为0.10ppm以上。其结果,在钢近终形材料中,能够得到高疲劳强度和高拉伸强度。

[0364] 保持时间小于15分钟时,V析出物的析出量不足。在这种情况下,钢近终形材料不满足式(1)。另一方面,保持时间超过150分钟时,认为会促进从板状V析出物变化为球状V析出物。因此,采用阴极充氢法充氢时的钢近终形材料的扩散性氢量过低。因此,保持时间为15~150分钟。保持时间的优选下限为20分钟,更优选为30分钟。保持时间的优选上限为120分钟,更优选为100分钟。

[0365] 通过以上制造工序,能够制造本实施方式的钢近终形材料。需要说明的是,上述制造方法为本实施方式的钢近终形材料的制造方法的一个示例。因此,只要化学组成中的各元素含量在本实施方式的范围内,显微组织由面积率为20~90%的多边形铁素体、以及面积率为10~80%的硬质相构成,满足式(1),且采用阴极充氢法充氢时的扩散性氢量为0.10ppm以上,则钢近终形材料的制造方法不限于之后说明的制造方法。但是,之后说明的制造方法为本实施方式的钢近终形材料的优选制造方法。

[0366] [关于任选工序]

[0367] 如上所述,可以对时效硬化处理工序后的钢材实施切削加工工序。

[0368] [切削加工工序]

[0369] 切削加工工序为任选工序。在实施的情况下,在切削加工工序中,对时效硬化处理后的钢材实施切削加工,制造所要的形状的钢近终形材料。

[0370] 如上所述,本实施方式的钢近终形材料能够通过上述制造工序(冷加工工序-时效硬化处理工序-切削加工工序,或者冷加工工序-时效硬化处理工序)代替以往的制造工序(热锻工序-切削加工工序)进行制造。因为可以省略热锻工序,因此能够提高成品率,还能够提高生产率。以下,通过实施例对本实施方式的钢近终形材料进行具体说明。

[0371] 实施例

[0372] 通过真空熔炼具有表1-1和表1-2所示化学组成的各试验编号的钢水进行制造。使用钢水制造150kg的铸锭。表1-1和表1-2“化学组成”栏中的“-”是指对应的元素含量小于检测极限。需要说明的是,在表1-1和表1-2所示的任一试验编号的钢中,0的含量均为0.0040%以下。

[0373] [表1-1]

[0374]

表1-1  
化学成分 (单位为质量%, 余量为杂质)

试验编号	C	Si	Mn	P	S	Al	V	N	Cr	Nb	B	Cu	Ni	Ca	Bi	Pb	Mo	Ti	Zr	Se	Te	REM	Sb	Mg	W
1	0.15	0.09	1.42	0.016	0.012	0.025	0.12	0.005	0.09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	0.15	0.08	1.80	0.015	0.011	0.015	0.16	0.006	0.16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	0.24	0.08	1.42	0.014	0.010	0.012	0.18	0.005	0.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	0.22	0.06	1.65	0.015	0.011	0.013	0.23	0.005	0.14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	0.06	0.09	2.06	0.015	0.009	0.011	0.28	0.004	0.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	0.04	0.07	2.11	0.014	0.010	0.012	0.34	0.005	0.21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	0.34	0.44	1.62	0.016	0.010	0.010	0.23	0.006	0.16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	0.19	0.03	1.81	0.011	0.009	0.015	0.25	0.005	0.31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	0.20	0.12	1.50	0.009	0.012	0.016	0.19	0.006	0.11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	0.30	0.06	2.27	0.015	0.009	0.010	0.21	0.005	0.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	0.17	0.06	0.71	0.016	0.011	0.011	0.24	0.006	0.16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	0.15	0.08	1.68	0.033	0.010	0.012	0.22	0.005	0.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	0.14	0.06	1.79	0.015	0.048	0.013	0.23	0.007	0.16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	0.11	0.07	1.81	0.015	0.011	0.011	0.39	0.005	0.16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	0.13	0.09	1.80	0.015	0.010	0.010	0.37	0.006	0.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	0.16	0.06	1.79	0.016	0.012	0.011	0.14	0.006	0.16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	0.18	0.07	1.78	0.014	0.011	0.010	0.11	0.005	0.14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	0.14	0.06	1.77	0.014	0.008	0.043	0.21	0.006	0.13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	0.15	0.07	1.83	0.016	0.009	0.006	0.19	0.006	0.14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	0.13	0.08	1.61	0.016	0.012	0.015	0.20	0.005	0.63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	0.16	0.06	1.81	0.016	0.008	0.014	0.23	0.005	0.04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	0.15	0.06	1.80	0.014	0.010	0.012	0.24	0.027	0.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	0.14	0.07	1.78	0.015	0.010	0.013	0.25	0.014	0.14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	0.16	0.06	1.79	0.015	0.011	0.011	0.23	0.004	0.11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	0.14	0.06	1.81	0.013	0.011	0.012	0.21	0.005	0.13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	0.14	0.09	1.80	0.015	0.012	0.011	0.22	0.006	0.10	-	-	0.28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	0.12	0.10	1.79	0.014	0.010	0.010	0.21	0.005	0.10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	0.15	0.08	1.80	0.015	0.011	0.015	0.21	0.006	0.16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	0.15	0.08	1.80	0.015	0.011	0.015	0.21	0.006	0.16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	0.15	0.08	1.80	0.015	0.011	0.015	0.21	0.006	0.16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	0.14	0.08	1.52	0.014	0.011	0.011	0.22	0.004	0.11	-	-	-	-	0.0035	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	0.14	0.06	1.78	0.011	0.012	0.011	0.23	0.005	0.12	-	-	-	-	0.060	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
33	0.13	0.07	1.61	0.012	0.011	0.014	0.26	0.005	0.11	-	-	-	-	-	0.064	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
34	0.15	0.07	1.54	0.013	0.012	0.011	0.22	0.004	0.13	0.055	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35	0.12	0.06	1.66	0.014	0.013	0.012	0.23	0.004	0.14	-	0.0058	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
36	0.12	0.06	1.21	0.016	0.010	0.016	0.30	0.006	0.17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
37	0.14	0.07	2.01	0.014	0.009	0.010	0.20	0.005	0.45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
38	0.12	0.25	1.81	0.015	0.011	0.010	0.28	0.005	0.38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
39	0.08	0.33	2.19	0.013	0.010	0.015	0.16	0.006	0.45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	0.15	0.08	1.80	0.015	0.011	0.015	0.21	0.006	0.16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
41	0.15	0.08	1.86	0.012	0.011	0.018	0.27	0.007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
42	0.14	0.07	1.90	0.013	0.012	0.011	0.26	0.006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
43	0.12	0.07	1.90	0.013	0.016	0.012	0.27	0.006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
44	0.13	0.08	1.88	0.012	0.015	0.013	0.27	0.005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.06	-	-	-	-
45	0.15	0.06	1.90	0.012	0.012	0.011	0.25	0.005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.003	-	-	-
46	0.16	0.06	1.88	0.013	0.010	0.013	0.26	0.007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.04	-	-
47	0.15	0.08	1.91	0.015	0.012	0.011	0.26	0.005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0020	-
48	0.12	0.07	1.88	0.016	0.012	0.012	0.25	0.006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.006

[0375]

[表1-2]

[0376]

表 1-2 化学组成 (单位为质量%, 余量为Fe和杂质)

试验编号	C	Si	Mn	P	S	Al	V	N	Cr	Nb	B	Cu	Ni	Ca	Bi	Pb	Mo	Ti	Zr	Se	Te	REM	Sb	Mg	W
49	0.26	0.08	1.83	0.016	0.012	0.013	0.21	0.005	0.12	-	-	-	-	-	-	0.01	0.001	-	-	-	-	-	-	-	
50	0.07	0.07	1.78	0.015	0.011	0.011	0.32	0.005	0.14	-	-	-	-	-	-	0.01	0.001	-	-	-	-	-	-	-	
51	0.15	0.01	1.84	0.014	0.010	0.013	0.24	0.004	0.15	-	-	-	-	-	-	0.01	0.002	-	-	-	-	-	-	-	
52	0.14	0.59	1.91	0.015	0.009	0.012	0.17	0.005	0.17	-	-	-	-	-	-	0.01	0.001	-	-	-	-	-	-	-	
53	0.16	0.08	2.65	0.013	0.012	0.011	0.22	0.007	0.15	-	-	-	-	-	-	0.01	0.001	-	-	-	-	-	-	-	
54	0.18	0.07	2.82	0.014	0.010	0.009	0.19	0.004	0.14	-	-	-	-	-	-	0.01	0.001	-	-	-	-	-	-	-	
55	0.10	0.06	1.69	0.015	0.010	0.013	0.51	0.004	0.16	-	-	-	-	-	-	0.01	0.001	-	-	-	-	-	-	-	
56	0.13	0.08	1.82	0.014	0.010	0.012	0.06	0.005	0.15	-	-	-	-	-	-	0.01	0.001	-	-	-	-	-	-	-	
57	0.18	0.07	1.21	0.015	0.009	0.018	0.21	0.006	0.82	-	-	-	-	-	-	0.01	0.001	-	-	-	-	-	-	-	
58	0.15	0.08	1.82	0.016	0.011	0.016	0.16	0.007	1.02	-	-	-	-	-	-	0.01	0.001	-	-	-	-	-	-	-	
59	0.18	0.06	1.82	0.016	0.012	0.015	0.21	0.032	0.18	-	-	-	-	-	-	0.01	0.001	-	-	-	-	-	-	-	
60	0.15	0.07	1.83	0.014	0.010	0.010	0.22	0.004	0.12	-	-	-	-	-	-	0.01	0.007	-	-	-	-	-	-	-	
61	0.15	0.09	0.81	0.013	0.011	0.009	0.22	0.005	0.11	-	-	-	-	-	-	0.08	0.001	-	-	-	-	-	-	-	
62	0.15	0.09	1.42	0.016	0.012	0.025	0.12	0.005	0.09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
63	0.15	0.08	1.80	0.015	0.011	0.015	0.21	0.006	0.16	-	-	-	-	-	-	0.01	0.001	-	-	-	-	-	-	-	
64	0.15	0.09	1.42	0.016	0.012	0.025	0.12	0.005	0.09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
65	0.15	0.08	1.80	0.015	0.011	0.015	0.21	0.006	0.16	-	-	-	-	-	-	0.01	0.001	-	-	-	-	-	-	-	
66	0.15	0.09	1.42	0.016	0.012	0.025	0.12	0.005	0.09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
67	0.15	0.08	1.80	0.015	0.011	0.015	0.21	0.006	0.16	-	-	-	-	-	-	0.01	0.001	-	-	-	-	-	-	-	
68	0.15	0.09	1.42	0.016	0.012	0.025	0.12	0.005	0.09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
69	0.15	0.09	1.42	0.016	0.012	0.025	0.12	0.005	0.09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
70	0.15	0.08	1.80	0.015	0.011	0.015	0.21	0.006	0.16	-	-	-	-	-	-	0.01	0.001	-	-	-	-	-	-	-	
71	0.15	0.09	1.42	0.016	0.012	0.025	0.12	0.005	0.09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
72	0.15	0.09	1.42	0.016	0.012	0.025	0.12	0.005	0.09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
73	0.15	0.08	1.80	0.015	0.011	0.015	0.21	0.006	0.16	-	-	-	-	-	-	0.01	0.001	-	-	-	-	-	-	-	
74	0.15	0.08	1.80	0.015	0.011	0.015	0.21	0.006	0.16	-	-	-	-	-	-	0.01	0.001	-	-	-	-	-	-	-	
75	0.15	0.08	1.80	0.015	0.011	0.015	0.21	0.006	0.16	-	-	-	-	-	-	0.01	0.001	-	-	-	-	-	-	-	
76	0.09	0.07	0.85	0.015	0.011	0.011	0.21	0.005	0.14	-	-	-	-	-	-	0.01	0.001	-	-	-	-	-	-	-	
77	0.16	0.08	2.09	0.014	0.012	0.012	0.16	0.005	0.46	-	-	-	-	-	-	0.02	0.001	-	-	-	-	-	-	-	
78	0.21	0.09	2.21	0.012	0.010	0.013	0.21	0.006	0.58	-	-	0.24	0.25	-	-	0.01	0.001	-	-	-	-	-	-	-	
79	0.15	0.08	1.86	0.012	0.011	0.018	0.27	0.007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
80	0.15	0.08	1.86	0.012	0.011	0.018	0.27	0.007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
81	0.15	0.08	1.86	0.012	0.011	0.018	0.27	0.007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
82	0.15	0.08	1.86	0.012	0.011	0.018	0.27	0.007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
83	0.15	0.08	1.86	0.012	0.011	0.018	0.27	0.007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
84	0.15	0.08	1.86	0.012	0.011	0.018	0.27	0.007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
85	0.15	0.08	1.86	0.012	0.011	0.018	0.27	0.007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
86	0.15	0.08	1.86	0.012	0.011	0.018	0.27	0.007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
87	0.15	0.08	1.86	0.012	0.011	0.018	0.27	0.007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

[0377] 使用制造的铸锭,制造作为钢近终形材料的坯料钢材。具体而言,对铸锭实施热加工(热锻),制造直径42mm(φ42)的圆棒材。热锻中的加热温度为1200℃,结束温度为1000

℃。在除试验编号76~79以外的试验编号中,热锻后的冷却速度为0.5℃/秒。在试验编号76中,热锻后的冷却速度为0.1℃/秒。在试验编号77和78中,热锻后的冷却速度为6.0℃/秒。在试验编号79中,热锻后的冷却速度为0.2℃/秒。通过以上制造工序,制造作为钢近终形材料的坯料圆棒材(钢材)。

[0378] 对制造的圆棒材实施冷加工工序。具体而言,对各试验编号的圆棒材,作为第1方向冷加工工序实施拉拔加工,然后,作为第2方向冷加工工序实施镦粗加工。拉拔加工和镦粗加工中的拉拔应变量和镦粗应变量以及总加工应变量如表2-1和表2-2所示。需要说明的是,在冷加工工序中的圆棒材上确认到裂纹的情况下,立即停止制造,对该试验编号而言判定为冷加工性低。

[0379] [表2-1]

[0380]

表2-1

试验编号	圆棒材(钢材)			冷加工工序			时效硬化处理工序			钢近终形材料					备注
	多边形铁素体面积率(%)	硬相面积率(%)	VPO	拉拔应变量(%)	镦粗应变量(%)	总加工应变量(%)	时效硬化处理温度(℃)	保持时间(分钟)	多边形铁素体面积率(%)	硬相面积率(%)	VP	扩散性氢量(ppm)	疲劳强度(MPa)	拉伸强度(MPa)	
1	72	28	0.05	0.20	0.10	0.30	600	60	72	28	0.37	0.12	480	852	本发明例
2	61	39	0.11	0.20	0.10	0.30	600	60	61	39	0.43	0.16	500	838	本发明例
3	39	61	0.18	0.20	0.10	0.30	600	60	39	61	0.52	0.22	530	915	本发明例
4	42	58	0.19	0.20	0.10	0.30	600	60	42	58	0.48	0.20	530	928	本发明例
5	68	32	0.05	0.20	0.10	0.30	600	60	68	32	0.38	0.14	490	846	本发明例
6	61	39	0.05	0.20	0.10	0.30	600	60	61	39	0.36	0.12	500	847	本发明例
7	64	36	0.11	0.20	0.10	0.30	600	60	64	36	0.38	0.16	520	896	本发明例
8	46	54	0.16	0.20	0.10	0.30	600	60	46	54	0.36	0.15	500	850	本发明例
9	51	49	0.15	0.20	0.10	0.30	600	60	51	49	0.42	0.15	510	882	本发明例
10	23	77	0.05	0.20	0.10	0.30	600	60	23	77	0.38	0.17	500	848	本发明例
11	84	16	0.14	0.20	0.10	0.30	600	60	84	16	0.42	0.21	500	861	本发明例
12	63	37	0.11	0.20	0.10	0.30	600	60	63	37	0.36	0.15	510	874	本发明例
13	74	26	0.11	0.20	0.10	0.30	600	60	74	26	0.38	0.14	500	858	本发明例
14	70	30	0.11	0.20	0.10	0.30	600	60	70	30	0.52	0.26	540	944	本发明例
15	66	34	0.13	0.20	0.10	0.30	600	60	66	34	0.46	0.24	550	963	本发明例
16	58	42	0.07	0.20	0.10	0.30	600	60	58	42	0.39	0.16	500	848	本发明例
17	48	52	0.05	0.20	0.10	0.30	600	60	48	52	0.33	0.12	490	845	本发明例
18	66	34	0.10	0.20	0.10	0.30	600	60	66	34	0.42	0.18	500	861	本发明例
19	62	38	0.10	0.20	0.10	0.30	600	60	62	38	0.45	0.21	490	848	本发明例
20	34	66	0.08	0.20	0.10	0.30	600	60	34	66	0.43	0.20	510	890	本发明例
21	72	28	0.13	0.20	0.10	0.30	600	60	72	28	0.41	0.18	500	846	本发明例
22	65	35	0.12	0.20	0.10	0.30	600	60	65	35	0.52	0.26	490	847	本发明例
23	59	41	0.11	0.20	0.10	0.30	600	60	59	41	0.46	0.24	500	854	本发明例
24	62	38	0.13	0.20	0.10	0.30	600	60	62	38	0.39	0.16	510	886	本发明例
25	61	39	0.10	0.20	0.10	0.30	600	60	61	39	0.39	0.19	510	880	本发明例
26	41	59	0.10	0.20	0.10	0.30	600	60	41	59	0.42	0.19	520	886	本发明例
27	34	66	0.08	0.20	0.10	0.30	600	60	34	66	0.44	0.18	510	861	本发明例
28	60	40	0.11	0.15	0.10	0.25	600	60	60	40	0.34	0.13	480	849	本发明例
29	60	40	0.11	0.20	0.10	0.30	520	60	60	40	0.32	0.18	480	850	本发明例
30	57	43	0.11	0.20	0.10	0.30	660	60	57	43	0.46	0.14	490	846	本发明例
31	59	41	0.10	0.20	0.10	0.30	600	60	59	41	0.37	0.18	490	851	本发明例
32	64	36	0.11	0.20	0.10	0.30	600	60	64	36	0.34	0.15	490	850	本发明例
33	57	43	0.11	0.20	0.10	0.30	600	60	57	43	0.39	0.20	490	849	本发明例
34	61	39	0.11	0.20	0.10	0.30	600	60	61	39	0.33	0.13	500	848	本发明例
35	66	34	0.09	0.20	0.10	0.30	600	60	66	34	0.33	0.15	500	853	本发明例
36	87	13	0.11	0.20	0.10	0.30	600	60	87	13	0.44	0.20	500	848	本发明例
37	22	78	0.09	0.20	0.10	0.30	600	60	22	78	0.36	0.18	520	886	本发明例
38	32	68	0.10	0.20	0.10	0.30	600	60	32	68	0.40	0.19	500	884	本发明例
39	35	65	0.05	0.20	0.10	0.30	600	60	35	65	0.32	0.11	500	850	本发明例
40	66	34	0.11	0.20	0.10	0.30	600	15	66	34	0.32	0.14	480	848	本发明例
41	58	42	0.11	0.20	0.10	0.30	600	60	58	42	0.43	0.21	510	883	本发明例
42	61	39	0.12	0.20	0.10	0.30	600	60	61	39	0.39	0.20	500	872	本发明例
43	62	38	0.13	0.20	0.10	0.30	600	60	62	38	0.40	0.16	500	864	本发明例
44	60	40	0.13	0.20	0.10	0.30	600	60	60	40	0.44	0.17	500	870	本发明例
45	63	37	0.11	0.20	0.10	0.30	600	60	63	37	0.38	0.20	520	884	本发明例
46	62	38	0.12	0.20	0.10	0.30	600	60	62	38	0.39	0.18	530	890	本发明例
47	62	38	0.12	0.20	0.10	0.30	600	60	62	38	0.40	0.19	520	880	本发明例
48	58	42	0.11	0.20	0.10	0.30	600	60	58	42	0.36	0.16	490	863	本发明例

[0381] [表2-2]

[0382]

表2-2

试验编号	圆棒材 (钢材)			冷加工工序			时效硬化处理工序			钢近终形材料					
	多边形铁素体面积率 (%)	硬质相面积率 (%)	VP0	拉拔应变量 (-)	冷轧应变量 (-)	总加工应变量 (-)	时效硬化处理温度 (°C)	保持时间 (分钟)	多边形铁素体面积率 (%)	硬质相面积率 (%)	VP	扩散性氢量 (ppm)	疲劳强度 (MPa)	拉伸强度 (MPa)	备注
49	34	66	0.22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	比较例
50	99	1	0.05	0.20	0.10	0.30	600	60	99	1	0.09	0.06	300	522	比较例
51	55	45	0.12	0.20	0.10	0.30	600	60	55	45	0.40	0.17	410	704	比较例
52	70	30	0.07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	比较例
53	38	62	0.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	比较例
54	1	99	0.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	比较例
55	74	26	0.11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	比较例
56	42	58	0.05	0.20	0.10	0.30	600	60	42	58	0.10	0.01	380	650	比较例
57	42	58	0.14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	比较例
58	3	97	0.08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	比较例
59	63	37	0.55	0.20	0.10	0.30	600	60	63	37	0.72	0.08	430	803	比较例
60	58	42	0.11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	比较例
61	33	67	0.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	比较例
62	70	30	0.05	0.05	0.05	0.10	600	60	70	30	0.15	0.02	380	754	比较例
63	58	42	0.11	0.05	0.05	0.10	600	60	58	42	0.20	0.02	420	784	比较例
64	71	29	0.05	0.30	-	0.30	600	60	71	29	0.31	0.06	400	768	比较例
65	69	31	0.11	0.30	-	0.30	600	60	69	31	0.35	0.08	430	794	比较例
66	69	31	0.05	-	0.30	0.30	600	60	69	31	0.28	0.05	410	778	比较例
67	70	30	0.11	-	0.30	0.30	600	60	70	30	0.33	0.07	410	765	比较例
68	72	28	0.05	0.20	0.10	0.30	400	60	72	28	0.14	0.02	410	842	比较例
69	70	30	0.05	0.20	0.10	0.30	750	60	82	18	0.49	0.02	220	557	比较例
70	58	42	0.11	0.20	0.10	0.30	750	60	77	23	0.56	0.02	250	605	比较例
71	70	30	0.05	0.20	0.10	0.30	600	2	70	30	0.19	0.05	420	832	比较例
72	68	32	0.05	0.20	0.10	0.30	640	300	68	32	0.48	0.05	330	701	比较例
73	64	36	0.11	0.20	0.10	0.30	600	1440	64	36	0.50	0.08	380	743	比较例
74	64	36	0.11	0.20	0.10	0.30	640	300	64	36	0.52	0.07	360	725	比较例
75	64	36	0.11	0.20	0.10	0.30	660	180	64	36	0.49	0.08	370	733	比较例
76	93	7	0.30	0.20	0.10	0.30	600	60	93	7	0.33	0.05	330	621	比较例
77	15	85	0.09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	比较例
78	0	100	0.16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	比较例
79	86	14	0.34	0.20	0.10	0.30	600	60	86	14	0.42	0.09	430	795	比较例
80	57	43	0.11	0.05	0.05	0.10	600	60	57	43	0.23	0.07	440	815	比较例
81	55	45	0.12	0.30	-	0.30	600	60	55	45	0.43	0.08	390	821	比较例
82	60	40	0.11	-	0.30	0.30	600	60	60	40	0.42	0.07	400	830	比较例
83	58	42	0.11	0.20	0.10	0.30	400	60	58	42	0.16	0.04	360	831	比较例
84	61	39	0.12	0.20	0.10	0.30	750	60	61	39	0.52	0.08	360	652	比较例
85	58	42	0.11	0.20	0.10	0.30	600	2	58	42	0.18	0.05	380	827	比较例
86	63	37	0.11	0.20	0.10	0.30	600	300	63	37	0.56	0.09	450	808	比较例
87	60	40	0.11	0.20	0.10	0.30	-	-	60	40	0.11	0.04	340	823	比较例

[0383] 对冷加工工序后的圆棒材实施时效硬化处理工序,制造钢近终形材料。在时效硬化处理中,时效硬化处理温度(°C)和保持时间(分钟)如表2-1和表2-2所示。

[0384] 通过以上制造工序,制造各试验编号的钢近终形材料。

[0385] [评价试验]

[0386] 对各试验编号的作为钢近终形材料的坯料圆棒材(钢材)和钢近终形材料实施以下评价试验。

[0387] [作为钢近终形材料的坯料圆棒材(钢材)的显微组织观察试验]

[0388] 通过下述方法观察各试验编号的圆棒材的显微组织。从各试验编号的圆棒材的包含中心轴的中心部选取试验片。将试验片的表面中的与圆棒材的长度方向垂直的表面作为观察面。对观察面进行镜面抛光。用3%硝酸乙醇腐蚀液(乙醇+3%硝酸溶液)对研磨后的观察面进行蚀刻。通过400倍的光学显微镜对经蚀刻的观察面中的任意5个观察视场进行观察,生成照片图像。将观察视场的尺寸设为 $200\mu\text{m} \times 200\mu\text{m}$ 。在各视场的照片图像中,通过上述方法,确定多边形铁素体和硬质相(珠光体和/或贝氏体)。根据在5个视场求出的多边形铁素体的总面积以及5个视场的总面积,求出多边形铁素体面积率(%)。同样地,根据在5个视场求出的珠光体和贝氏体的总面积以及5个视场的总面积,求出硬质相(珠光体和贝氏体)的总面积率(%)。得到的多边形铁素体面积率(%) 在表2-1和表2-2中的“圆棒材(钢材)”栏的“多边形铁素体面积率(%)”栏中示出。另外,得到的硬质相面积率(%) 在表2-1和表2-2中的“圆棒材(钢材)”栏的“硬质相面积率(%)”中示出。

[0389] [作为钢近终形材料的坯料圆棒材(钢材)的VP0测定试验]

[0390] 通过下述提取残渣分析法求出各试验编号的圆棒材的VP0(=[析出物中V]/[V])。

[0391] 具体而言,从圆棒材切取约 $1000\text{mm}^3$ (约7.8g)的试样。用切取的试样,通过与上述VP的测定方法相同的方法(提取残渣分析法)求出圆棒材中的[析出物中V](质量%)。根据圆棒材的化学组成的V含量([V])以及[析出物中V]求出VP0。求出的VP0在表2-1和表2-2中的“圆棒材(钢材)”栏的“VP0”栏中示出。

[0392] [钢近终形材料的显微组织观察试验]

[0393] 通过下述方法观察各试验编号的钢近终形材料的显微组织。从各试验编号的钢近终形材料的包含中心轴的中心部选取试验片。将试验片的表面中的与钢近终形材料的长度方向垂直的表面作为观察面。对观察面进行镜面抛光。用3%硝酸乙醇腐蚀液(乙醇+3%硝酸溶液)对研磨后的观察面进行蚀刻。通过与圆棒材(钢材)的显微组织观察相同的方法,使用经蚀刻的观察面,求出钢近终形材料的多边形铁素体面积率(%)和硬质相的面积率(%)。需要说明的是,5个观察视场的位置均为距钢近终形材料的表面至少3mm深的位置。得到的多边形铁素体面积率(%) 在表2-1和表2-2中的“钢近终形材料”栏的“多边形铁素体面积率(%)”栏中示出。另外,得到的硬质相面积率(%) 在表2-1和表2-2中的“钢近终形材料”栏的“硬质相面积率(%)”中示出。

[0394] [钢近终形材料的VP测定试验]

[0395] 通过下述提取残渣分析法求出各试验编号的钢近终形材料的VP(=[析出物中V]/[V])。

[0396] 具体而言,从钢近终形材料切取约 $1000\text{mm}^3$ (约7.8g)的试样。使用切取的试样,通过上述VP的测定方法(提取残渣分析法),求出钢近终形材料中的[析出物中V](质量%)。根据钢近终形材料的化学组成的V含量([V])以及[析出物中V]求出VP。求出的VP在表2-1和表2-2中的“钢近终形材料”栏的“VP”栏中示出。

[0397] [扩散性氢量的测定试验]

[0398] 通过下述方法求出各试验编号的钢近终形材料的扩散性氢量。从钢近终形材料的包含中心轴的部分切取直径7mm、长度40mm的圆棒试验片。对切取的圆棒试验片,使用阴极充氢法导入氢。具体而言,将圆棒试验片浸渍于3%NaCl-3g/LNH<sub>4</sub>SCN水溶液中。然后,在电流密度:0.1mA/cm<sup>2</sup>和通电时间:72小时的条件下,采用阴极充氢法向圆棒试验片导入氢。停

止上述通电的时刻为完成向圆棒试验片导入氢的时刻。在完成向圆棒试验片导入氢后,使用程序升温气相色谱仪,通过下述方法对圆棒试验片中的氢量迅速(即,间隙时间在30分钟以内的期间)进行测定。具体而言,以100℃/小时的升温速度将圆棒试验片从室温加热至400℃。以5分钟为间隔测定通过升温产生的氢量。根据得到的氢量,可得到图1所示的氢释放曲线。使用得到的氢释放曲线,求出室温至350℃之间释放的累积氢量。得到的累积氢量为扩散性氢量(ppm)。得到的扩散性氢量在表2-1和表2-2中的“钢近终形材料”栏的“扩散性氢量(ppm)”栏中示出。

#### [0399] [疲劳试验]

[0400] 通过下述方法测定各试验编号的钢近终形材料的疲劳强度(弯曲疲劳强度)。从钢近终形材料选取多个基于JIS Z 2274(1978)的小野式旋转弯曲疲劳试验片。小野式旋转弯曲疲劳试验片的中心轴与钢近终形材料的中心轴同轴。使用小野式旋转弯曲疲劳试验片,在室温、大气气氛中实施基于JIS Z2274(1978)的小野式旋转弯曲疲劳试验。在疲劳试验中,将旋转次数为3000rpm、应力负荷反复次数为 $10^7$ 循环后没有断裂的最大应力作为疲劳强度(MPa)。得到的疲劳强度在表2-1和表2-2中的“钢近终形材料”栏的“疲劳强度(MPa)”栏中示出。在本实施例中,疲劳强度为480MPa以上时,判断为疲劳强度高。另一方面,疲劳强度小于480MPa时,判断为疲劳强度低。

#### [0401] [拉伸试验]

[0402] 通过下面的方法测定各试验编号的钢近终形材料的拉伸强度。从钢近终形材料的包含中心轴的位置,选取JIS Z 2241(2011)中规定的14A号试验片。试验片的长度方向与钢近终形材料的长度方向大致一致。试验片的平行部的直径为6mm,标点距离为10mm。使用试验片在室温(25℃)的大气中实施拉伸试验,求出拉伸强度(MPa)。得到的拉伸强度在表2-1和表2-2中的“钢近终形材料”栏的“拉伸强度(MPa)”栏中示出。在本实施例中,拉伸强度为845MPa以上时,判断为拉伸强度高。另一方面,拉伸强度小于845MPa时,判断为拉伸强度低。

#### [0403] [试验结果]

[0404] 试验结果在表2-1和表2-2中示出。参见表1-1、表1-2、表2-1和表2-2,试验编号1~48的钢近终形材料的化学组成中的各元素含量在本实施方式的范围。此外,显微组织由20~90%的多边形铁素体以及10~80%的硬质相构成,VP满足式(1)。此外,采用阴极充氢法充氢时的钢近终形材料的扩散性氢量为0.10ppm以上。因此,试验编号1~48的钢近终形材料的疲劳强度为480MPa以上,展现出了高疲劳强度。此外,试验编号1~48的钢近终形材料的拉伸强度为845MPa以上,展现出了高拉伸强度。

[0405] 另一方面,在试验编号49中,C含量过高。因此,在冷加工工序中确认圆棒材(钢材)中有裂纹,冷加工性低。

[0406] 在试验编号50中,C含量过低。因此,钢近终形材料的多边形铁素体面积率过高。此外,钢近终形材料的VP不满足式(1),采用阴极充氢法充氢时的钢近终形材料的扩散性氢量小于0.10ppm。其结果,疲劳强度和拉伸强度低。

[0407] 在试验编号51中,Si含量过低。因此,钢近终形材料的疲劳强度和拉伸强度低。

[0408] 在试验编号52中,Si含量过高。因此,圆棒旋锻材的冷锻性低,不能制造钢近终形材料。

[0409] 在试验编号53和54中,Mn含量过高。因此,在冷加工工序中确认圆棒材(钢材)中有

裂纹,冷加工性低。

[0410] 在试验编号55中,V含量过高。因此,在冷加工工序中确认圆棒材(钢材)中有裂纹,冷加工性低。

[0411] 在试验编号56中,V含量过低。因此,钢近终形材料的VP不满足式(1),采用阴极充氢法充氢时的钢近终形材料的扩散性氢量小于0.10ppm。因此,钢近终形材料的疲劳强度和拉伸强度低。

[0412] 在试验编号57和58中,Cr含量过高。因此,在冷加工工序中确认圆棒材(钢材)中有裂纹,冷加工性低。

[0413] 在试验编号59中,N含量过高。因此,在作为钢近终形材料的坯料圆棒材中,VP0为0.30以上。即,在圆棒材内成为疲劳断裂的起点的粗大的V析出物过多生成。因此,采用阴极充氢法充氢时的钢近终形材料的扩散性氢量小于0.10ppm。因此,钢近终形材料的疲劳强度和拉伸强度低。

[0414] 在试验编号60中,Ti含量过高。因此,在冷加工工序中确认圆棒材(钢材)中有裂纹,冷加工性低。

[0415] 在试验编号61中,Mo含量过高。因此,在冷加工工序中确认圆棒材(钢材)中有裂纹,冷加工性低。

[0416] 在试验编号62、63和80中,冷加工工序中的总加工应变量过低。因此,钢近终形材料的VP不满足式(1)。此外,采用阴极充氢法充氢时的钢近终形材料的扩散性氢量小于0.10ppm。因此,钢近终形材料的疲劳强度和拉伸强度低。

[0417] 在试验编号64、65和81中,虽然冷加工工序中总加工应变量为0.20以上,但是镦粗应变量小于0.05。因此,采用阴极充氢法充氢时的钢近终形材料的扩散性氢量小于0.10ppm。其结果,钢近终形材料的疲劳强度和拉伸强度低。

[0418] 在试验编号66、67和82中,虽然冷加工工序中总加工应变量为0.20以上,但是拉拔应变量小于0.05。因此,采用阴极充氢法充氢时的钢近终形材料的扩散性氢量小于0.10ppm。其结果,钢近终形材料的疲劳强度和拉伸强度低。

[0419] 在试验编号68和83中,时效硬化处理温度过低。因此,钢近终形材料的VP不满足式(1)。此外,采用阴极充氢法充氢时的钢近终形材料的扩散性氢量小于0.10ppm。因此,钢近终形材料的疲劳强度和拉伸强度低。

[0420] 在试验编号69、70和84中,时效硬化处理温度过高。因此,采用阴极充氢法充氢时的钢近终形材料的扩散性氢量小于0.10ppm。其结果,钢近终形材料的疲劳强度和拉伸强度低。

[0421] 在试验编号71和85中,时效硬化处理温度下的保持时间过短。因此,钢近终形材料的VP不满足式(1)。此外,采用阴极充氢法充氢时的钢近终形材料的扩散性氢量小于0.10ppm。因此,钢近终形材料的疲劳强度和拉伸强度低。

[0422] 在试验编号72~75和86中,时效硬化处理温度下的保持时间过长。因此,采用阴极充氢法充氢时的钢近终形材料的扩散性氢量小于0.10ppm。因此,钢近终形材料的疲劳强度和拉伸强度低。

[0423] 在试验编号76中,虽然化学组成中的各元素含量为本实施方式的范围内,但是作为钢近终形材料的坯料圆棒材的多边形铁素体面积率过高。此外,VP0为0.30以上。因此,钢

近终形材料的多边形铁素体面积率过高。此外,采用阴极充氢法充氢时的钢近终形材料的扩散性氢量小于0.10ppm。因此,钢近终形材料的疲劳强度和拉伸强度低。

[0424] 在试验编号77和78中,虽然化学组成中的各元素含量为本实施方式的范围内,但是作为钢近终形材料的坯料圆棒材的多边形铁素体面积率过低。因此,在冷加工工序中确认圆棒材(钢材)中有裂纹,冷加工性低。

[0425] 在试验编号79中,虽然化学组成中的各元素含量为本实施方式的范围内,但是作为钢近终形材料的坯料圆棒材的VP0为0.30以上。因此,采用阴极充氢法充氢时的钢近终形材料的扩散性氢量小于0.10ppm。因此,钢近终形材料的疲劳强度和拉伸强度低。

[0426] 在试验编号87中,虽然化学组成中的各元素含量为本实施方式的范围内,但是没有实施时效硬化处理。因此,钢近终形材料的VP不满足式(1)。此外,采用阴极充氢法充氢时的钢近终形材料的扩散性氢量小于0.10ppm。因此,钢近终形材料的疲劳强度和拉伸强度低。

[0427] 以上说明了本发明的实施方式。然而,上述实施方式只不过是用于实施本发明的例示。因此,本发明并不限于上述的实施方式,在不脱离其主旨的范围内可以对上述实施方式进行适当变形并实施。

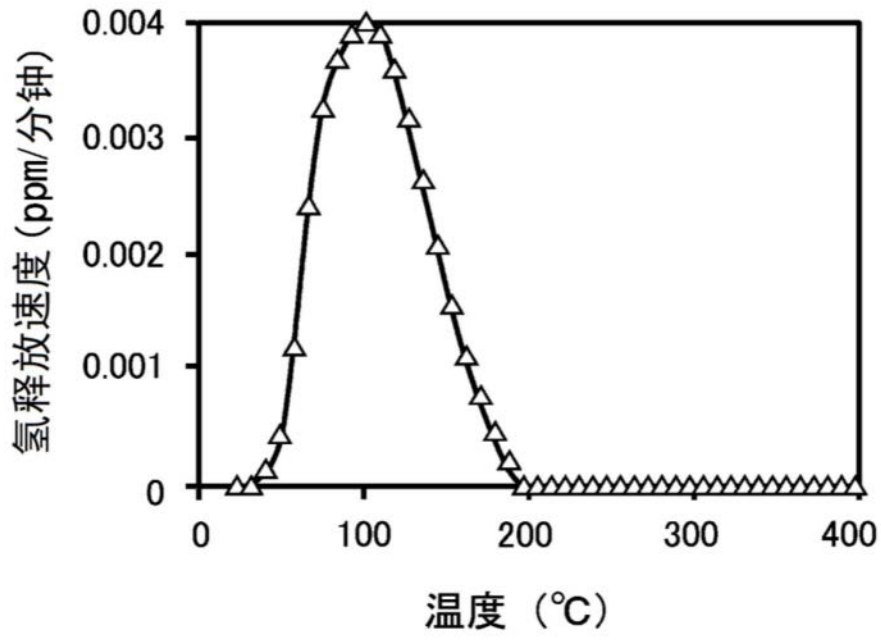


图1