(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 119234050 A
(43)申请公布日 2024.12.31

(21)申请号 202380041634.9
(22)申请日 2023.05.24
(30)优先权数据
2022-084625 2022.05.24 JP
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2024.11.20
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2023/019346 2023.05.24
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2023/228979 JA 2023.11.30
(71)申请人 日本制铁株式会社
地址 日本
(72)发明人 山田健太 小薄孝裕
(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 白银环
(51)Int.Cl.
C22C 38/00(2006.01)
B23K 35/30(2006.01)
C22C 38/58(2006.01)

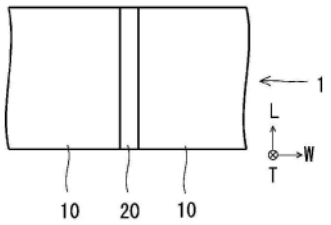
权利要求书3页 说明书33页 附图4页

(54)发明名称

奥氏体系不锈钢合金焊接接头和奥氏体系不锈钢合金焊接材料

(57)摘要

提供含有耐焊接热裂纹性、耐连多硫酸SCC性、耐环烷酸腐蚀性、以及时效韧性优异的焊接金属的奥氏体系不锈钢合金焊接接头。焊接金属(20)以质量%计含有C:0.020%以下、Si:0.01~1.00%、Mn:0.20~2.00%、P:0.030%以下、S:0.010%以下,Cr:16.0~25.0%、Ni:15.0~40.0%、Mo:2.5~5.0%、Nb:0.10~2.00%、N:0.05~0.30%、sol.Al:0.001~0.100%、B:0.0010~0.0050%,以式(1)定义的F1为2.30以下,以式(2)定义的F2为2.5以下。F1=130B+8C+0.025Cr+0.25Mn+0.08Mo+0.6Nb+12P+7.6S+0.78Si+0.012W(1),$F2=[Mo]_H/[Mo]_L$(2)。



CN 119234050 A

1.一种奥氏体系不锈钢合金焊接接头,其具备母材和焊接金属,所述母材的化学组成以质量%计为C:0.030%以下、

Si:0.10~1.00%、

Mn:0.20~2.00%、

P:0.040%以下、

S:0.010%以下、

Cr:16.0~25.0%、

Ni:10.0~30.0%、

Mo:0.1~5.0%、

Nb:0.20~1.00%、

N:0.05~0.30%、

sol.Al:0.001~0.100%、

B:0~0.0080%、

Cu:0~5.00%、

W:0~5.00%、

Co:0~1.00%、

V:0~1.00%、

Ta:0~0.20%、

Hf:0~0.20%、

Ca:0~0.010%、

Mg:0~0.010%、

稀土元素:0~0.100%,并且

余量为Fe和杂质,

所述焊接金属的化学组成以质量%计为C:0.020%以下、

Si:0.01~1.00%、

Mn:0.20~2.00%、

P:0.030%以下、

S:0.010%以下、

Cr:16.0~25.0%、

Ni:15.0~40.0%、

Mo:2.5~5.0%、

Nb:0.10~2.00%、

N:0.05~0.30%、

sol.Al:0.001~0.100%、

B:0.0010~0.0050%、

Cu:0~5.00%、

W:0~5.00%、

Co:0~1.00%、

V:0~1.00%、

Ta:0～0.20%、

Hf:0～0.20%、

Ca:0～0.010%、

Mg:0～0.010%、

稀土元素:0～0.100%,并且

余量为Fe和杂质,

所述焊接金属的以式(1)定义的F1为2.30以下,

在与所述焊接金属的延伸方向垂直的所述焊接金属的截面中,将所述焊接金属的表面的宽度中央部且是所述焊接金属的厚度中央部处的1mm×1mm的正方形区域划分成100μm×100μm的微小正方形区域,求出各微小正方形区域中的以质量%计的Mo含量,在将获得的全部的所述Mo含量的算术平均值定义为$[Mo]_{AVE}$、将获得的全部的所述Mo含量中的比所述$[Mo]_{AVE}$高的Mo含量的算术平均值定义为$[Mo]_{H}$、将获得的全部的所述Mo含量中的比所述$[Mo]_{AVE}$低的Mo含量的算术平均值定义为$[Mo]_{L}$时,

以式(2)定义的F2为2.5以下,

$$F1=130B+8C+0.025Cr+0.25Mn+0.08Mo+0.6Nb+12P+7.6S+0.78Si+0.012W \quad (1)$$

$$F2=[Mo]_{H}/[Mo]_{L} \quad (2)$$

其中,在式(1)中的各元素符号处以质量%计代入所述焊接金属中的对应元素的含量。

2.根据权利要求1所述的奥氏体系不锈钢合金焊接接头,其中,

所述母材的所述化学组成含有选自由

B:0.0001～0.0080%、

Cu:0.01～5.00%、

W:0.01～5.00%、

Co:0.01～1.00%、

V:0.01～1.00%、

Ta:0.01～0.20%、

Hf:0.01～0.20%、

Ca:0.001～0.010%、

Mg:0.001～0.010%、和

稀土元素:0.001～0.100%组成的组中的1种以上元素。

3.根据权利要求1或2所述的奥氏体系不锈钢合金焊接接头,其中,

所述焊接金属的化学组成含有选自由

Cu:0.01～5.00%、

W:0.01～5.00%、

Co:0.01～1.00%、

V:0.01～1.00%、

Ta:0.01～0.20%、

Hf:0.01～0.20%、

Ca:0.001～0.010%、

Mg:0.001～0.010%、和

稀土元素:0～0.100%组成的组中的1种以上元素。

4.一种奥氏体系不锈钢合金焊接材料,其化学组成以质量%计为C:0.020%以下、

Si:0.01～1.00%、

Mn:0.20～2.00%、

P:0.030%以下、

S:0.010%以下、

Cr:16.0～25.0%、

Ni:15.0～40.0%、

Mo:2.5～5.0%、

Nb:0.10～2.00%、

N:0.05～0.30%、

sol.Al:0.001～0.100%、

B:0.0010～0.0050%、

Cu:0～5.00%、

W:0～5.00%、

Co:0～1.00%、

V:0～1.00%、

Ta:0～0.20%、

Hf:0～0.20%、

Ca:0～0.010%、

Mg:0～0.010%、

稀土元素:0～0.100%,并且

余量为Fe和杂质。

奥氏体系不锈钢合金焊接接头和奥氏体系不锈钢合金焊接材料

技术领域

[0001] 本公开涉及焊接接头和焊接材料,进一步详细而言涉及奥氏体系不锈钢合金焊接接头和奥氏体系不锈钢合金焊接材料。

背景技术

[0002] 奥氏体系不锈钢合金焊接接头通过焊接奥氏体系不锈钢合金材来制造。奥氏体系不锈钢合金焊接接头含有焊接金属和由奥氏体系不锈钢合金形成的母材。奥氏体系不锈钢合金焊接接头用于火力锅炉、石油精制以及石油化工厂等化工厂设备的焊接构造物。化工厂设备的焊接构造物例如是蒸馏塔的周边设备、加热炉管、反应管、换热器、配管等。在用于这些化工厂设备的焊接构造物的构件中,存在在600～700℃的高温环境且含有包含硫化物和/或氯化物的腐蚀性流体的环境下使用的构件。在本说明书中,将600～700℃的高温环境且包含含有硫化物和/或氯化物的腐蚀性流体的环境称为“高温腐蚀环境”。

[0003] 在高温腐蚀环境下使用的焊接构造物在化工厂的定期检修时停止运转。在运转停止时,焊接构造物的温度降低到常温。此时,空气、水分、硫化物皮膜反应而在焊接构造物的表面生成连多硫酸。该连多硫酸诱发晶界处的应力腐蚀裂纹(以下,称为连多硫酸SCC)。因而,对于在上述的高温腐蚀环境下使用的焊接接头中的、尤其是焊接金属,要求优异的耐连多硫酸SCC性。

[0004] 另外,在化工厂设备中,在使用了劣质的原油的情况下,存在不仅产生连多硫酸SCC腐蚀、还产生环烷酸腐蚀的情况。环烷酸是具有1个或多个羧基的环式饱和烃。环烷酸不是如连多硫酸那样地引起SCC,而是引起全面腐蚀。因而,对于在上述的工厂设备利用的焊接接头的焊接金属,优选为不仅耐连多硫酸SCC性优异,耐环烷酸腐蚀性也优异。

[0005] 而且,对于在高温环境下长时间使用的焊接接头,存在韧性降低的情况。因而,对于在高温环境下长期使用的焊接接头的焊接金属,要求优异的时效韧性。

[0006] 而且,在要求耐连多硫酸SCC性、耐环烷酸腐蚀性以及时效韧性的焊接接头的焊接金属中,也要求抑制焊接时的焊接热裂纹。

[0007] 因而,对在上述的高温腐蚀环境下使用的奥氏体系不锈钢合金焊接接头的焊接金属要求耐焊接热裂纹性、耐连多硫酸SCC性、耐环烷酸腐蚀性、以及优异的时效韧性。

[0008] 这样的在高温腐蚀环境下使用的合金材由日本特开2003-166039号公报(专利文献1)和国际公开第2009/044802号(专利文献2)提出。

[0009] 专利文献1所公开的奥氏体系耐热钢以质量％计含有C:0.005％以上且小于0.03％、Si:0.05～0.4％、Mn:0.5～2％、P:0.01～0.04％、S:0.0005～0.005％、Cr:18～20％、Ni:7～11％、Nb:0.2～0.5％、V:0.2～0.5％、Cu:2～4％、N:0.10～0.30％、B:0.0005～0.0080％,余量为Fe和不可避免的杂质。Nb和V的含量的总和为0.6％以上,钢中的Nb固溶量为0.15％以上。而且,满足N/14≥Nb/93+V/51和Cr-16C-0.5Nb-V≥17.5。在专利文献1中,通过减少C含量,规定Cr与C、Nb和V之间的关系来提高耐连多硫酸SCC性。

[0010] 专利文献2所公开的奥氏体系不锈钢以质量％计含有C:小于0.04％、Si:1.5％以下、Mn:2％以下、Cr:15～25％、Ni:6～30％、N:0.02～0.35％、Sol.Al:0.03％以下,还含有Nb:0.5％以下、Ti:0.4％以下、V:0.4％以下、Ta:0.2％以下、Hf:0.2％以下、以及Zr:0.2％以下中的1种或两种以上,余量为Fe和杂质。在杂质中,P:0.04％以下,S:0.03％以下,Sn:0.1％以下,As:0.01％以下,Zn:0.01％以下,Pb:0.01％以下,以及Sb:0.01％以下。而且,满足F1＝S+{(P+Sn)/2}+{(As+Zn+Pb+Sb)/5}≤0.075和0.05≤Nb+Ta+Zr+Hf+2Ti+(V/10)≤1.7-9×F1。在专利文献2中,通过将C含量设为小于0.05％来提高耐连多硫酸SCC性。而且,通过减少Nb、Ti这样的C固定化元素,减少钢中的P、S、Sn等晶界脆化元素来提高焊接热影响部(HAZ)处的耐脆化裂纹性。

[0011] 现有技术文献

[0012] 专利文献

[0013] 专利文献1:日本特开2003-166039号公报

[0014] 专利文献2:国际公开第2009/044802号

发明内容

[0015] 发明要解决的问题

[0016] 然而,在专利文献1和专利文献2中,未进行与焊接接头中的焊接金属有关的研究。

[0017] 本公开的目的在于,提供含有耐焊接热裂纹性、耐连多硫酸SCC性、耐环烷酸腐蚀性、以及时效韧性优异的焊接金属的奥氏体系不锈钢合金焊接接头和使用于该奥氏体系不锈钢合金焊接接头的奥氏体系不锈钢合金焊接材料。

[0018] 用于解决问题的方案

[0019] 本公开的奥氏体系不锈钢合金焊接接头具有如下构成。

[0020] 一种奥氏体系不锈钢合金焊接接头,其具备母材和焊接金属,所述母材的化学组成以质量％计为

[0021] C:0.030％以下、

[0022] Si:0.10～1.00％、

[0023] Mn:0.20～2.00％、

[0024] P:0.040％以下、

[0025] S:0.010％以下、

[0026] Cr:16.0～25.0％、

[0027] Ni:10.0～30.0％、

[0028] Mo:0.1～5.0％、

[0029] Nb:0.20～1.00％、

[0030] N:0.05～0.30％、

[0031] sol.Al:0.001～0.100％、

[0032] B:0～0.0080％、

[0033] Cu:0～5.00％、

[0034] W:0～5.00％、

[0035] Co:0～1.00％、

[0036] V:0～1.00％、

[0037] Ta:0～0.20％、

[0038] Hf:0～0.20％、

[0039] Ca:0～0.010％、

[0040] Mg:0～0.010％、

[0041] 稀土元素:0～0.100％,并且

[0042] 余量为Fe和杂质,

[0043] 所述焊接金属的化学组成以质量％计为

[0044] C:0.020％以下、

[0045] Si:0.01～1.00％、

[0046] Mn:0.20～2.00％、

[0047] P:0.030％以下、

[0048] S:0.010％以下、

[0049] Cr:16.0～25.0％、

[0050] Ni:15.0～40.0％、

[0051] Mo:2.5～5.0％、

[0052] Nb:0.10～2.00％、

[0053] N:0.05～0.30％、

[0054] sol.Al:0.001～0.100％、

[0055] B:0.0010～0.0050％、

[0056] Cu:0～5.00％、

[0057] W:0～5.00％、

[0058] Co:0～1.00％、

[0059] V:0～1.00％、

[0060] Ta:0～0.20％、

[0061] Hf:0～0.20％、

[0062] Ca:0～0.010％、

[0063] Mg:0～0.010％、

[0064] 稀土元素:0～0.100％,并且

[0065] 余量为Fe和杂质,

[0066] 所述焊接金属中的以式(1)定义的F1为2.30以下,

[0067] 在与所述焊接金属的延伸方向垂直的所述焊接金属的截面中,将所述焊接金属的表面的宽度中央部且是所述焊接金属的厚度中央部处的1mm×1mm的正方形区域划分成100μm×100μm的微小正方形区域,求出各微小正方形区域中的以质量％计的Mo含量,在将获得的全部的所述Mo含量的算术平均值定义为$[Mo]_{AVE}$、将获得的全部的所述Mo含量中的比所述$[Mo]_{AVE}$高的Mo含量的算术平均值定义为$[Mo]_{H}$、将获得的全部的所述Mo含量中的比所述$[Mo]_{AVE}$低的Mo含量的算术平均值定义为$[Mo]_{L}$时,

[0068] 以式(2)定义的F2为2.5以下,

[0069] $F1=130B+8C+0.025Cr+0.25Mn+0.08Mo+0.6Nb+12P+7.6S+0.78Si+0.012W$ (1)

[0070] $F2=[Mo]_H/[Mo]_L$ (2)

[0071] 其中,在式(1)中的各元素符号处以质量%计代入所述焊接金属中的对应元素的含量。

[0072] 本公开的奥氏体系不锈钢合金焊接材料具有如下构成。

[0073] 一种奥氏体系不锈钢合金焊接材料,其化学组成以质量%计为

[0074] C:0.020%以下、

[0075] Si:0.01~1.00%、

[0076] Mn:0.20~2.00%、

[0077] P:0.030%以下、

[0078] S:0.010%以下、

[0079] Cr:16.0~25.0%、

[0080] Ni:15.0~40.0%、

[0081] Mo:2.5~5.0%、

[0082] Nb:0.10~2.00%、

[0083] N:0.05~0.30%、

[0084] sol.Al:0.001~0.100%、

[0085] B:0.0010~0.0050%、

[0086] Cu:0~5.00%、

[0087] W:0~5.00%、

[0088] Co:0~1.00%、

[0089] V:0~1.00%、

[0090] Ta:0~0.20%、

[0091] Hf:0~0.20%、

[0092] Ca:0~0.010%、

[0093] Mg:0~0.010%、

[0094] 稀土元素:0~0.100%,并且余量为Fe和杂质。

[0095] 发明的效果

[0096] 本公开的奥氏体系不锈钢合金焊接接头的焊接金属的耐焊接热裂纹性、耐连多硫酸SCC性、耐环烷酸腐蚀性、以及时效韧性优异。本公开的奥氏体系不锈钢合金焊接材料成为起到上述的效果的焊接金属的原料。

附图说明

[0097] 图1是表示本实施方式的奥氏体系不锈钢合金焊接接头的一个例子的俯视图。

[0098] 图2是在焊接金属宽度方向上切断图1的奥氏体系不锈钢合金焊接接头的截面图。

[0099] 图3是在焊接金属延伸方向上切断图1的奥氏体系不锈钢合金焊接接头的截面图。

[0100] 图4是与图3不同的、在焊接金属延伸方向上切断奥氏体系不锈钢合金焊接接头的截面图。

[0101] 图5是本实施方式的奥氏体系不锈钢合金焊接接头的与焊接金属延伸方向垂直的截面图。

[0102] 图6是在实施例中用于说明母材的坡口形状的示意图。

[0103] 图7是使用了图6的母材的焊接接头的示意图。

[0104] 图8是表示在实施例中使用的板状试验片的采集位置的示意图。

[0105] 图9是表示在实施例中使用的V型切口试验片的采集位置的示意图。

具体实施方式

[0106] 本发明人等对在奥氏体系不锈钢合金焊接接头的焊接金属中提高耐焊接热裂纹性、耐连多硫酸SCC性、耐环烷酸腐蚀性、以及时效韧性的方法进行了研究。其结果,获得了如下见解。

[0107] 本发明人等首先研究了构成奥氏体系不锈钢合金焊接接头的母材的化学组成。其结果,认为:出于焊接金属的、耐焊接热裂纹性、耐连多硫酸SCC性、耐环烷酸腐蚀性、以及时效韧性的观点考虑,奥氏体系不锈钢合金焊接接头的母材满足如下特征1是合适的。

[0108] (特征1)

[0109] 母材的化学组成以质量%计为C:0.030%以下、Si:0.10~1.00%、Mn:0.20~2.00%、P:0.040%以下、S:0.010%以下、Cr:16.0~25.0%、Ni:10.0~30.0%、Mo:0.1~5.0%、Nb:0.20~1.00%、N:0.05~0.30%、sol.Al:0.001~0.100%、B:0~0.0080%、Cu:0~5.00%、W:0~5.00%、Co:0~1.00%、V:0~1.00%、Ta:0~0.20%、Hf:0~0.20%、Ca:0~0.010%、Mg:0~0.010%、稀土元素:0~0.100%,并且余量为Fe和杂质。

[0110] 本发明人还研究了奥氏体系不锈钢合金焊接接头的焊接金属的化学组成。其结果,认为:通过焊接金属的化学组成满足如下特征2,耐焊接热裂纹性、耐连多硫酸SCC性、耐环烷酸腐蚀性、以及时效韧性提高。

[0111] (特征2)

[0112] 焊接金属的化学组成以质量%计为C:0.020%以下、Si:0.01~1.00%、Mn:0.20~2.00%、P:0.030%以下、S:0.010%以下、Cr:16.0~25.0%、Ni:15.0~40.0%、Mo:2.5~5.0%、Nb:0.10~2.00%、N:0.05~0.30%、sol.Al:0.001~0.100%、B:0.0010~0.0050%、Cu:0~5.00%、W:0~5.00%、Co:0~1.00%、V:0~1.00%、Ta:0~0.20%、Hf:0~0.20%、Ca:0~0.010%、Mg:0~0.010%、稀土元素:0~0.100%,并且余量为Fe和杂质。

[0113] 然而,即使为上述的化学组成的母材和含有上述的化学组成的焊接金属的焊接接头,也依然存在如下情况:在焊接金属中无法充分地获得耐焊接热裂纹性、耐连多硫酸SCC性、耐环烷酸腐蚀性、以及时效韧性中的任一者。焊接金属利用焊接形成。在这一点上,与利用热加工制造的母材不同。因此,在焊接金属中,以与母材不同的方法提高耐焊接热裂纹性、耐连多硫酸SCC性、耐环烷酸腐蚀性、以及时效韧性的做法有效。

[0114] 因此,本发明人等对提高焊接金属中的耐焊接热裂纹性、耐连多硫酸SCC性、耐环烷酸腐蚀性、以及时效韧性的方法进一步进行了研究。其结果,弄清楚了:通过焊接接头的焊接金属还满足如下特征3和特征4,而在焊接接头的焊接金属中充分地提高耐焊接热裂纹性、耐连多硫酸SCC性、耐环烷酸腐蚀性、以及时效韧性。

[0115] (特征3)

[0116] 焊接金属的以式(1)定义的F1为2.30以下。

[0117] $F1=130B+8C+0.025Cr+0.25Mn+0.08Mo+0.6Nb+12P+7.6S+0.78Si+0.012W$ (1)

[0118] 其中,在式(1)中的各元素符号处以质量%计代入焊接金属中的对应元素的含量。

[0119] (特征4)

[0120] 在与焊接金属的延伸方向垂直的焊接金属的截面中,将焊接金属的表面处的宽度中央部且是焊接金属的厚度中央部处的1mm×1mm的正方形区域划分成100μm×100μm的微小正方形区域,求出各微小正方形区域中的以质量%计的Mo含量,在将获得的全部的Mo含量的算术平均值定义为$[Mo]_{AVE}$、将获得的全部的Mo含量中的、比$[Mo]_{AVE}$高的Mo含量的算术平均值定义为$[Mo]_{H}$、将获得的全部的Mo含量中的、比$[Mo]_{AVE}$低的Mo含量的算术平均值定义为$[Mo]_{L}$时,以式(2)定义的F2为2.5以下。

[0121] $F2=[Mo]_{H}/[Mo]_{L}$ (2)

[0122] 基于以上的见解而完成的本实施方式的奥氏体系不锈钢合金焊接接头和奥氏体系不锈钢合金焊接材料具有如下构成。

[0123] [1]一种奥氏体系不锈钢合金焊接接头,其具备母材和焊接金属,所述母材的化学组成以质量%计为

[0124] C:0.030%以下、

[0125] Si:0.10~1.00%、

[0126] Mn:0.20~2.00%、

[0127] P:0.040%以下、

[0128] S:0.010%以下、

[0129] Cr:16.0~25.0%、

[0130] Ni:10.0~30.0%、

[0131] Mo:0.1~5.0%、

[0132] Nb:0.20~1.00%、

[0133] N:0.05~0.30%、

[0134] sol.Al:0.001~0.100%、

[0135] B:0~0.0080%、

[0136] Cu:0~5.00%、

[0137] W:0~5.00%、

[0138] Co:0~1.00%、

[0139] V:0~1.00%、

[0140] Ta:0~0.20%、

[0141] Hf:0~0.20%、

[0142] Ca:0~0.010%、

[0143] Mg:0~0.010%、

[0144] 稀土元素:0~0.100%,并且

[0145] 余量为Fe和杂质,

[0146] 所述焊接金属的化学组成以质量%计为

[0147] C:0.020%以下、

[0148] Si:0.01~1.00%、

[0149] Mn:0.20~2.00%、

[0150] P:0.030%以下、

[0151] S:0.010%以下、

[0152] Cr:16.0～25.0%、

[0153] Ni:15.0～40.0%、

[0154] Mo:2.5～5.0%、

[0155] Nb:0.10～2.00%、

[0156] N:0.05～0.30%、

[0157] sol.Al:0.001～0.100%、

[0158] B:0.0010～0.0050%、

[0159] Cu:0～5.00%、

[0160] W:0～5.00%、

[0161] Co:0～1.00%、

[0162] V:0～1.00%、

[0163] Ta:0～0.20%、

[0164] Hf:0～0.20%、

[0165] Ca:0～0.010%、

[0166] Mg:0～0.010%、

[0167] 稀土元素:0～0.100%,并且

[0168] 余量为Fe和杂质,

[0169] 所述焊接金属的以式(1)定义的F1为2.30以下,

[0170] 在与所述焊接金属的延伸方向垂直的所述焊接金属的截面中,将所述焊接金属的表面处的宽度中央部且是所述焊接金属的厚度中央部处的1mm×1mm的正方形区域划分成100μm×100μm的微小正方形区域,求出各微小正方形区域中的以质量%计的Mo含量,在将获得的全部的所述Mo含量的算术平均值定义为$[Mo]_{AVE}$、将获得的全部的所述Mo含量中的、比所述$[Mo]_{AVE}$高的Mo含量的算术平均值定义为$[Mo]_{H}$、将获得的全部的所述Mo含量中的、比所述$[Mo]_{AVE}$低的Mo含量的算术平均值定义为$[Mo]_{L}$时,

[0171] 以式(2)定义的F2为2.5以下,

[0172] $F1=130B+8C+0.025Cr+0.25Mn+0.08Mo+0.6Nb+12P+7.6S+0.78Si+0.012W$ (1)

[0173] $F2=[Mo]_{H}/[Mo]_{L}$ (2)

[0174] 其中,在式(1)中的各元素符号处以质量%计代入所述焊接金属中的对应元素的含量。

[0175] [2]根据[1]所述的奥氏体系不锈钢合金焊接接头,其中,

[0176] 所述母材的所述化学组成含有选自由

[0177] B:0.0001～0.0080%、

[0178] Cu:0.01～5.00%、

[0179] W:0.01～5.00%、

[0180] Co:0.01～1.00%、

[0181] V:0.01～1.00%、

[0182] Ta:0.01～0.20%、

[0183] Hf:0.01～0.20％、

[0184] Ca:0.001～0.010％、

[0185] Mg:0.001～0.010％、和

[0186] 稀土元素:0.001～0.100％组成的组中的1种以上元素。

[0187] [3]根据[1]或[2]所述的奥氏体系不锈钢合金焊接接头,其中,

[0188] 所述焊接金属的化学组成含有选自由

[0189] Cu:0.01～5.00％、

[0190] W:0.01～5.00％、

[0191] Co:0.01～1.00％、

[0192] V:0.01～1.00％、

[0193] Ta:0.01～0.20％、

[0194] Hf:0.01～0.20％、

[0195] Ca:0.001～0.010％、

[0196] Mg:0.001～0.010％、和

[0197] 稀土元素:0～0.100％组成的组中的1种以上元素。

[0198] [4]一种奥氏体系不锈钢合金焊接材料,其化学组成以质量％计为

[0199] C:0.020％以下、

[0200] Si:0.01～1.00％、

[0201] Mn:0.20～2.00％、

[0202] P:0.030％以下、

[0203] S:0.010％以下、

[0204] Cr:16.0～25.0％、

[0205] Ni:15.0～40.0％、

[0206] Mo:2.5～5.0％、

[0207] Nb:0.10～2.00％、

[0208] N:0.05～0.30％、

[0209] sol.Al:0.001～0.100％、

[0210] B:0.0010～0.0050％、

[0211] Cu:0～5.00％、

[0212] W:0～5.00％、

[0213] Co:0～1.00％、

[0214] V:0～1.00％、

[0215] Ta:0～0.20％、

[0216] Hf:0～0.20％、

[0217] Ca:0～0.010％、

[0218] Mg:0～0.010％、

[0219] 稀土元素:0～0.100％,并且

[0220] 余量为Fe和杂质。

[0221] 以下,详细论述本实施方式的奥氏体系不锈钢合金焊接接头和奥氏体系不锈钢合

金焊接材料。在本说明书中,只要没有特别声明,与元素有关的“%”是指质量%。

[0222] [奥氏体系不锈钢合金焊接接头的构成]

[0223] 图1是表示本实施方式的奥氏体系不锈钢合金焊接接头1的一个例子的俯视图。参照图1,本实施方式的奥氏体系不锈钢合金焊接接头1具备母材10和焊接金属20。焊接金属20为使端部被坡口加工的一对母材10的端部彼此对接后、实施焊接而形成的。焊接例如为TIG焊接(Gas Tungsten Arc Welding:GTAW)、保护金属极电弧焊(Shielded Metal Arc Welding:SMAW)、药芯焊丝电弧焊(Flux Cored Arc Welding:FCAW)、气体金属电弧焊(Gas Metal Arc Welding:GMAW)、埋弧焊(Submerged Arc Welding:SAW)。

[0224] 在图1中,将焊接金属20延伸的方向定义为焊接金属延伸方向L。将在俯视观察时与焊接金属延伸方向L垂直的方向定义为焊接金属宽度方向W。将与焊接金属延伸方向L和焊接金属宽度方向W垂直的方向定义为焊接金属厚度方向T。图2是在焊接金属宽度方向W上切断图1的奥氏体系不锈钢合金焊接接头1的截面图。如图1和图2所示,焊接金属20配置在一对母材10之间。

[0225] 图3是在焊接金属延伸方向L上切断图1的奥氏体系不锈钢合金焊接接头1的截面图。图4是与图3不同的、在焊接金属延伸方向L上切断奥氏体系不锈钢合金焊接接头1的截面图。如图3所示那样,母材10的形状也可以是板材。另外,如图4所示那样,母材10的形状也可以是合金管。母材10的形状也可以是棒材、型钢,不过对此未图示。

[0226] [本实施方式的奥氏体系不锈钢合金焊接接头1的特征]

[0227] 本实施方式的奥氏体系不锈钢合金焊接接头1满足如下特征1～特征4。

[0228] (特征1)

[0229] 母材10的化学组成以质量%计为C:0.030%以下、Si:0.10～1.00%、Mn:0.20～2.00%、P:0.040%以下、S:0.010%以下、Cr:16.0～25.0%、Ni:10.0～30.0%、Mo:0.1～5.0%、Nb:0.20～1.00%、N:0.05～0.30%、sol.Al:0.001～0.100%、B:0～0.0080%、Cu:0～5.00%、W:0～5.00%、Co:0～1.00%、V:0～1.00%、Ta:0～0.20%、Hf:0～0.20%、Ca:0～0.010%、Mg:0～0.010%、稀土元素:0～0.100%,并且余量为Fe和杂质。

[0230] (特征2)

[0231] 焊接金属20的化学组成以质量%计为C:0.020%以下、Si:0.01～1.00%、Mn:0.20～2.00%、P:0.030%以下、S:0.010%以下、Cr:16.0～25.0%、Ni:15.0～40.0%、Mo:2.5～5.0%、Nb:0.10～2.00%、N:0.05～0.30%、sol.Al:0.001～0.100%、B:0.0010～0.0050%、Cu:0～5.00%、W:0～5.00%、Co:0～1.00%、V:0～1.00%、Ta:0～0.20%、Hf:0～0.20%、Ca:0～0.010%、Mg:0～0.010%、稀土元素:0～0.100%,并且余量为Fe和杂质。

[0232] (特征3)

[0233] 焊接金属20的以式(1)定义的F1为2.30以下。

[0234] $F1=130B+8C+0.025Cr+0.25Mn+0.08Mo+0.6Nb+12P+7.6S+0.78Si+0.012W$ (1)

[0235] 其中,在式(1)中的各元素符号处以质量%计代入焊接金属20中的对应元素的含量。

[0236] (特征4)

[0237] 在与焊接金属20的延伸方向垂直的焊接金属的截面中,将焊接金属的表面处的宽度中央部且是焊接金属的厚度中央部处的1mm×1mm的正方形区域划分成100μm×100μm的

微小正方形区域,求出各微小正方形区域中的以质量%计的Mo含量,在将获得的全部的Mo含量的算术平均值定义为$[Mo]_{AVE}$、将获得的全部的Mo含量中的、比$[Mo]_{AVE}$高的Mo含量的算术平均值定义为$[Mo]_{H}$、将获得的全部的Mo含量中的、比$[Mo]_{AVE}$低的Mo含量的算术平均值定义为$[Mo]_{L}$时,以式(2)定义的F2为2.5以下。

[0238] $$F2=[Mo]_{H}/[Mo]_{L} \quad (2)$$

[0239] 以下,各对特征1~特征4进行说明。

[0240] [对于(特征1)母材10的化学组成]

[0241] 本实施方式的奥氏体系不锈钢合金焊接接头1的母材10的化学组成含有如下元素。

[0242] C:0.030%以下

[0243] 不可避免地含有碳(C)。也就是说,C含量大于0%。C在600~700℃的高温腐蚀环境下的使用中在母材10的晶界处生成Cr碳化物($M_{23}C_6$型碳化物)。由于Cr碳化物的生成,因此固溶Cr减少。因此,母材10的耐连多硫酸SCC性降低。因而,C含量为0.030%以下。

[0244] C含量优选尽量低。然而,C含量的过量的减少会提高制造成本。因而,在工业生产上,C含量的优选的下限为0.001%,进一步优选为0.002%。

[0245] C含量的优选的上限为0.025%,进一步优选为0.020%,进一步优选为0.018%,进一步优选为0.016%,进一步优选为0.015%。

[0246] Si:0.10~1.00%

[0247] 硅(Si)使合金脱氧。若Si含量小于0.10%,则即使其他元素含量处于本实施方式的范围内,也无法充分地获得上述效果。另一方面,若Si含量大于1.00%,则sigma相(σ相)在母材10中析出,合金的时效韧性降低。因而,Si含量为0.10~1.00%。

[0248] Si含量的优选的下限为0.15%,进一步优选为0.17%,进一步优选为0.18%,进一步优选为0.20%,进一步优选为0.25%。

[0249] Si含量的优选的上限为0.95%,进一步优选为0.90%,进一步优选为0.85%,进一步优选为0.80%,进一步优选为0.75%,进一步优选为0.70%,进一步优选为0.50%,进一步优选为0.45%。

[0250] Mn:0.20~2.00%

[0251] 锰(Mn)使合金脱氧。Mn还使奥氏体稳定化而抑制母材10的时效韧性的降低。若Mn含量小于0.20%,则即使其他元素含量处于本实施方式的范围内,也无法充分地获得上述效果。另一方面,若Mn含量大于2.00%,则母材10的高温强度降低。因而,Mn含量为0.20~2.00%。

[0252] Mn含量的优选的下限为0.30%,进一步优选为0.35%,进一步优选为0.40%,进一步优选为0.50%,进一步优选为0.60%,进一步优选为0.70%,进一步优选为0.80%。

[0253] Mn含量的优选的上限为1.90%,进一步优选为1.85%,进一步优选为1.80%,进一步优选为1.75%,进一步优选为1.70%,进一步优选为1.60%,进一步优选为1.50%。

[0254] P:0.040%以下

[0255] 磷(P)为不可避免地含有的杂质。也就是说,P含量大于0%。若P含量大于0.040%,则即使其他元素含量处于本实施方式的范围内,母材10的耐焊接热裂纹性也会降低。因而,P含量为0.040%以下。

[0256] P含量优选尽量低。然而,P含量的过量的减少会提高制造成本。因而,在工业生产上,P含量的优选的下限为0.001%,进一步优选为0.002%。

[0257] P含量的优选的上限为0.035%,进一步优选为0.032%,进一步优选为0.028%,进一步优选为0.026%。

[0258] S:0.010%以下

[0259] 硫(S)为不可避免地含有的杂质。也就是说,S含量大于0%。若S含量大于0.010%,则即使其他元素含量处于本实施方式的范围内,母材10的耐焊接热裂纹性也会降低。因而,S含量为0.010%以下。

[0260] S含量优选尽量低。然而,S含量的过量的减少会提高制造成本。因而,在工业生产上,S含量的优选的下限为0.001%。

[0261] S含量的优选的上限为0.007%,进一步优选为0.006%,进一步优选为0.005%,进一步优选为0.004%,进一步优选为0.003%。

[0262] Cr:16.0~25.0%

[0263] 铬(Cr)提高母材10的耐连多硫酸SCC性。若Cr含量小于16.0%,则即使其他元素含量处于本实施方式的范围内,也无法充分地获得上述效果。另一方面,若Cr含量大于25.0%,则母材10的时效韧性降低。因而,Cr含量为16.0~25.0%。

[0264] Cr含量的优选的下限为16.5%,进一步优选为17.0%,进一步优选为17.2%,进一步优选为17.4%。

[0265] Cr含量的优选的上限为24.0%,进一步优选为23.0%,进一步优选为22.0%。

[0266] Ni:10.0~30.0%

[0267] 镍(Ni)使奥氏体稳定化而提高母材10的时效韧性。若Ni含量小于10.0%,则即使其他元素含量处于本实施方式的范围内,也无法充分地获得上述效果。另一方面,若Ni含量大于30.0%,则上述效果饱和,而且,制造成本变高。因而,Ni含量为10.0~30.0%。

[0268] Ni含量的优选的下限为11.0%,进一步优选为12.0%,进一步优选为13.0%,进一步优选为13.5%。

[0269] Ni含量的优选的上限为27.0%,进一步优选为26.0%,进一步优选为25.0%,进一步优选为22.0%,进一步优选为20.0%,进一步优选为18.0%,进一步优选为17.0%。

[0270] Mo:0.1~5.0%

[0271] 对于钼(Mo),在600~700℃的高温腐蚀环境下的使用中,母材10中的固溶Mo与使用环境中的S结合而在母材10的表面形成硫化物覆膜。由于该硫化物覆膜的形成,因此耐环烷酸腐蚀性提高。若Mo含量小于0.1%,则即使其他元素含量处于本实施方式的范围内,也无法充分地获得上述效果。另一方面,若Mo含量大于5.0%,则存在在焊接时在HAZ中产生焊接热裂纹,或者时效韧性降低的情况。因而,Mo含量为0.1~5.0%。

[0272] Mo含量的优选的下限为0.2%,进一步优选为0.3%,进一步优选为0.5%,进一步优选为1.0%,进一步优选为1.5%,进一步优选为2.0%。

[0273] Mo含量的优选的上限为4.5%,进一步优选为4.0%。

[0274] Nb:0.20~1.00%

[0275] 铌(Nb)在600~700℃的高温腐蚀环境下的使用中与C结合而生成MX型碳氮化物,母材10中的固溶C量减少。由此,母材10的耐连多硫酸SCC性提高。若Nb含量小于0.20%,则

即使其他元素含量处于本实施方式的范围内,也无法充分地获得上述效果。另一方面,若Nb含量大于1.00%,则生成δ铁素体,母材10的时效韧性降低。因而,Nb含量为0.20～1.00%。

[0276] Nb含量的优选的下限为0.25%,进一步优选为0.28%,进一步优选为0.30%,进一步优选为0.32%。

[0277] Nb含量的优选的上限为0.90%,进一步优选为0.85%,进一步优选为0.80%,进一步优选为0.70%,进一步优选为0.65%。

[0278] N:0.05～0.30%

[0279] 氮(N)在基体(母相)固溶而使奥氏体稳定化,提高母材10的高温强度。N还在晶粒内形成微细的碳氮化物,提高母材10的高温强度。若N含量小于0.05%,则即使其他元素含量处于本实施方式的范围内,也无法充分地获得上述效果。另一方面,若N含量大于0.30%,则在晶界处生成Cr氮化物。在该情况下,母材10的焊接热影响部(HAZ)处的耐连多硫酸SCC性和耐环烷酸腐蚀性降低。因而,N含量为0.05～0.30%。

[0280] N含量的优选的下限为0.06%,进一步优选为0.07%,进一步优选为0.08%,进一步优选为0.10%。

[0281] N含量的优选的上限为0.25%,进一步优选为0.20%,进一步优选为0.19%。

[0282] sol.Al:0.001～0.100%

[0283] 铝(Al)使合金脱氧。若Al含量小于0.001%,则即使其他元素含量处于本实施方式的范围内,也无法充分地获得上述效果。另一方面,若Al含量大于0.100%,则合金的清洁度降低,合金的加工性和延展性降低。因而,Al含量为0.001～0.100%。

[0284] Al含量的优选的下限为0.002%,进一步优选为0.003%。

[0285] Al含量的优选的上限为0.050%,进一步优选为0.030%,进一步优选为0.026%,进一步优选为0.025%。

[0286] 在本实施方式中,Al含量是指酸溶Al(sol.Al)的含量。

[0287] 本实施方式的奥氏体系不锈钢合金焊接接头1的母材10的化学组成的余量为Fe和杂质。其中,杂质是指,在工业制造上述母材10时,从作为原料的矿石、废料、或制造环境等混入的元素,不是有意地含有的元素,而是在不给本实施方式的奥氏体系不锈钢合金焊接接头1的母材10带来不良影响的范围内允许的元素。

[0288] [任意元素(Optional Elements)]

[0289] 也可以是,本实施方式的奥氏体系不锈钢合金焊接接头1的母材10的化学组成还含有选自由

[0290] B:0～0.0080%、

[0291] Cu:0～5.00%、

[0292] W:0～5.00%、

[0293] Co:0～1.00%、

[0294] V:0～1.00%、

[0295] Ta:0～0.20%、

[0296] Hf:0～0.20%、

[0297] Ca:0～0.010%、

[0298] Mg:0～0.010%、和

[0299] 稀土元素:0～0.100％组成的组中的1种以上元素来替代Fe的一部分。

[0300] 以下,对这些任意元素进行说明。

[0301] [对于第1组:B、Cu、W和Co]

[0302] 也可以是,本实施方式的母材10的化学组成还含有选自由B、Cu、W和Co组成的组中的1种以上元素来替代Fe的一部分。这些元素均为任意元素,也可以不含有。在含有的情况下,B、Cu、W和Co的元素均提高母材10的高温强度。

[0303] B:0～0.0080％

[0304] 硼(B)为任意元素,也可以不含有。也就是说,B也可以是0％。在含有B的情况下,也就是说,在B含量大于0％的情况下,B在600～700℃的高温腐蚀环境下的使用中在晶界处偏析,提高晶界强度。其结果,在600～700℃的高温腐蚀环境下提高母材10的高温强度。只要含有少量的B,就能够某种程度地获得上述效果。另一方面,若B含量大于0.0080％,则会在焊接时提高焊接金属的B含量,焊接金属20的耐焊接热裂纹性降低。因而,B含量为0～0.0080％。

[0305] B含量的优选的下限为0.0001％,进一步优选为0.0005％,进一步优选为0.0010％,进一步优选为0.0015％,进一步优选为0.0018％,进一步优选为0.0020％,进一步优选为0.0022％。

[0306] B含量的优选的上限小于0.0060％,进一步优选为0.0050％,进一步优选为0.0040％。

[0307] Cu:0～5.00％

[0308] 铜(Cu)为任意元素,也可以不含有。也就是说,Cu也可以是0％。在含有Cu的情况下,也就是说,在Cu含量大于0％的情况下,Cu在600～700℃的高温腐蚀环境的使用中作为Cu相在晶粒内析出,由于析出强化而提高母材10的高温强度。只要含有少量的Cu,就能够某种程度地获得上述效果。然而,若Cu含量大于5.00％,则合金的热加工性和焊接性降低。因而,Cu含量为0～5.00％。

[0309] Cu含量的优选的下限为0.01％,进一步优选为0.05％,进一步优选为0.10％,进一步优选为0.50％,进一步优选为1.00％,进一步优选为2.00％,进一步优选为2.50％。

[0310] Cu含量的优选的上限为4.50％,进一步优选为4.00％,进一步优选为3.80％,进一步优选为3.70％,进一步优选为3.60％,进一步优选为3.50％,进一步优选为3.00％。

[0311] W:0～5.00％

[0312] 钨(W)为任意元素,也可以不含有。也就是说,W也可以是0％。在含有W的情况下,也就是说,在W含量大于0％的情况下,W在基体(母相)固溶而提高奥氏体系不锈钢合金焊接接头1的母材10的高温强度。只要含有少量的W,就能够某种程度地获得上述效果。然而,若W含量大于5.00％,则奥氏体的稳定性降低,母材10的时效韧性降低。因而,W含量为0～5.00％。

[0313] W含量的优选的下限为0.01％,进一步优选为0.02％,进一步优选为0.05％,进一步优选为0.10％。

[0314] W含量的优选的上限为4.50％,进一步优选为4.00％,进一步优选为3.50％。

[0315] Co:0～1.00％

[0316] 钴(Co)为任意元素,也可以不含有。也就是说,Co含量也可以是0％。在含有Co的情况下,也就是说,在Co含量大于0％的情况下,Co使奥氏体稳定化而提高奥氏体系不锈钢合

金焊接接头1的母材10的高温强度。只要含有少量的Co,就能够某种程度地获得上述效果。然而,若Co含量大于1.00%,则原料成本提高。因而,Co含量为0~1.00%。

[0317] Co含量的优选的下限为0.01%,进一步优选为0.02%,进一步优选为0.03%,进一步优选为0.10%。

[0318] Co含量的优选的上限为0.90%,进一步优选为0.80%,进一步优选为0.60%。

[0319] [对于第2组:V、Ta和Hf]

[0320] 也可以是,本实施方式的母材10的化学组成还含有选自由V、Ta和Hf组成的组中的1种以上元素来替代Fe的一部分。这些元素均为任意元素,也可以不含有。在含有的情况下,V、Ta和Hf的元素均提高母材10的耐连多硫酸SCC性。

[0321] V:0~1.00%

[0322] 钒(V)为任意元素,也可以不含有。也就是说,V含量也可以是0%。在含有V的情况下,也就是说,在V含量大于0%的情况下,V在600~700℃的高温腐蚀环境下的使用中与C结合而生成碳氮化物。由此,母材10中的固溶C减少,母材10的耐连多硫酸SCC性提高。只要含有少量的V,就能够某种程度地获得上述效果。然而,若V含量大于1.00%,则生成δ铁素体,母材10的时效韧性降低。因而,V含量为0~1.00%。

[0323] V含量的优选的下限为0.01%,进一步优选为0.05%,进一步优选为0.10%。

[0324] V含量的优选的上限为0.90%,进一步优选为0.80%,进一步优选为0.60%,进一步优选为0.40%,进一步优选为0.20%。

[0325] Ta:0~0.20%

[0326] 钽(Ta)为任意元素,也可以不含有。也就是说,Ta含量也可以是0%。在含有Ta的情况下,也就是说,在Ta含量大于0%的情况下,Ta在600~700℃的高温腐蚀环境下的使用中与C结合而生成碳氮化物。由此,母材10中的固溶C减少,母材10的耐连多硫酸SCC性提高。只要含有少量的Ta,就能够某种程度地获得上述效果。然而,若Ta含量大于0.20%,则生成δ铁素体,母材10的时效韧性降低。因而,Ta含量为0~0.20%。

[0327] Ta含量的优选的下限为0.01%,进一步优选为0.02%。

[0328] Ta含量的优选的上限为0.18%,进一步优选为0.16%,进一步优选为0.14%。

[0329] Hf:0~0.20%

[0330] 铪(Hf)为任意元素,也可以不含有。也就是说,Hf含量也可以是0%。在含有Hf的情况下,也就是说,在Hf含量大于0%的情况下,Hf在600~700℃的高温腐蚀环境下的使用中与C结合而生成碳氮化物。由此,母材10中的固溶C减少,母材10的耐连多硫酸SCC性提高。只要含有少量的Hf,就能够某种程度地获得上述效果。然而,若Hf含量大于0.20%,则生成δ铁素体,母材10的蠕变强度、韧性、以及焊接性降低。因而,Hf含量为0~0.20%。

[0331] Hf含量的优选的下限为0.01%,进一步优选为0.02%。

[0332] Hf含量的优选的上限为0.18%,进一步优选为0.16%,进一步优选为0.14%。

[0333] [对于第3组:Ca、Mg和稀土元素]

[0334] 也可以是,本实施方式的母材10的化学组成还含有选自由Ca、Mg和稀土元素(REM)组成的组中的1种以上元素来替代Fe的一部分。这些元素均为任意元素,也可以不含有。在含有的情况下,Ca、Mg和稀土元素均提高母材的热加工性。

[0335] Ca:0~0.010%

[0336] 钙(Ca)为任意元素,也可以不含有。也就是说,Ca含量也可以是0%。在含有Ca的情况下,也就是说,在Ca含量大于0%的情况下,Ca使O(氧)和S(硫)作为夹杂物固定,提高母材10的热加工性。只要含有少量的Ca,就能够某种程度地获得上述效果。然而,若Ca含量大于0.010%,则母材10的热加工性和蠕变延展性降低。因而,Ca含量为0~0.010%。

[0337] Ca含量的优选的下限为0.001%,进一步优选为0.002%。

[0338] Ca含量的优选的上限为0.008%,进一步优选为0.006%,进一步优选为0.004%。

[0339] Mg:0~0.010%

[0340] 镁(Mg)为任意元素,也可以不含有。也就是说,Mg含量也可以是0%。在含有Mg的情况下,也就是说,在Mg含量大于0%的情况下,Mg使O(氧)和S(硫)作为夹杂物固定,提高母材10的热加工性。只要含有少量的Mg,就能够某种程度地获得上述效果。然而,若Mg含量大于0.010%,母材10的热加工性和蠕变延展性降低。因而,Mg含量为0~0.010%。

[0341] Mg含量的优选的下限为0.001%,进一步优选为0.002%。

[0342] Mg含量的优选的上限为0.008%,进一步优选为0.006%,进一步优选为0.004%。

[0343] 稀土元素:0~0.100%

[0344] 稀土元素(REM)为任意元素,也可以不含有。也就是说,REM含量也可以是0%。在含有REM的情况下,也就是说,在REM含量大于0%的情况下,REM使O(氧)和S(硫)作为夹杂物固定,提高母材的热加工性。只要含有少量的REM,就能够某种程度地获得上述效果。然而,若REM含量大于0.100%,则母材的热加工性和蠕变延展性降低。因而,REM含量为0~0.100%。

[0345] REM含量的优选的下限为0.001%,进一步优选为0.002%。

[0346] REM含量的优选的上限为0.080%,进一步优选为0.060%。

[0347] 本说明书中的REM含有Sc、Y、以及镧系元素(原子序数57的La~71的Lu)中的至少一种以上,REM含量是指这些元素的总含量。

[0348] [对于(特征2)焊接金属20的化学组成]

[0349] 图5是本实施方式的奥氏体系不锈钢合金焊接接头1的与焊接金属延伸方向L垂直的截面图。参照图5,在与焊接金属延伸方向L垂直的焊接金属20的截面中,将焊接金属20的表面处的宽度定义为w(mm)。并且,将宽度w的中央部处的焊接金属20的厚度定义为t(mm)。此时,将焊接金属20的宽度中央部且是焊接金属20的厚度中央部(也就是说,距焊接金属20的表面t/2深度部)定义为区域P。将区域P的化学组成定义为焊接金属20的化学组成。焊接金属20的化学组成含有如下元素。

[0350] C:0.020%以下

[0351] 不可避免地含有碳(C)。也就是说,C含量大于0%。C在600~700℃的高温腐蚀环境下的使用中,在焊接金属20的晶界生成Cr碳化物($M_{23}C_6$型碳化物)。由于Cr碳化物的生成,因此固溶Cr减少。因此,降低焊接金属20的耐连多硫酸SCC性。因而,C含量为0.020%以下。

[0352] C含量优选尽量低。然而,C含量的过量的减少会提高制造成本。因而,在工业生产上,C含量的优选的下限为0.001%,进一步优选为0.005%。

[0353] C含量的优选的上限为0.019%,进一步优选为0.018%,进一步优选为0.017%,进一步优选为0.015%。

[0354] Si:0.01~1.00%

[0355] 硅(Si)在焊接时使焊接金属20脱氧。若Si含量小于0.01%,则即使其他元素含量

处于本实施方式的范围内,也无法充分地获得上述效果。另一方面,若Si含量大于1.00%,则焊接金属20的时效韧性降低。因而,Si含量为0.01~1.00%。

[0356] Si含量的优选的下限为0.02%,进一步优选为0.03%,进一步优选为0.05%,进一步优选为0.10%。

[0357] Si含量的优选的上限为0.95%,进一步优选为0.90%,进一步优选为0.80%,进一步优选为0.76%,进一步优选为0.65%,进一步优选为0.40%,进一步优选为0.35%。

[0358] Mn:0.20~2.00%

[0359] 锰(Mn)在焊接时使焊接金属20脱氧。若Mn含量小于0.20%,则即使其他元素含量处于本实施方式的范围内,也无法充分地获得上述效果。另一方面,若Mn含量大于2.00%,则焊接金属20的高温强度降低。因而,Mn含量为0.20~2.00%。

[0360] Mn含量的优选的下限为0.25%,进一步优选为0.28%,进一步优选为0.30%,进一步优选为0.35%,进一步优选为0.40%。

[0361] Mn含量的优选的上限为1.90%,进一步优选为1.85%,进一步优选为1.80%,进一步优选为1.75%,进一步优选为1.70%,进一步优选为1.50%,进一步优选为1.30%。

[0362] P:0.030%以下

[0363] 磷(P)为不可避免地含有的杂质。也就是说,P含量大于0%。若P含量大于0.030%,则即使其他元素含量处于本实施方式的范围内,焊接金属20的耐焊接热裂纹性也会降低。因而,P含量为0.030%以下。

[0364] P含量优选尽量低。然而,P含量的过量的减少会提高制造成本。因而,在工业生产上,P含量的优选的下限为0.001%,进一步优选为0.002%,进一步优选为0.003%。

[0365] P含量的优选的上限为0.025%,进一步优选为0.020%。

[0366] S:0.010%以下

[0367] 硫(S)为不可避免地含有的杂质。也就是说,S含量大于0%。若S含量大于0.010%,则即使其他元素含量处于本实施方式的范围内,也会降低焊接金属20的耐焊接热裂纹性。因而,S含量为0.010%以下。

[0368] S含量优选尽量低。然而,S含量的过量的减少会提高制造成本。因而,在工业生产上,S含量的优选的下限为0.001%,进一步优选为0.002%。

[0369] S含量的优选的上限为0.009%,进一步优选为0.007%。

[0370] Cr:16.0~25.0%

[0371] 铬(Cr)提高焊接金属20的耐连多硫酸SCC性。若Cr含量小于16.0%,则即使其他元素含量处于本实施方式的范围内,也无法充分地获得上述效果。另一方面,若Cr含量大于25.0%,则焊接金属20的时效韧性降低。因而,Cr含量为16.0~25.0%。

[0372] Cr含量的优选的下限为16.5%,进一步优选为17.0%。

[0373] Cr含量的优选的上限为24.5%,进一步优选为24.0%,进一步优选为23.5%,进一步优选为23.0%。

[0374] Ni:15.0~40.0%

[0375] 镍(Ni)使奥氏体稳定化而提高焊接金属20的时效韧性。若Ni含量小于15.0%,则即使其他元素含量处于本实施方式的范围内,也无法充分地获得上述效果。另一方面,若Ni含量大于40.0%,则上述效果饱和,而且,制造成本变高。因而,Ni含量为15.0~40.0%。

[0376] Ni含量的优选的下限为15.5%,进一步优选为16.0%,进一步优选为17.0%,进一步优选为18.0%,进一步优选为19.0%。

[0377] Ni含量的优选的上限为39.0%,进一步优选为38.0%,进一步优选为36.5%,进一步优选为35.0%,进一步优选为33.0%。

[0378] Mo:2.5~5.0%

[0379] 钼(Mo)在600~700℃的高温腐蚀环境下的使用中抑制在焊接金属20中的晶界处生成Cr碳化物($M_{23}C_6$型碳化物)。由此,提高焊接金属20的耐连多硫酸SCC性。对于Mo,还在高温腐蚀环境下的焊接接头的使用中,焊接金属20中的固溶Mo与使用环境中的S结合而在焊接金属20的表面形成硫化物覆膜。由于该硫化物覆膜的形成,因此焊接金属20的耐环烷酸腐蚀性提高。若Mo含量小于2.5%,则即使其他元素含量处于本实施方式的范围内,也无法充分地获得上述效果。另一方面,若Mo含量大于5.0%,则无法获得充分的时效韧性。因而,Mo含量为2.5~5.0%。

[0380] Mo含量的优选的下限为2.6%,进一步优选为2.7%,进一步优选为2.8%。

[0381] Mo含量的优选的上限为4.5%,进一步优选为4.0%。

[0382] Nb:0.10~2.00%

[0383] 铌(Nb)在600~700℃的高温腐蚀环境下的使用中与C结合而生成MX型碳氮化物,减少焊接金属20中的固溶C量。由此,焊接金属20的耐连多硫酸SCC性提高。另外,所生成的Nb的MX型碳氮化物还提高蠕变强度。若Nb含量小于0.10%,则即使其他元素含量处于本实施方式的范围内,也无法充分地获得上述效果。另一方面,若Nb含量大于2.00%,则生成δ铁素体,焊接金属20的长时间蠕变强度、韧性、以及焊接性降低。因而,Nb含量为0.10~2.00%。

[0384] Nb含量的优选的下限为0.11%,进一步优选为0.12%,进一步优选为0.15%,进一步优选为0.20%。

[0385] Nb含量的优选的上限为1.90%,进一步优选为1.80%,进一步优选为1.40%,进一步优选为1.00%,进一步优选为0.75%,进一步优选为0.70%,进一步优选为0.65%。

[0386] N:0.05~0.30%

[0387] 氮(N)在基体(母相)固溶而使奥氏体稳定化,提高焊接金属20的高温强度。N还在晶粒内形成微细的碳氮化物,提高焊接金属20的高温强度。若N含量小于0.05%,则即使其他元素含量处于本实施方式的范围内,也无法充分地获得上述效果。另一方面,若N含量大于0.30%,则在晶界处形成Cr氮化物,在焊接金属20中,耐连多硫酸SCC性和耐环烷酸腐蚀性降低。因而,N含量为0.05~0.30%。

[0388] N含量的优选的下限为0.06%,进一步优选为0.07%,进一步优选为0.08%,进一步优选为0.10%。

[0389] N含量的优选的上限为0.28%,进一步优选为0.25%。

[0390] sol.Al:0.001~0.100%

[0391] 铝(Al)在焊接时使焊接金属20脱氧。若Al含量小于0.001%,则即使其他元素含量处于本实施方式的范围内,也无法充分地获得上述效果。另一方面,若Al含量大于0.100%,则焊接金属20的延展性降低。因而,Al含量为0.001~0.100%。

[0392] Al含量的优选的下限为0.002%,进一步优选为0.010%。

[0393] Al含量的优选的上限为0.085％,进一步优选为0.080％,进一步优选为0.060％,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％。

[0394] 在本实施方式中,Al含量是指酸溶Al(sol.Al)的含量。

[0395] B:0.0010～0.0050％

[0396] 硼(B)在600～700℃的高温腐蚀环境下的使用中在晶界处偏析,提高晶界强度。其结果,在600～700℃的高温腐蚀环境下,提高焊接金属20的高温强度。若B含量小于0.0010％,则即使其他元素含量处于本实施方式的范围内,也无法充分地获得上述效果。另一方面,若B含量大于0.0050％,则焊接金属20的耐焊接热裂纹性降低。因而,B含量为0.0010～0.0050％。

[0397] B含量的优选的下限为0.0011％,进一步优选为0.0012％,进一步优选为0.0015％,进一步优选为0.0020％,进一步优选为0.0030％。若焊接金属20中的B含量为0.0030％以上,则尤其能够在焊接接头1中获得优异的蠕变强度。

[0398] B含量的优选的上限为0.0045％,进一步优选为0.0040％,进一步优选为0.0035％。

[0399] 本实施方式的奥氏体系不锈钢合金焊接接头1的焊接金属20的化学组成的余量为Fe和杂质。其中,杂质是指,在形成上述焊接金属20时从作为原料的焊接材料、焊接时的环境混入的元素,不是有意地含有的元素,而是在不给上述焊接金属20带来不良影响的范围内允许的元素。

[0400] [任意元素(Optional Elements)]

[0401] 本实施方式的奥氏体系不锈钢合金焊接接头1的焊接金属20的化学组成还含有选自由

[0402] Cu:0～5.00％、

[0403] W:0～5.00％、

[0404] Co:0～1.00％、

[0405] V:0～1.00％、

[0406] Ta:0～0.20％、

[0407] Hf:0～0.20％、

[0408] Ca:0～0.010％、

[0409] Mg:0～0.010％、和

[0410] 稀土元素:0～0.100％组成的组中的1种以上元素来替代Fe的一部分。

[0411] 以下,对这些任意元素进行说明。

[0412] [对于第1组:Cu、W和Co]

[0413] 也可以是,本实施方式的焊接金属20的化学组成还含有选自由Cu、W和Co组成的组中的1种以上元素来替代Fe的一部分。这些元素均提高焊接金属20的蠕变强度。

[0414] Cu:0～5.00％

[0415] 铜(Cu)为任意元素,也可以不含有。也就是说,Cu也可以是0％。在含有Cu的情况下,也就是说,在Cu含量大于0％的情况下,Cu在600～700℃的高温腐蚀环境下的使用中作为Cu相在晶粒内析出,由于析出强化而提高焊接金属20的高温强度。只要含有少量的Cu,就

能够某种程度地获得上述效果。然而,若Cu含量大于5.00%,则合金的焊接性降低。因而,Cu含量为0～5.00%。

[0416] Cu含量的优选的下限为0.01%,进一步优选为0.05%,进一步优选为0.10%,进一步优选为0.50%,进一步优选为1.00%,进一步优选为2.00%,进一步优选为2.50%。

[0417] Cu含量的优选的上限为4.50%,进一步优选为4.00%,进一步优选为3.80%,进一步优选为3.70%,进一步优选为3.60%,进一步优选为3.50%,进一步优选为1.90%。

[0418] W:0～5.00%

[0419] 钨(W)为任意元素,也可以不含有。也就是说,W也可以是0%。在含有W的情况下,也就是说,在W含量大于0%的情况下,W在基体(母相)固溶而提高焊接金属20的高温强度。只要含有少量的W,就能够某种程度地获得上述效果。然而,若W含量大于5.00%,则奥氏体的稳定性降低,焊接金属20的时效韧性降低。因而,W含量为0～5.00%。

[0420] W含量的优选的下限为0.01%,进一步优选为0.02%,进一步优选为0.05%,进一步优选为0.10%。

[0421] W含量的优选的上限为4.50%,进一步优选为4.00%,进一步优选为3.80%,进一步优选为3.50%。

[0422] Co:0～1.00%

[0423] 钴(Co)为任意元素,也可以不含有。也就是说,Co含量也可以是0%。在含有Co的情况下,也就是说,在Co含量大于0%的情况下,Co使奥氏体稳定化而提高焊接金属20的高温强度。只要含有少量的Co,就能够某种程度地获得上述效果。然而,若Co含量大于1.00%,则原料成本提高。因而,Co含量为0～1.00%。

[0424] Co含量的优选的下限为0.01%,进一步优选为0.02%,进一步优选为0.03%,进一步优选为0.10%。

[0425] Co含量的优选的上限为0.90%,进一步优选为0.80%,进一步优选为0.60%,进一步优选为0.50%,进一步优选为0.45%。

[0426] [对于第2组:V、Ta和Hf]

[0427] 也可以是,本实施方式的焊接金属20的化学组成还含有选自由V、Ta和Hf组成的组中的1种以上元素来替代Fe的一部分。这些元素均为任意元素,也可以不含有。在含有的情况下,V、Ta以及Hf的元素均提高焊接金属20的耐连多硫酸SCC性。

[0428] V:0～1.00%

[0429] 钒(V)为任意元素,也可以不含有。也就是说,V含量也可以是0%。在含有V的情况下,也就是说,在V含量大于0%的情况下,V在600～700℃的高温腐蚀环境下的使用中与C结合而生成碳氮化物。由此,焊接金属20中的固溶C减少,焊接金属20的耐连多硫酸SCC性提高。只要含有少量的V,就能够某种程度地获得上述效果。然而,若V含量大于1.00%,则生成δ铁素体,焊接金属20的时效韧性降低。因而,V含量为0～1.00%。

[0430] V含量的优选的下限为0.01%,进一步优选为0.05%,进一步优选为0.10%。

[0431] V含量的优选的上限为0.90%,进一步优选为0.80%,进一步优选为0.60%,进一步优选为0.40%,进一步优选为0.20%,进一步优选为0.15%,进一步优选为0.10%。

[0432] Ta:0～0.20%

[0433] 钽(Ta)为任意元素,也可以不含有。也就是说,Ta含量也可以是0%。在含有Ta的情

况下,也就是说,在Ta含量大于0%的情况下,Ta在600～700℃的高温腐蚀环境下的使用中与C结合而生成碳氮化物。由此,焊接金属20中的固溶C减少,焊接金属20的耐连多硫酸SCC性提高。只要含有少量的Ta,就能够某种程度地获得上述效果。然而,若Ta含量大于0.20%,则生成δ铁素体,焊接金属20的时效韧性降低。因而,Ta含量为0～0.20%。

[0434] 用于进一步有效地提高耐连多硫酸SCC性的Ta含量的优选的下限为0.01%,进一步优选为0.02%。

[0435] Ta含量的优选的上限为0.18%,进一步优选为0.16%,进一步优选为0.14%。

[0436] Hf:0～0.20%

[0437] 铪(Hf)为任意元素,也可以不含有。也就是说,Hf含量也可以是0%。在含有Hf的情况下,也就是说,在Hf含量大于0%的情况下,Hf在600～700℃的高温腐蚀环境下的使用中与C结合而生成碳氮化物。由此,焊接金属20中的固溶C减少,焊接金属20的耐连多硫酸SCC性提高。只要含有少量的Hf,就能够某种程度地获得上述效果。然而,若Hf含量大于0.20%,则生成δ铁素体,焊接金属20的蠕变强度、韧性、以及焊接性降低。因而,Hf含量为0～0.20%。

[0438] Hf含量的优选的下限为0.01%,进一步优选为0.02%。

[0439] Hf含量的优选的上限为0.18%,进一步优选为0.16%,进一步优选为0.14%。

[0440] [对于第3组:Ca、Mg和稀土元素]

[0441] 也可以是,本实施方式的焊接金属20的化学组成还含有选自由Ca、Mg和稀土元素组成的组中的1种以上元素来替代Fe的一部分。这些元素均为任意元素,也可以不含有。在含有的情况下,Ca、Mg以及稀土元素均提高焊接金属20的延展性。

[0442] Ca:0～0.010%

[0443] 钙(Ca)为任意元素,也可以不含有。也就是说,Ca含量也可以是0%。在含有Ca的情况下,也就是说,在Ca含量大于0%的情况下,Ca使O(氧)和S(硫)作为夹杂物固定,提高焊接金属20的延展性。只要含有少量的Ca,就能够某种程度地获得上述效果。然而,若Ca含量大于0.010%,则焊接金属20的延展性降低。因而,Ca含量为0～0.010%。

[0444] Ca含量的优选的下限大于0%,进一步优选为0.001%,进一步优选为0.002%。

[0445] Ca含量的优选的上限为0.008%,进一步优选为0.006%,进一步优选为0.004%。

[0446] Mg:0～0.010%

[0447] 镁(Mg)为任意元素,也可以不含有。也就是说,Mg含量也可以是0%。在含有Mg的情况下,也就是说,在Mg含量大于0%的情况下,Mg使O(氧)和S(硫)作为夹杂物固定,提高焊接金属20的延展性。只要含有少量的Mg,就能够某种程度地获得上述效果。然而,若Mg含量大于0.010%,则焊接金属20的延展性降低。因而,Mg含量为0～0.010%。

[0448] Mg含量的优选的下限大于0%,进一步优选为0.001%,进一步优选为0.002%。

[0449] Mg含量的优选的上限为0.008%,进一步优选为0.006%,进一步优选为0.004%。

[0450] 稀土元素:0～0.100%

[0451] 稀土元素(REM)为任意元素,也可以不含有。也就是说,REM含量也可以是0%。在含有REM的情况下,也就是说,在REM含量大于0%的情况下,REM使O(氧)和S(硫)作为夹杂物固定,提高焊接金属20的延展性。只要含有少量的REM,就能够某种程度地获得上述效果。然而,若REM含量大于0.100%,则焊接金属20的延展性降低。因而,REM含量为0～0.100%。

[0452] REM含量的优选的下限大于0％,进一步优选为0.001％,进一步优选为0.002％。

[0453] REM含量的优选的上限为0.080％,进一步优选为0.060％。

[0454] [对于(特征3)焊接金属20中的F1]

[0455] 在焊接金属20中进一步地,以式(1)定义的F1为2.30以下。

[0456] F1＝130B+8C+0.025Cr+0.25Mn+0.08Mo+0.6Nb+12P+7.6S+0.78Si+0.012W(1)

[0457] 在式(1)中的各元素符号处代入对应元素的含量(质量％)。

[0458] F1为与焊接金属20的耐焊接热裂纹性有关的指标。B、C、Cr、Mn、Mo、Nb、P、S、Si、以及W均为在焊接时促进焊接热裂纹的元素。若由这些元素含量构成的F1大于2.30,则即使满足其他特征1、特征2、特征4,在焊接时,焊接金属20中的耐焊接热裂纹性也会降低。

[0459] 若F1为2.30以下,则以满足其他特征1、特征2、特征4为前提,而在焊接金属20中获得充分的耐焊接热裂纹性。因而,F1为2.30以下。

[0460] F1的优选的上限为2.28,进一步优选为2.25,进一步优选为2.22,进一步优选为2.20,进一步优选为2.18,进一步优选为2.15,进一步优选为2.10,进一步优选为2.05。此外,F1为使获得的值的小数点后第三位四舍五入而获得的值(小数点后第二位的值)。

[0461] [对于(特征4)焊接金属20中的F2]

[0462] 在与焊接金属20的延伸方向垂直的焊接金属的截面中,将焊接金属的表面处的宽度中央部且是焊接金属的厚度中央部处的1mm×1mm的正方形区域划分成100μm×100μm的微小正方形区域,求出各微小正方形区域中的以质量％计的Mo含量,在将获得的全部的Mo含量的算术平均值定义为$[Mo]_{AVE}$、将获得的全部的Mo含量中的、比$[Mo]_{AVE}$高的Mo含量的算术平均值定义为$[Mo]_{H}$、将获得的全部的Mo含量中的、比$[Mo]_{AVE}$低的Mo含量的算术平均值定义为$[Mo]_{L}$时,以式(2)定义的F2为2.5以下。

[0463] $F2=[Mo]_{H}/[Mo]_{L}$ (2)

[0464] F2为焊接金属20的正方形区域中的、与Mo偏析度有关的指标。在本实施方式的奥氏体系不锈钢合金焊接接头1中,为了提高耐环烷酸腐蚀性,Mo含量较高。Mo虽然提高耐环烷酸腐蚀性,但易于在晶界处偏析。

[0465] $[Mo]_{H}$是指在正方形区域中Mo含量比平均值$[Mo]_{AVE}$高的区域中的Mo含量。也就是说,$[Mo]_{H}$为偏析的Mo含量的指标。另一方面,$[Mo]_{L}$是指在正方形区域中Mo含量比平均值$[Mo]_{AVE}$低的区域中的Mo含量。也就是说,$[Mo]_{L}$为除Mo偏析的区域以外的其他区域中的Mo含量的指标。

[0466] 若F2提高,则正方形区域中的Mo的偏析度较高。也就是说,认为晶界处的Mo偏析度较高。在该情况下,晶界处的Mo浓度较高,晶粒内的Mo浓度变低。因此,晶界的强度相比于晶粒内的强度过量地变高。也就是说,焊接金属20中的晶界强度与晶粒内强度的差值变大。其结果,无法充分地获得耐环烷酸腐蚀性和时效韧性。

[0467] 若F2为2.5以下,则充分地抑制正方形区域中的Mo的偏析度。因此,焊接金属20中的晶界强度与晶粒内强度的差值变小。其结果,能够获得充分的耐环烷酸腐蚀性和充分的时效韧性。

[0468] F2的优选的上限为2.4,进一步优选为2.3,进一步优选为2.2,进一步优选为2.1,进一步优选为2.0,进一步优选为1.8,进一步优选为1.6,进一步优选为1.4。

[0469] [F2测量方法]

[0470] 能够利用如下方法测量F2。

[0471] 参照图5,在与焊接金属延伸方向L垂直的焊接金属20的截面中,确定作为焊接金属20的表面处的宽度中央部且是作为焊接金属20的厚度中央部的区域P。而且,在区域P中,采集具有包括1mm×1mm的正方形区域的表面(观察面)的试验片。对试验片的观察面进行镜面研磨。从镜面研磨后的观察面选择任意的正方形区域。对选择出的正方形区域实施使用场发射型电子探针显微分析仪(FE-EPMA)的面分析。具体而言,将正方形区域划分成100μm×100μm的微小正方形区域。并且,对各微小正方形实施元素分析。将加速电压设为15kV,将照射电流设为400nA,将光束直径设为2μm,将累计时间设为0.1秒。将测量对象元素设为Mo,求出各微小正方形区域中的以质量%计的Mo含量。将获得的全部的Mo含量(质量%)的算术平均值定义为$[Mo]_{AVE}$。

[0472] 划分测量出的全部的Mo含量中的、比$[Mo]_{AVE}$高的Mo含量的微小正方形区域和比$[Mo]_{AVE}$低的Mo含量的微小正方形区域。排除与$[Mo]_{AVE}$相同的Mo含量的微小正方形区域。

[0473] 将比$[Mo]_{AVE}$高的Mo含量的微小正方形区域中的Mo含量的算术平均值定义为$[Mo]_{H}$。将比$[Mo]_{AVE}$低的Mo含量的微小正方形区域中的Mo含量的算术平均值定义为$[Mo]_{L}$。基于获得的$[Mo]_{H}$和$[Mo]_{L}$,使用式(2)而求出F2。

[0474] [对于本实施方式的奥氏体系不锈钢合金焊接材料]

[0475] 作为本实施方式的奥氏体系不锈钢合金焊接接头1的焊接金属20的焊接材料,使用化学组成以质量%计为C:0.020%以下、Si:0.01~1.00%、Mn:0.20~2.00%、P:0.030%以下、S:0.010%以下、Cr:16.0~25.0%、Ni:15.0~40.0%、Mo:2.5~5.0%、Nb:0.10~2.00%、N:0.05~0.30%、sol.Al:0.001~0.100%、B:0.0010~0.0050%、Cu:0~5.00%、W:0~5.00%、Co:0~1.00%、V:0~1.00%、Ta:0~0.20%、Hf:0~0.20%、Ca:0~0.010%、Mg:0~0.010%、稀土元素:0~0.100%、以及余量为Fe和杂质的、奥氏体系不锈钢合金焊接材料。奥氏体系不锈钢合金焊接材料的化学组成中的各元素的作用、优选的下限、以及优选的上限与焊接金属20的化学组成中的各元素的作用、优选的下限、以及优选的上限相同。

[0476] 通过以后述的焊接方法将具有上述的化学组成的奥氏体系不锈钢合金焊接材料与母材10焊接来形成焊接金属20。在奥氏体系不锈钢合金焊接材料的化学组成脱离上述的范围的情况下,无法形成焊接金属20。

[0477] [奥氏体系不锈钢合金焊接接头1的效果]

[0478] 本实施方式的奥氏体系不锈钢合金焊接接头1满足特征1~特征4。因此,在焊接金属20中,能够获得充分的耐焊接热裂纹性,能够获得充分的耐连多硫酸SCC性,能够获得充分的耐环烷酸腐蚀性,以及能够获得充分的时效韧性。

[0479] [制造方法]

[0480] 说明本实施方式的奥氏体系不锈钢合金焊接接头1的制造方法的一个例子。以后说明的奥氏体系不锈钢合金焊接接头1的制造方法为用于制造本实施方式的奥氏体系不锈钢合金焊接接头1的一个例子。因而,具有上述的构成的奥氏体系不锈钢合金焊接接头1也可以利用除以后说明的制造方法以外的其他制造方法制造。然而,以后说明的制造方法为本实施方式的奥氏体系不锈钢合金焊接接头1的制造方法的优选的一个例子。

[0481] 制造方法的一个例子包括如下工序。

[0482] (工序1)母材准备工序

[0483] (工序2)焊接工序

[0484] 以下,对工序1和2进行说明。

[0485] [(工序1)母材准备工序]

[0486] 在母材准备工序中,准备满足特征1的母材10。母材10的形状并没有特别限定。如上所述,母材10可以是合金板,也可以是合金管。母材10可以是棒材,也可以是型钢。

[0487] 在制造母材10的情况下,母材准备工序包括如下工序。

[0488] (工序11)准备工序

[0489] (工序12)热加工工序

[0490] (工序13)冷加工工序

[0491] (工序14)固溶化处理工序

[0492] 以下,对工序11~工序14进行说明。

[0493] [(工序11)准备工序]

[0494] 制造满足特征1的熔融合金。例如,使用电炉、AOD(氩氧脱碳:Argon Oxygen Decarburization)炉、VOD(真空脱碳:Vacuum Oxygen Decarburization)炉而制造上述熔融合金。根据需要对制造出的熔融合金实施众所周知的脱气处理。从实施了脱气处理的熔融合金制造坯料。坯料的制造方法例如为连续铸造法。利用连续铸造法制造连续铸造材(坯料)。连续铸造材例如为板坯、大钢坯以及钢坯等。也可以利用铸锭法使熔融合金成为铸锭。

[0495] [(工序12)热加工工序]

[0496] 对准备的坯料(连续铸造材或铸锭)进行热加工而制造母材。例如,对坯料实施热轧而制造作为母材10的合金板。另外,对坯料实施热挤压、热穿孔轧制等而制造作为母材10的合金管。热加工的具体的方法并没有特别限定,实施与最终产品的形状相应的热加工即可。热加工的加工结束温度例如为1000℃以上,进一步优选为为1050℃以上。在此所谓的加工结束温度是指,刚刚完成了最终的热加工之后的母材10的温度。

[0497] [(工序13)冷加工工序]

[0498] 也可以根据需要对热加工工序后的母材实施冷加工。在母材10为合金管的情况下,冷加工例如为冷拔、冷轧。在母材10为合金板的情况下,冷加工例如为冷轧等。

[0499] [(工序14)固溶化处理工序]

[0500] 也可以是,在热加工工序后,或者在冷加工工序后,根据需要对母材10实施固溶化处理。在固溶化处理工序中,进行组织的均匀化和碳氮化物的固溶。优选的固溶化处理温度为1000~1250℃。上述固溶化处理温度的保持时间并没有特别限定,例如为2分钟~60分钟。

[0501] [(工序2)焊接工序]

[0502] 对准备的母材10实施焊接而制造奥氏体系不锈钢合金焊接接头1。在母材10的端部形成坡口。准备形成有坡口的两个母材10。使准备的母材10的坡口彼此对接。并且,使用具有上述的化学组成的奥氏体系不锈钢合金焊接材料而对所对接的一对坡口部实施焊接,形成具有上述的化学组成的焊接金属20。

[0503] 此外,利用以下的方法制造奥氏体系不锈钢合金焊接材料。制造具有上述的化学组成的熔融合金。例如,使用电炉、AOD炉、VOD炉而制造上述熔融合金。根据需要对制造出的熔融合金实施众所周知的脱气处理。从实施了脱气处理的熔融合金制造坯料(连续铸造材、

或铸锭)。对坯料实施众所周知的热加工而制造丝状的奥氏体系不锈钢合金焊接材料。

[0504] 使用了奥氏体系不锈钢合金焊接材料的母材10的焊接方法例如为TIG焊接(GTAW)、保护金属极电弧焊(SMAW)、药芯焊丝电弧焊(FCAW)、气体金属电弧焊(GMAW)、埋弧焊(SAW)。

[0505] 在焊接工序中,在母材10为合金板的情况下,例如,在合金板的端面或侧面形成坡口。在母材10为合金管的情况下,在合金管的轴向上的管端部形成坡口。在母材10为合金管的情况下,例如,通过实施环缝焊接来形成奥氏体系不锈钢合金焊接接头1。

[0506] 在焊接工序中,以满足如下条件的方式实施焊接。

[0507] (条件1)热量输入量:3.0kJ/mm以下

[0508] (条件2)层间温度:150℃以下

[0509] (条件3)在将焊接时的1300℃下的冷却速度设为CR(℃/秒)、将焊接速度设为V(mm/秒)时,以如下式定义的FA比0.60大。

[0510] $FA=V-0.0056\times(CR/V)$

[0511] 其中,层间温度是指,在多层堆焊中,即将开始下一层的焊接之前的焊接部的层的表面温度(℃)。层间温度为150℃以下是指,形成了各层之后的各层间温度为150℃以下。也就是说,条件2的层间温度是指1个或多个层间温度中的最高温度为150℃以下。

[0512] FA为用于抑制Mo偏析的指标。焊接速度V越大、或者焊接金属20的延伸方向上的温度梯度(=CR/V)越小,越能够抑制焊接金属20的凝固时的Mo偏析。若FA比0.60大,则能够充分地抑制焊接金属20中的Mo偏析。

[0513] 其中,能够以如下方法测量1300℃下的冷却速度CR。在焊接工序中的焊接时,将热电偶插入熔池而获得冷却曲线。从获得的冷却曲线求出1300℃下的冷却速度CR(℃/秒)。

[0514] 另外,在自动焊接的情况下,焊接速度V(mm/秒)由焊接装置的焊炬的移动速度的设定决定,在合金管的环缝焊接的情况下,由焊接装置或定位器(旋转装置)的移动速度的设定决定。

[0515] 若满足上述的条件1~条件3,则能够形成满足特征2~特征4的焊接金属20。

[0516] 能够利用以上的制造工序制造满足特征1~特征4的奥氏体系不锈钢合金焊接接头。此外,本实施方式的奥氏体系不锈钢合金焊接接头1的制造方法并不限定于上述的制造方法。若能够制造满足特征1~特征4的奥氏体系不锈钢合金焊接接头1,则就可以利用其他方法制造。

[0517] 以下,利用实施例进一步具体地说明本实施方式的奥氏体系不锈钢合金焊接接头的效果。以下的实施例中的条件为为了确认本实施方式的奥氏体系不锈钢合金焊接接头的可实施性和效果所采用的一条件例。因而,本实施方式的奥氏体系不锈钢合金焊接接头并不限定于该一条件例。

[0518] 实施例

[0519] [奥氏体系不锈钢合金焊接接头的制造]

[0520] [母材的制造]

[0521] 制造了具有表1-1和表1-2的化学组成的母材用的熔融合金。

[0522] [表1-1]

[0523] 表1-1

[0524]

母材编号	化学组成（单位为质量%，余量为Fe和杂质）										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Nb	N	sol.Al
A	0.010	0.26	1.67	0.024	0.001	17.3	14.4	2.8	0.27	0.10	0.005
B	0.012	0.33	1.54	0.015	0.001	21.2	15.5	3.2	0.25	0.15	0.010
C	0.015	0.22	0.51	0.015	0.001	18.5	14.2	3.5	0.48	0.12	0.010
D	0.009	0.28	1.23	0.025	0.001	17.5	13.5	2.2	0.35	0.10	0.010
E	0.007	0.22	1.21	0.035	0.002	19.5	13.5	2.4	0.40	0.11	0.010
F	0.014	0.35	1.35	0.021	0.001	17.8	14.8	2.3	0.41	0.12	0.015
G	0.008	0.34	1.23	0.019	0.001	22.7	14.5	1.5	0.62	0.19	0.010
H	0.011	0.43	0.56	0.031	0.002	16.9	13.6	3.1	0.27	0.10	0.026
I	0.055	0.29	0.85	0.022	0.001	18.1	12.5	1.3	0.42	0.11	0.007
J	0.006	0.25	1.21	0.021	0.001	16.8	14.3	1.5	0.28	0.10	0.030
K	0.007	0.42	0.87	0.023	0.001	17.6	13.4	-	0.32	0.10	0.014
L	0.020	0.10	0.40	0.020	0.001	18.1	18.5	3.0	0.31	0.18	0.015
M	0.015	0.51	1.55	0.024	0.001	18.5	13.1	3.9	0.55	0.15	0.005
N	0.015	0.85	1.85	0.015	0.001	18.5	25.5	4.5	0.85	0.22	0.005

[0525] [表1-2]

[0526] 表1-2

[0527]

母材编号	化学组成（单位为质量%，余量为Fe和杂质）									
	B	Cu	W	Co	V	Ta	Hf	Ca	Mg	REM
A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	0.0035	-	-	-	-	0.10	-	-	-	-
C	0.0024	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D	0.0031	-	-	0.50	-	-	-	-	-	-
E	0.0025	2.50	1.00	-	-	-	-	0.003	-	-
F	0.0035	-	-	-	-	-	-	-	0.002	-
G	0.0031	-	-	-	0.10	-	-	-	-	-
H	0.0025	0.10	-	-	0.10	-	-	0.003	-	-
I	0.0041	-	-	-	-	-	-	-	-	-
J	0.0100	3.50	-	-	-	-	-	-	-	-
K	0.0025	-	-	-	-	-	-	-	-	-
L	0.0030	-	-	-	-	-	0.10	-	-	-
M	0.0032	-	-	-	-	-	-	-	-	0.050
N	0.0025	-	3.50	-	-	-	-	-	-	-

[0528] 具体而言,使用熔融合金而制造了外径120mm、30kg的铸锭。对铸锭实施热锻而形成厚度30mm的合金板。而且,实施热轧而成为厚度15mm的合金板。热轧时的加工结束温度均为1050℃以上。对热轧后的合金板实施了固溶化处理。在任一合金板中,固溶化处理温度都为1150℃,固溶化处理时间均为10分钟。对固溶化处理后的母材进行了水冷。利用以上的制造工序制造了厚度15mm、宽度50mm、长度100mm的合金板(母材)。

[0529] [焊接材料的制造]

[0530] 准备了具有表2-1和表2-2所示的化学组成的焊接材料。各焊接材料编号的化学组成中的、除表2-1和表2-2所记载的元素以外的余量为Fe和杂质。

[0531] [表2-1]

[0532] 表2-1

[0533]

焊接材料编号	化学组成（单位为质量%，余量为Fe和杂质）										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Nb	N	sol.Al
S	0.009	0.26	1.46	0.004	0.001	18.0	17.8	4.3	0.26	0.19	0.010
T	0.009	0.27	1.48	0.005	0.001	18.1	25.5	4.2	0.30	0.20	0.011
U	0.010	0.10	0.40	0.006	0.001	18.1	30.2	4.5	0.31	0.18	0.010
V	0.010	0.25	1.48	0.005	0.002	17.8	20.1	-	0.28	0.19	0.010
W	0.032	0.25	1.52	0.006	0.001	18.1	21.1	3.1	0.29	0.20	0.010
X	0.015	0.35	1.51	0.008	0.001	18.2	22.5	7.5	0.29	0.19	0.012
Y	0.010	0.10	0.40	0.006	0.001	18.1	14.5	4.5	0.31	0.18	0.010
Z	0.012	0.32	1.48	0.006	0.002	17.9	24.5	3.5	0.31	0.20	0.012
AA	0.009	0.35	1.21	0.025	0.001	17.5	16.5	4.8	0.35	0.15	0.010
BB	0.008	0.75	0.51	0.006	0.001	24.5	30.8	4.3	0.62	0.23	0.010
CC	0.018	0.55	0.68	0.018	0.001	19.5	35.5	2.9	0.25	0.25	0.010
DD	0.020	0.10	0.40	0.020	0.001	18.1	18.5	3.0	0.31	0.18	0.015
EE	0.011	0.43	0.56	0.004	0.001	16.9	29.8	3.1	0.27	0.10	0.026
FF	0.014	0.35	1.35	0.021	0.001	17.9	30.7	4.4	0.41	0.12	0.015
GG	0.015	0.15	1.15	0.008	0.001	18.5	32.3	3.8	0.45	0.15	0.005
HH	0.009	0.10	0.41	0.006	0.001	18.0	30.1	4.0	0.27	0.19	0.009
II	0.010	0.05	0.42	0.005	0.001	17.6	29.8	3.7	1.85	0.18	0.011
JJ	0.008	0.92	1.85	0.004	0.007	22.5	38.5	3.5	0.15	0.18	0.015

[0534] [表2-2]

[0535] 表2-2

[0536]

焊接材料编号	化学组成（单位为质量%，余量为Fe和杂质）									
	B	Cu	W	Co	V	Ta	Hf	Ca	Mg	REM
S	0.0031	-	3.92	-	-	-	-	-	-	-
T	0.0028	-	-	-	-	-	-	-	-	-
U	0.0030	-	-	-	-	-	-	-	-	-
V	0.0030	-	-	-	-	-	-	-	-	-
W	0.0032	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X	0.0033	3.95	-	-	-	-	-	-	-	-
Y	0.0030	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Z	0.0075	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AA	0.0031	-	-	0.50	-	-	-	-	-	-
BB	0.0022	-	-	-	0.10	-	-	-	-	-
CC	0.0035	-	-	-	-	0.10	-	-	-	-
DD	0.0030	-	-	-	-	-	0.10	-	-	-
EE	0.0025	-	-	-	-	-	-	0.003	-	-
FF	0.0035	-	-	-	-	-	-	-	0.002	-
GG	0.0025	-	-	-	-	-	-	-	-	0.050
HH	0.0028	1.55	-	-	-	-	-	-	-	-
II	0.0015	-	-	-	-	-	-	-	-	-
JJ	0.0011	-	-	-	-	-	-	-	-	-

[0537] 使用熔融合金而制造了外径120mm、30kg的铸锭。以众所周知的方法对铸锭实施热锻和热轧、冷轧、以及热处理而制造了外径1.2mm的焊丝(奥氏体系不锈钢合金焊接材料)。

[0538] [奥氏体系不锈钢合金焊接接头的制造]

[0539] 使用表1-1和表1-2的母材以及表2-1、表2-2的焊接材料,利用如下制造方法制造了奥氏体系不锈钢合金焊接接头。

[0540] 作为表1-1和表1-2的母材,利用机械加工制作了两张图6所示的合金板。在图6中,“mm”所附属的数值表示作为母材的合金板的尺寸(单位为mm)。合金板在沿着长度方向延伸

的侧面具有坡口面。坡口面设为坡口角度为30°、且焊缝根部厚度为1mm的V坡口面。

[0541] 如图7所示,准备了约束板30。约束板30利用了厚度25mm、宽度200mm、长度200mm、具有相当于JIS G 3106(2008)所记载的“SM400C”的化学组成的构件。

[0542] 将两张母材(板材)10配置在约束板30上。此时,使两张母材10的坡口面彼此对接。在配置了两张母材10之后,使用保护金属极电弧焊棒而对母材10的四周进行约束焊接。保护金属极电弧焊棒利用了具有相当于JIS Z 3224(2010)所规定的“ENiCrMo-3”的化学组成的电弧焊棒。

[0543] 在对母材10的四周进行了约束焊接之后,使用表2-1和表2-2的焊接材料且实施基于TIG焊接(GTAW)的多层堆焊而形成了焊接金属。在各试验编号中,焊接时的热量输入量(kJ/mm)、多层堆焊中的各层处的层间温度的最高温度(℃)、焊接速度V(℃/秒)、1300℃下的冷却速度CR(mm/秒)、以及FA如表4的“焊接条件”栏的“热量输入量(kJ/mm)”栏、“层间温度(℃)”栏、“焊接速度V(mm/秒)”栏、“冷却速度CR(℃/秒)”栏、以及“FA”栏所示这样。利用以上的制造工序制造了各焊接金属编号的奥氏体系不锈钢合金焊接接头。

[0544] [对于焊接金属的化学组成分析]

[0545] 以依据JIS G 0321:2017的众所周知的成分分析法测量了各焊接金属编号的奥氏体系不锈钢合金焊接接头的焊接金属的宽度中央位置且是厚度中央位置处的化学组成。具体而言,使用钻头从焊接金属的宽度中央部且是焊接金属的厚度中央部的区域P采集了切屑。使采集到的切屑溶解于酸而获得了溶液。对溶液实施ICP-AES(电感耦合等离子体原子发射光谱法:Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry)而实施了化学组成的元素分析。对于C含量和S含量,利用众所周知的高频燃烧法(燃烧-红外线吸收法)求出来。对于N含量和O含量,使用众所周知的非活性气体熔融-热导法而求出来。

[0546] 将获得的焊接金属的化学组成表示在表3-1和表3-2中。

[0547] [表3-1]

[0548] 表3-1

[0549]

焊接金属编号	母材	焊接材料	化学组成（单位为质量%，余量为Fe和杂质）										
			C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Nb	N	sol.Al
1	A	S	0.009	0.26	1.52	0.012	0.001	17.5	17.0	3.3	0.26	0.15	0.008
2	A	T	0.009	0.26	1.52	0.014	0.001	17.6	21.2	3.6	0.28	0.15	0.008
3	A	U	0.010	0.18	1.11	0.015	0.001	17.8	23.2	3.5	0.29	0.14	0.007
4	B	S	0.010	0.28	1.50	0.008	0.001	19.2	17.1	3.8	0.25	0.16	0.010
5	B	T	0.010	0.28	1.50	0.009	0.001	19.5	22.1	3.6	0.28	0.17	0.010
6	C	T	0.012	0.25	1.12	0.010	0.001	18.3	20.5	3.8	0.40	0.15	0.010
7	C	U	0.012	0.14	0.43	0.010	0.001	18.1	24.3	4.1	0.38	0.14	0.010
8	D	S	0.009	0.27	1.40	0.012	0.001	17.8	16.5	3.6	0.31	0.14	0.010
9	D	T	0.009	0.28	1.30	0.012	0.001	17.8	20.2	3.5	0.31	0.13	0.010
10	E	S	0.008	0.24	1.35	0.018	0.002	18.5	16.1	3.6	0.31	0.14	0.010
11	F	S	0.010	0.28	1.40	0.012	0.001	17.9	15.8	3.4	0.33	0.12	0.010
12	G	S	0.009	0.28	1.35	0.012	0.001	20.2	16.8	3.1	0.42	0.17	0.010
13	H	S	0.010	0.35	1.10	0.017	0.002	17.4	15.8	3.5	0.27	0.13	0.018
14	H	T	0.010	0.32	1.22	0.015	0.001	17.5	20.2	3.5	0.28	0.14	0.015
15	L	DD	0.018	0.11	0.39	0.020	0.001	18.1	18.5	2.9	0.31	0.18	0.015
16	M	GG	0.015	0.25	1.23	0.013	0.001	18.5	28.8	3.8	0.51	0.15	0.005
17	A	AA	0.009	0.31	1.35	0.024	0.001	17.4	16.2	4.3	0.31	0.12	0.008
18	C	BB	0.009	0.63	0.51	0.007	0.001	23.0	28.6	3.9	0.52	0.19	0.008
19	C	CC	0.017	0.45	0.61	0.016	0.001	19.2	33.8	3.2	0.28	0.21	0.010
20	C	EE	0.013	0.41	0.53	0.008	0.001	17.3	28.5	3.2	0.33	0.11	0.017
21	C	FF	0.014	0.31	1.21	0.017	0.001	18.1	28.3	4.1	0.42	0.10	0.012
22	L	III	0.009	0.12	0.56	0.008	0.001	18.3	29.6	3.9	0.29	0.14	0.001
23	N	S	0.010	0.37	1.52	0.005	0.001	18.2	22.3	4.3	0.39	0.18	0.005
24	C	II	0.011	0.06	0.45	0.005	0.001	17.8	29.5	3.5	1.75	0.14	0.010
25	C	JJ	0.009	0.76	1.75	0.004	0.005	22.2	36.5	3.5	0.18	0.15	0.011
26	A	V	0.010	0.25	1.52	0.012	0.001	17.5	18.1	1.1	0.27	0.14	0.008
27	A	W	0.023	0.25	1.56	0.015	0.001	17.8	18.5	2.9	0.29	0.14	0.008
28	B	W	0.024	0.29	1.55	0.010	0.001	19.2	18.3	3.1	0.27	0.16	0.010
29	C	X	0.015	0.28	1.01	0.010	0.001	18.3	18.8	6.5	0.33	0.13	0.011
30	D	Y	0.010	0.19	0.85	0.012	0.001	17.8	13.8	3.3	0.33	0.13	0.010
31	E	V	0.009	0.23	1.41	0.017	0.002	18.5	17.2	0.8	0.32	0.15	0.010
32	E	X	0.012	0.29	1.37	0.018	0.001	18.8	18.6	5.5	0.35	0.15	0.011
33	F	Y	0.012	0.23	0.91	0.014	0.001	17.9	14.5	3.4	0.35	0.15	0.010
34	G	Z	0.010	0.33	1.41	0.013	0.002	20.3	19.5	2.5	0.45	0.19	0.011
35	H	U	0.011	0.27	0.49	0.018	0.002	17.5	21.7	3.6	0.29	0.13	0.018
36	I	U	0.037	0.26	0.64	0.015	0.001	17.8	21.8	3.4	0.31	0.13	0.012
37	J	U	0.008	0.15	0.90	0.012	0.001	17.5	25.5	3.2	0.29	0.13	0.010
38	K	T	0.008	0.33	1.22	0.012	0.001	17.8	20.1	1.6	0.31	0.12	0.012
39	E	FF	0.013	0.33	1.32	0.028	0.002	18.3	28.5	4.2	0.41	0.12	0.013
40	H	BB	0.009	0.68	0.54	0.015	0.002	23.3	26.3	4.1	0.58	0.19	0.015
41	C	U	0.012	0.12	0.43	0.008	0.001	18.2	27.6	4.4	0.35	0.18	0.010
42	B	CC	0.015	0.42	0.89	0.016	0.001	19.8	33.5	2.9	0.25	0.19	0.010
43	G	HH	0.009	0.15	0.65	0.008	0.001	19.3	28.3	3.9	0.43	0.15	0.010
44	C	T	0.011	0.26	1.35	0.008	0.001	18.2	22.2	3.7	0.35	0.14	0.010

[0550] [表3-2]

[0551] 表3-2

[0552]

焊接金属编号	母材	焊接材料	化学组成（单位为质量%，余量为Fe和杂质）										F1
			B	Cu	W	Co	V	Ta	Hf	Ca	Mg	REM	
1	A	S	0.0018	-	1.52	-	-	-	-	-	-	-	1.92
2	A	T	0.0014	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.91
3	A	U	0.0015	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.78
4	B	S	0.0032	-	1.33	-	-	0.03	-	-	-	-	2.14
5	B	T	0.0030	-	-	-	-	0.05	-	-	-	-	2.12
6	C	T	0.0026	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.04
7	C	U	0.0027	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.80
8	D	S	0.0030	-	1.20	0.20	-	-	-	-	-	-	2.11
9	D	T	0.0030	-	-	0.22	-	-	-	-	-	-	2.07
10	E	S	0.0027	1.25	2.20	-	-	-	-	0.001	-	-	2.13
11	F	S	0.0033	-	1.20	-	-	-	-	-	0.001	-	2.16
12	G	S	0.0030	-	1.05	-	0.04	-	-	-	-	-	2.19
13	H	S	0.0029	0.05	1.22	-	0.04	-	-	0.001	-	-	2.12
14	H	T	0.0027	0.03			0.04			0.001			2.06
15	L	DD	0.0030	-	-	-	-	-	0.10	-	-	-	1.84
16	M	GG	0.0028	-	-	-	-	-	-	-	-	0.050	2.22
17	A	AA	0.0025	-	-	0.43	-	-	-	-	-	-	2.24
18	A	BB	0.0022	-	-	-	0.08	-	-	-	-	-	2.27
19	C	CC	0.0031	-	-	-	-	0.08	-	-	-	-	2.15
20	C	EE	0.0024	-	-	-	-	-	-	0.002	-	-	1.86
21	C	FF	0.0029	-	-	-	-	-	-	-	0.001	-	2.28
22	E	HH	0.0027	1.83	0.35	-	-	-	-	0.001	-	-	1.71
23	N	S	0.0028	-	3.72	-	-	-	-	-	-	-	2.26
24	C	II	0.0015	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.28
25	C	JJ	0.0011	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.27
26	A	V	0.0018	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.73
27	A	W	0.0022	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.09
28	B	W	0.0031	-	-	-	-	0.03	-	-	-	-	2.23
29	C	X	0.0030	1.98	-	-	-	-	-	-	-	-	2.28
30	D	Y	0.0030	-	-	0.21	-	-	-	-	-	-	1.89
31	E	V	0.0027	1.25	0.30	-	-	-	-	0.001	-	-	1.90
32	E	X	0.0030	3.23	0.42					0.001			2.40
33	F	Y	0.0032	-	-	-	-	-	-	-	0.001	-	2.02
34	G	Z	0.0055	-	-	-	0.05	-	-	-	-	-	2.55
35	H	U	0.0027	0.05	-	-	0.03	-	-	0.001	-	-	1.90
36	I	U	0.0028	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.11
37	J	U	0.0071	1.45	-	-	-	-	-	-	-	-	2.35
38	K	T	0.0026	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.88
39	E	FF	0.0032	1.20	0.30	-	-	-	-	0.001	0.001	-	2.50
40	H	BB	0.0023	0.05	-	-	0.10	-	-	0.001	-	-	2.49
41	C	U	0.0025	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.74
42	B	CC	0.0035	-	-	-	-	0.01	-	-	-	-	2.20
43	G	HH	0.0029	1.35	-	-	0.04	-	-	-	-	-	1.88
44	C	T	0.0025	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.02

[0553] [评价试验]

[0554] 对制造出的奥氏体系不锈钢合金焊接接头实施了如下试验。

[0555] (试验1)F2测量试验

[0556] (试验2)耐焊接热裂纹性评价试验

[0557] (试验3)耐连多硫酸SCC性评价试验

[0558] (试验4)耐环烷酸腐蚀性评价试验

[0559] (试验5)时效韧性评价试验

[0560] 以下,对试验1～试验5进行说明。

[0561] [(试验1)F2测量试验]

[0562] 基于上述的[F2测量方法]所记载的方法求出来各试验编号的焊接金属中的F2。将获得的F2值表示在表4中。

[0563] [表4]

[0564] 表4

[0565]

焊接金属编号	焊接条件				母材	焊接材料	FA	F2	耐焊接热裂纹性	耐连多硫酸SCC性	耐环烷酸腐蚀性	时效韧性	备注
	热量输入量(kJ/mm)	层间温度(℃)	焊接速度V(mm/秒)	冷却速度CR(℃/秒)									
1	1.2	100	1.67	218	A	S	0.93	1.3	E	E	0.007	85	本发明例
2	1.2	100	1.67	218	A	T	0.93	1.4	E	E	0.006	110	本发明例
3	1.2	100	1.67	218	A	U	0.93	1.3	E	E	0.006	115	本发明例
4	1.5	150	1.67	158	B	S	1.14	1.5	E	E	0.007	85	本发明例
5	1.5	150	1.67	158	B	T	1.14	1.5	F	F	0.008	87	本发明例
6	0.8	100	1.67	297	C	T	0.67	1.2	E	E	0.007	112	本发明例
7	0.8	100	1.67	297	C	U	0.67	1.2	E	E	0.005	83	本发明例
8	2.0	150	1.67	119	D	S	1.27	1.7	E	E	0.006	120	本发明例
9	2.0	150	1.67	119	D	T	1.27	1.8	E	E	0.007	105	本发明例
10	2.0	150	1.67	119	E	S	1.27	1.7	E	E	0.007	83	本发明例
11	2.5	150	1.33	87	F	S	0.97	1.9	E	E	0.006	85	本发明例
12	2.5	150	1.33	87	G	S	0.97	1.9	E	E	0.008	115	本发明例
13	3.0	150	1.17	79	H	S	0.79	2.2	E	E	0.006	122	本发明例
14	3.0	150	1.17	79	H	T	0.79	2.3	E	E	0.006	75	本发明例
15	1.0	100	1.67	253	L	DD	0.82	1.5	E	E	0.006	122	本发明例
16	1.0	100	1.67	253	M	GG	0.82	1.5	E	E	0.006	64	本发明例
17	0.4	80	2.50	431	A	AA	1.53	1.1	E	E	0.004	53	本发明例
18	0.4	80	2.50	431	A	BB	1.53	1.2	E	E	0.006	64	本发明例
19	1.0	150	2.50	253	C	CC	1.93	1.3	E	E	0.007	88	本发明例
20	1.0	150	2.50	253	C	EE	1.93	1.3	E	E	0.008	115	本发明例
21	1.0	150	2.50	253	C	FF	1.93	1.4	E	E	0.005	51	本发明例
22	1.0	150	2.50	253	E	HH	1.93	1.4	E	E	0.007	87	本发明例
23	1.2	100	1.67	218	N	S	0.93	1.9	E	E	0.007	55	本发明例
24	1.2	100	1.67	218	C	II	0.93	1.5	E	E	0.006	35	本发明例
25	1.2	100	1.67	218	C	JJ	0.93	1.6	E	E	0.007	65	本发明例
26	1.5	150	1.67	175	A	V	1.08	1.5	E	E	0.012	134	比较例
27	1.5	150	1.67	175	A	W	1.08	1.5	E	NA	0.007	85	比较例
28	1.5	150	1.67	175	B	W	1.08	1.3	E	NA	0.008	75	比较例
29	1.5	150	1.67	175	C	X	1.08	1.4	E	E	0.002	6	比较例
30	1.5	150	1.67	175	D	Y	1.08	1.4	E	E	0.006	17	比较例
31	2.0	150	1.67	119	E	V	1.27	1.8	E	E	0.013	135	比较例
32	2.0	150	1.67	119	E	X	1.27	-	NA	-	-	-	比较例
33	2.0	150	1.33	119	F	Y	0.84	1.9	F	F	0.007	18	比较例
34	2.0	150	1.33	119	G	Z	0.84	-	NA	-	-	-	比较例
35	4.5	150	0.83	49	H	U	0.50	2.7	E	E	0.011	17	比较例
36	2.5	250	0.83	55	I	U	0.46	2.6	E	NA	0.011	16	比较例
37	1.5	150	1.67	175	J	U	1.08	-	NA	-	-	-	比较例
38	1.5	150	1.67	175	K	T	1.08	1.8	F	F	0.012	118	比较例
39	2.0	150	1.67	119	E	FF	1.27	-	NA	-	-	-	比较例
40	2.0	150	1.67	119	H	BB	1.27	-	NA	-	-	-	比较例
41	3.5	250	0.75	71	C	U	0.22	2.7	E	E	0.011	12	比较例
42	4.0	150	0.83	58	B	CC	0.41	2.8	E	E	0.012	18	比较例
43	2.0	250	1.00	119	G	HH	0.34	2.7	E	E	0.011	9	比较例
44	2.8	150	0.92	75	C	T	0.46	2.6	E	E	0.011	18	比较例

[0566] [(试验2)耐焊接热裂纹性评价试验]

[0567] 利用如下方法评价了各焊接金属编号的奥氏体系不锈钢合金焊接接头的耐焊接热裂纹性。从各焊接金属编号的奥氏体系不锈钢合金焊接接头的焊接金属的部分采集了10个与焊缝正交的截面的显微组织观察用试验片。将试验片的尺寸设为15mm×30mm×10mm。将采集到的试验片的表面中的、相当于与焊缝正交的截面的表面设为“观察面”。观察面为15×30mm。对观察面进行镜面研磨,以混合酸进行了蚀刻。使用200倍的光学显微镜而观察了蚀刻的试验片的表面。并且,利用目视判断了在观察面的焊接金属内是否产生了焊接热裂纹。将评价结果表示在表4中。在采集到的10个试验片中任一者中都未在焊接金属中确认

到裂纹的情况下,判断为获得了充分的耐焊接热裂纹性(在表4中,为“E(优秀:Excellent)”)。另一方面,即使在10个试验片中的一者也确认到裂纹的情况下,判断为无法获得充分的耐焊接热裂纹性(在表4中,为“NA(不可接受:Not Accepted)”)。此外,对于在耐焊接热裂纹性评价试验中判定为“NA”的试验编号,不再实施试验3以后的试验。

[0568] [(试验3)耐连多硫酸SCC性评价试验]

[0569] 以如下方法评价了各焊接金属编号的奥氏体系不锈钢合金焊接接头的焊接金属的耐连多硫酸SCC性。

[0570] 首先,设想高温环境下的使用而以650℃对各焊接金属编号的奥氏体系不锈钢合金焊接接头实施了3000小时的时效处理。对于时效处理后的奥氏体系不锈钢合金焊接接头,如图8所示那样,制作了包括区域P,厚度2mm、宽度10mm、长度75mm的板状试验片40。板状试验片40的厚度2mm相当于焊接金属厚度方向T的长度,板状试验片40的长度75mm相当于焊接金属宽度方向W的长度,板状试验片40的宽度10mm与焊接金属延伸方向L的长度相对应。以焊接金属20的区域P位于板状试验片40的长度75mm的中央位置的方式制作了板状试验片40。

[0571] 依据JIS G 0576:2001“不锈钢的应力腐蚀裂纹试验方法”实施了耐连多硫酸SCC性评价试验。具体而言,使板状试验片绕内侧半径5mm的冲头弯曲而设为U形弯曲状(弯曲部相当于焊接金属)。在常温下将U形弯曲状的板状试验片浸渍于Wackenroder溶液(向通过向蒸馏水中吹入SO_2气体而制成的H_2SO_3饱和水溶液吹入大量的H_2S气体而成的溶液)中100小时。针对浸渍后的板状试验片以倍率500倍对板状试验片的焊接金属部分的裂纹的有无进行显微镜观察而确认了裂纹的有无。将评价结果表示在表4中。在试验片的焊接金属部分未确认到裂纹的情况下,判断为在焊接金属中获得了充分的耐连多硫酸SCC性(在表4中,为“E”)。另一方面,在试验片的焊接金属部分确认到裂纹的情况下,判断为无法获得充分的耐连多硫酸SCC性(在表4中,为“NA”)。

[0572] [(试验4)耐环烷酸腐蚀性评价试验]

[0573] 以如下方法评价了各焊接金属编号的奥氏体系不锈钢合金焊接接头的焊接金属的耐环烷酸腐蚀性。首先,对各焊接金属编号的奥氏体系不锈钢合金焊接接头采集了包括区域P的焊接金属试验片。具体而言,与图8所示的板状试验片40同样地,制作了包括区域P,厚度3mm、宽度10mm、长度30mm的试验片。试验片的厚度3mm相当于焊接金属厚度方向T的长度,试验片的长度30mm相当于焊接金属宽度方向W的长度,试验片的宽度10mm相当于焊接金属延伸方向L的长度。以区域P位于试验片的长度方向的中央部且是厚度方向的中央部的方式制作了试验片。

[0574] 使制作出的试验片处于常压下,将试验片浸渍于200℃的100%环己烷碳酸溶液(试验液)720小时。在经过了720小时之后,取出试验片。

[0575] 在经过720小时后,使用丙酮而对取出的试验片实施了3分钟的超声波清洗。

[0576] 算出试验前的试验片的质量与超声波清洗后的试验片的质量之差作为腐蚀减量。而且,从试验片的表面积、比重、以及试验时间求出腐蚀速度(mm/y)。将评价结果表示在表4中。在腐蚀速度为0.010mm/y以下的情况下,判断为在焊接金属中获得了充分的耐环烷酸腐蚀性。另一方面,在腐蚀速度大于0.010mm/y的情况下,判断为无法获得充分的耐环烷酸腐蚀性。

[0577] [(试验5)时效韧性评价试验]

[0578] 以如下方法评价了各焊接金属编号的奥氏体系不锈钢合金焊接接头的焊接金属的时效韧性。首先,从图9所示的位置对各焊接金属编号的奥氏体系不锈钢合金焊接接头制作了包括区域P的V型切口试验片50。将试验片50的宽度设为10mm,厚度设为10mm,长度设为55mm。试验片的厚度10mm相当于焊接金属厚度方向T的长度,试验片的宽度10mm相当于焊接金属宽度方向W的长度,试验片的长度55mm相当于焊接金属延伸方向L的长度。以焊接金属20的区域P位于试验片50的宽度中央位置的方式制作了试验片50。在试验片50的长度中央位置形成有V型切口。将V型切口角度设为45°,将切口深度设为2mm,将切口底半径设为0.25mm。制作了3个V型切口试验片50。

[0579] 对试验片50实施了以650℃保持1000小时的时效处理。在保持1000小时后,使试验片自然冷却到常温。在常温下、在大气中对时效处理后的试验片实施了依据JIS Z 2242:2005的夏比冲击试验。将通过试验获得的3个冲击值(J/cm^2)的算术平均值定义为该试验编号的高温时效处理后的冲击值(J/cm^2)。将评价结果表示在表4中。若获得的冲击值为20J/cm^{2}以上,则在焊接金属中获得了充分的时效韧性。另一方面,若获得的冲击值小于20J/cm^2,则判断为在焊接金属中无法获得充分的时效韧性。

[0580] [试验结果]

[0581] 参照表1-1、表1-2、表2-1、表2-2、表3-1、表3-2以及表4,在试验编号1～25中,母材、焊接材料、焊接金属的化学组成适当,制造条件也适当。因此,这些试验编号的奥氏体系不锈钢合金焊接接头满足了特征1～特征4。因此,在这些试验编号中,获得了充分的耐焊接热裂纹性、充分的耐连多硫酸SCC性、充分的耐环烷酸腐蚀性、以及充分的时效韧性。

[0582] 另一方面,在试验编号26和31中,焊接材料的Mo含量过低。因此,焊接金属的Mo含量过低。因此,无法获得充分的耐环烷酸腐蚀性。

[0583] 在试验编号27和28中,焊接材料的C含量过高。因此,焊接金属的C含量过高。因此,无法获得充分的耐连多硫酸SCC性。

[0584] 在试验编号29和32中,焊接材料的Mo含量过高。因此,焊接金属的Mo含量过高。因此,在试验编号29中,无法获得充分的时效韧性。在试验编号32中进一步地,F1大于2.30。因此,无法获得充分的耐焊接热裂纹性。

[0585] 在试验编号30和33中,焊接材料的Ni含量过低。因此,焊接金属的Ni含量过低。因此,无法获得充分的时效韧性。

[0586] 在试验编号34中,焊接材料的B含量过高。因此,焊接金属的B含量过高。因此,无法获得充分的耐焊接热裂纹性。

[0587] 在试验编号35中,虽然母材和焊接材料的化学组成适当,但焊接条件的热量输入量过高。因此,F2大于2.5。其结果,无法获得充分的耐环烷酸腐蚀性和充分的时效韧性。

[0588] 在试验编号36中,母材的C含量过高。因此,焊接金属的C含量过高。而且,层间温度大于150℃。因此,F2大于2.5。因此,无法获得充分的耐连多硫酸SCC性、充分的耐环烷酸腐蚀性以及充分的时效韧性。

[0589] 在试验编号37中,母材的B含量过高。因此,焊接金属的B含量过高。因此,无法获得充分的耐焊接热裂纹性。

[0590] 在试验编号38中,母材的Mo含量过低。因此,焊接金属的Mo含量过低。因此,无法获

得充分的耐环烷酸腐蚀性。

[0591] 在试验编号39和40中,虽然母材和焊接金属的化学组成适当,但F1大于2.30。因此,无法获得充分的耐焊接热裂纹性。

[0592] 试验编号41中,虽然母材和焊接材料的化学组成适当,但热量输入量和层间温度均较高。因此,F2大于2.5。其结果,无法获得充分的耐环烷酸腐蚀性和充分的时效韧性。

[0593] 在试验编号42中,虽然母材和焊接材料的化学组成适当,但热量输入量过高。因此,F2大于2.5。其结果,无法获得充分的耐环烷酸腐蚀性和充分的时效韧性。

[0594] 在试验编号43中,虽然母材和焊接材料的化学组成适当,但层间温度过高。因此,F2大于2.5。其结果,无法获得充分的耐环烷酸腐蚀性和充分的时效韧性。

[0595] 在试验编号44中,虽然母材和焊接材料的化学组成适当,但FA为0.60以下。因此,F2大于2.5。其结果,无法获得充分的耐环烷酸腐蚀性和充分的时效韧性。

[0596] 以上,说明了本公开的实施方式。然而,上述的实施方式只不过是用于实施本公开的例示。因而,本公开并不限定于上述的实施方式,能够在不脱离其主旨的范围内适当变更上述的实施方式而实施。

[0597] 附图标记说明

[0598] 1、奥氏体系不锈钢合金焊接接头;10、母材;20、焊接金属。

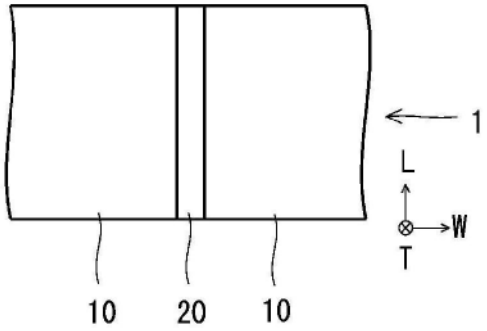


图1

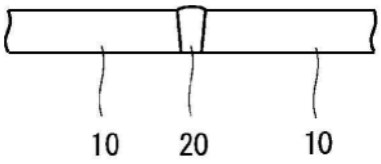


图2

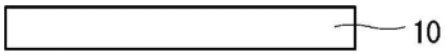


图3

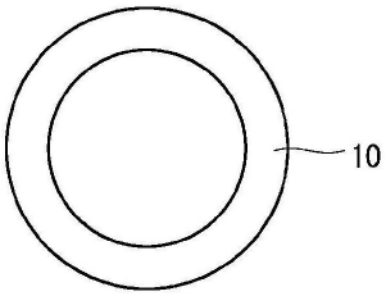


图4

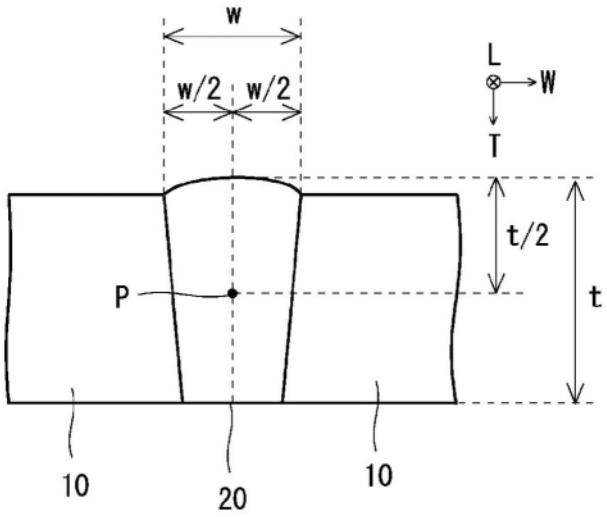


图5

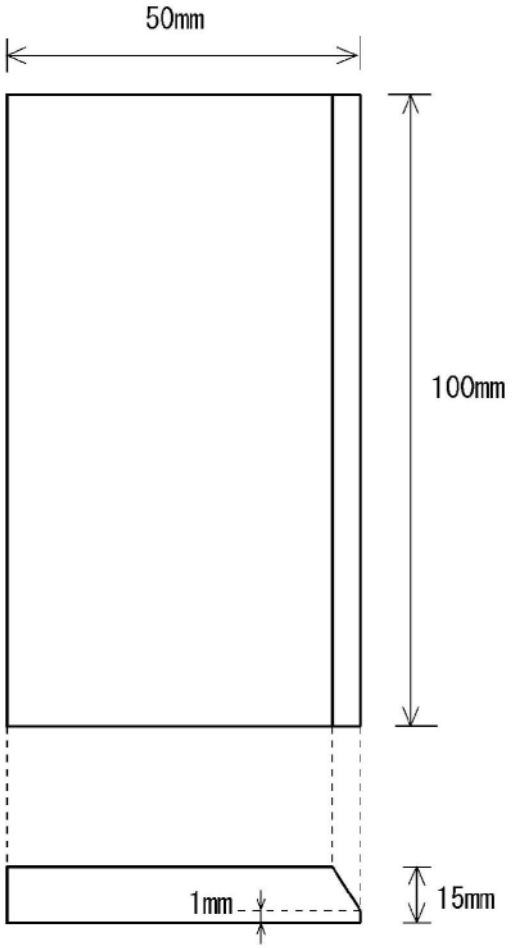


图6

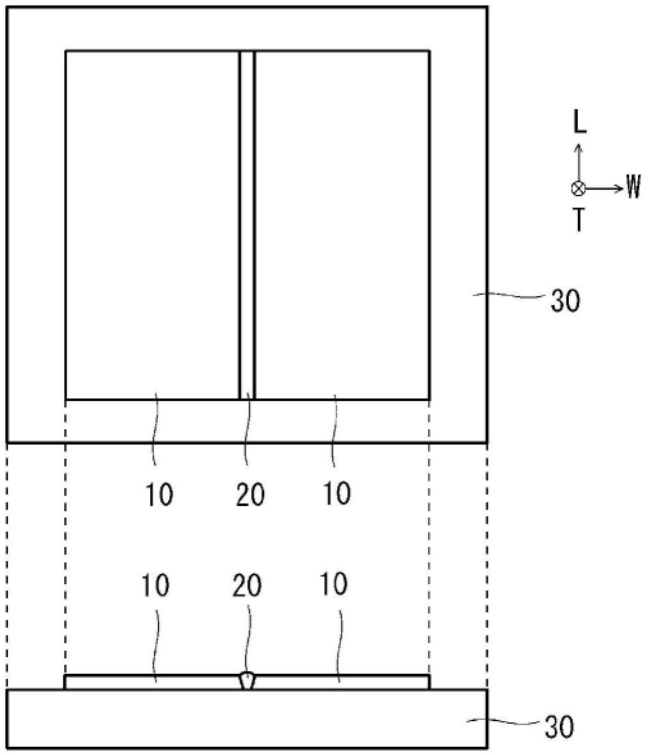


图7

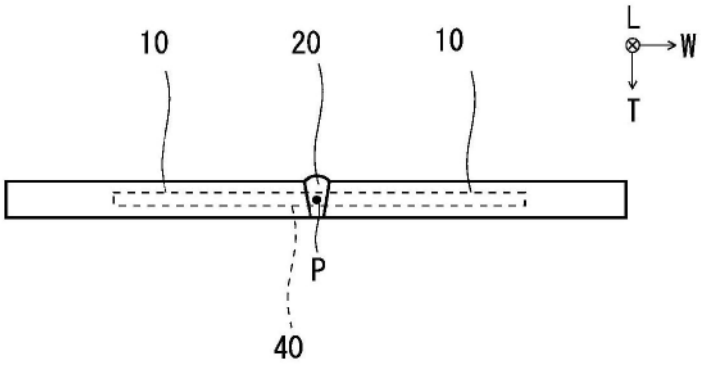


图8

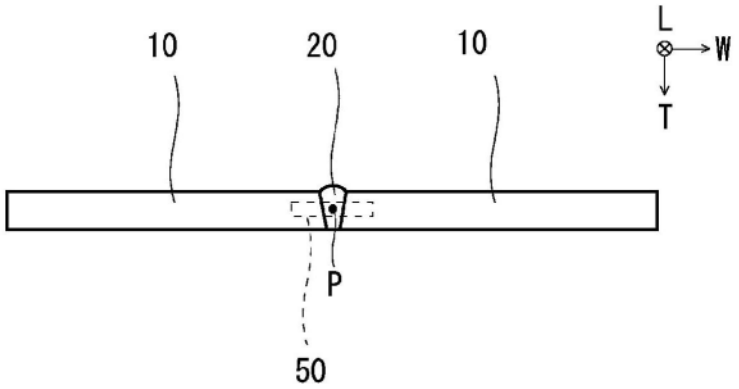


图9