



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 119546411 A

(43) 申请公布日 2025.02.28

(21) 申请号 202280097648.8

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2022.09.30

B23K 35/30 (2006.01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2024.12.30

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2022/036866 2022.09.30

(87) PCT国际申请的公布数据

W02024/069986 JA 2024.04.04

(71) 申请人 日本制铁株式会社

地址 日本

(72) 发明人 松尾孟 加茂孝浩 立花隼人

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

72002

专利代理师 张楠

权利要求书2页 说明书25页

(54) 发明名称

焊缝金属、焊接接头及焊接结构物

(57) 摘要

一种焊缝金属,其中,C:0.030~1.000%、Si:0.03~0.50%、Mn:4.1~30.0%、P:0~0.050%、S:0~0.050%、Cu:0~5.0%、Ni:1.0~30.0%、Cr:0~20.0%、Mo:0~10.0%、Nb:0~1.000%、V:0~1.00%、Co:0~1.00%、Pb:0~1.00%、Sn:0~1.00%、W:0~20.0%、Mg:0~5.0%、Al:0~0.100%、Ca:0~5.0%、Ti:0~0.100%、B:0~0.5000%、REM:0~0.500%、Zr:0~0.500%、N:0~0.5000%、O:0.0010~0.1500%,剩余部分:Fe及杂质,Mn+Ni:5.0%以上,Nb+Ti+V+Al:0.005%以上。

1. 一种焊缝金属,其化学成分以相对于焊缝金属的总质量的质量%计为:
C:0.030~1.000%、
Si:0.03~0.50%、
Mn:4.1~30.0%、
P:0~0.050%、
S:0~0.050%、
Cu:0~5.0%、
Ni:1.0~30.0%、
Cr:0~20.0%、
Mo:0~10.0%、
Nb:0~1.000%、
V:0~1.00%、
Co:0~1.00%、
Pb:0~1.00%、
Sn:0~1.00%、
W:0~20.0%、
Mg:0~5.0%、
Al:0~0.100%、
Ca:0~5.0%、
Ti:0~0.100%、
B:0~0.5000%、
REM:0~0.500%、
Zr:0~0.500%、
N:0~0.5000%、
O:0.0010~0.1500%、以及
剩余部分:Fe及杂质,
并且所述Mn含量及所述Ni含量的合计(Mn+Ni)为5.0%以上,
所述Nb含量、所述Ti含量、所述V含量及所述Al含量的合计(Nb+Ti+V+Al)为0.005%以上。
2. 根据权利要求1所述的焊缝金属,其中,所述Mn含量、所述Ni含量及所述Cr含量的合计(Mn+Ni+Cr)为15.0%以上。
3. 根据权利要求1或权利要求2所述的焊缝金属,其中,通过磁感应法求出的fcc比例为70%以上。
4. 根据权利要求1~权利要求3中任一项所述的焊缝金属,其中,所述Mn含量与所述Ni含量的质量比(Ni/Mn)为0.10以上。
5. 根据权利要求4所述的焊缝金属,其中,所述质量比(Ni/Mn)为1.00以上。
6. 根据权利要求1~权利要求5中任一项所述的焊缝金属,其中,所述Ti的含量为Ti:0.003~0.100%。
7. 根据权利要求1~权利要求6中任一项所述的焊缝金属,其中,所述C的含量为C:

0.110 ~ 1.000%。

8. 一种焊接接头,其具有权利要求1~权利要求7中任一项所述的焊缝金属。
9. 一种焊接结构物,其具有权利要求8所述的焊接接头。

焊缝金属、焊接接头及焊接结构物

技术领域

[0001] 本公开涉及焊缝金属、焊接接头及焊接结构物。

背景技术

[0002] 近年来,由于基于地球变暖的问题的二氧化碳排放量限制的强化,与石油及煤等相比没有二氧化碳排放的氢燃料、以及二氧化碳排放少的天然气等的需求在提高。伴随于此,在船舶、地面等中使用的液氢储罐、液态二氧化碳储罐及LNG储罐等的建造的需求也在世界上提高。对于液氢储罐、液态二氧化碳储罐及LNG储罐等中使用的钢材,从确保-196°C的极低温度下的韧性的要求出发,使用了包含6~9%Ni的Ni系低温用钢。

[0003] 而且,对于这些Ni系低温用钢的焊接,通过使用可得到优异的低温韧性的焊缝金属的奥氏体系的焊接材料进行焊接来形成焊缝金属。该焊接材料主要以70%来设计Ni含量。

[0004] 例如,作为Ni含量70%的焊接材料,在专利文献1中公开了“一种以Ni基合金作为外皮的药芯焊丝,其中,Ni含量为35~70%,在焊剂中相对于焊丝总质量,包含总量为4.0质量%以上的TiO₂、SiO₂及ZrO₂,进而以MnO₂换算计还包含0.6~1.2质量%的Mn氧化物,并且在将TiO₂、SiO₂、ZrO₂及MnO₂(换算量)的含量以质量%计分别设定为[TiO₂]、[SiO₂]、[ZrO₂]及[MnO₂]时,[TiO₂]/[ZrO₂]为2.3~3.3,[SiO₂]/[ZrO₂]为0.9~1.5及([TiO₂]+[SiO₂]+[ZrO₂])/[MnO₂]为5~13”。

[0005] 专利文献1:日本特开2008-246507号公报

发明内容

[0006] 发明所要解决的课题

[0007] 但是,若为了确保焊缝金属的低温韧性,在焊缝金属中大量地含有Ni(例如若使用以70%设计了Ni含量的焊接材料),则变得非常高价,因此要求廉价的焊接材料。

[0008] 高价的Ni作为奥氏体稳定化元素被知晓,但低廉的Mn也具有同样的效果。因此,如果降低Ni含量、提高Mn含量,则可得到廉价且低温韧性优异的焊缝金属。但是,仅提高Mn时,韧性劣化,无法确保机械特性。

[0009] 于是,本发明的课题是提供廉价且低温韧性优异的焊缝金属、具有该焊缝金属的焊接接头及具有该焊接接头的焊接结构物。

[0010] 用于解决课题的手段

[0011] 用于解决课题的手段包含下述的方案。

[0012] <1>一种焊缝金属,其化学成分以相对于焊缝金属的总质量的质量%计为:

[0013] C:0.030~1.000%、

[0014] Si:0.03~0.50%、

[0015] Mn:4.1~30.0%、

[0016] P:0~0.050%、

- [0017] S:0~0.050%、
- [0018] Cu:0~5.0%、
- [0019] Ni:1.0~30.0%、
- [0020] Cr:0~20.0%、
- [0021] Mo:0~10.0%、
- [0022] Nb:0~1.000%、
- [0023] V:0~1.00%、
- [0024] Co:0~1.00%、
- [0025] Pb:0~1.00%、
- [0026] Sn:0~1.00%、
- [0027] W:0~20.0%、
- [0028] Mg:0~5.0%、
- [0029] Al:0~0.100%、
- [0030] Ca:0~5.0%、
- [0031] Ti:0~0.100%、
- [0032] B:0~0.5000%、
- [0033] REM:0~0.500%、
- [0034] Zr:0~0.500%、
- [0035] N:0~0.5000%、
- [0036] O:0.0010~0.1500%、以及
- [0037] 剩余部分:Fe及杂质,
- [0038] 并且上述Mn含量及上述Ni含量的合计(Mn+Ni)为5.0%以上,
- [0039] 上述Nb含量、上述Ti含量、上述V含量及上述Al含量的合计(Nb+Ti+V+Al)为0.005%以上。
- [0040] <2>根据<1>所述的焊缝金属,其中,上述Mn含量、上述Ni含量及上述Cr含量的合计(Mn+Ni+Cr)为15.0%以上。
- [0041] <3>根据<1>或<2>所述的焊缝金属,其中,通过磁感应法求出的fcc比例为70%以上。
- [0042] <4>根据<1>~<3>中任一项所述的焊缝金属,其中,上述Mn含量与上述Ni含量的质量比(Ni/Mn)为0.10以上。
- [0043] <5>根据<4>所述的焊缝金属,其中,上述质量比(Ni/Mn)为1.00以上。
- [0044] <6>根据<1>~<5>中任一项所述的焊缝金属,其中,上述Ti的含量为Ti:0.003~0.100%。
- [0045] <7>根据<1>~<6>中任一项所述的焊缝金属,其中,上述C的含量为C:0.110~1.000%。
- [0046] <8>一种焊接接头,其具有<1>~<7>中任一项所述的焊缝金属。
- [0047] <9>一种焊接结构物,其具有<8>所述的焊接接头。
- [0048] 发明效果
- [0049] 根据本公开,能够提供廉价且低温韧性优异的焊缝金属、具有该焊缝金属的焊接

接头及具有该焊接接头的焊接结构物。

具体实施方式

[0050] 对作为本公开的一个例子的实施方式进行说明。

[0051] 需要说明的是,在本说明书中,对于使用“~”表示的数值范围,在对“~”的前后记载的数值未标注“超过”及“低于”的情况下,是指包含这些数值作为下限值及上限值的范围。此外,在对“~”的前后记载的数值标注有“超过”或“低于”的情况的数值范围是指不含这些数值作为下限值或上限值的范围。

[0052] 在本说明书中阶段式记载的数值范围内,某个阶段式的数值范围的上限值也可以置换成其他阶段式记载的数值范围的上限值,此外,也可以置换成实施例中所示的值。此外,某个阶段式的数值范围的下限值也可以置换成其他阶段式记载的数值范围的下限值,此外,也可以置换成实施例中所示的值。

[0053] 此外,关于含量,“%”是指“质量%”。

[0054] 作为含量(%),“0~”是指该成分为任选成分,也可以不含有。

[0055] <焊缝金属>

[0056] 本公开的焊缝金属的化学成分为规定的组成。

[0057] 本公开的焊缝金属通过上述构成,可得到廉价且低温韧性优异的焊缝金属。

[0058] 而且,本公开的焊缝金属通过下述的见识而被发现。

[0059] 发明人们对获得即使降低Ni含量、提高Mn含量也能够提高焊缝金属的低温韧性的焊缝金属的技术进行了研究。其结果是,得到了下述的见识。

[0060] 为了确保低温韧性,优选将焊缝金属的组织制成奥氏体单相。Ni和Mn都是奥氏体稳定化元素。但是,若过度减少Ni、或增加Mn,则堆垛层错能变低,韧性劣化。于是,通过控制Ni及Mn的含量,防止了堆垛层错能的降低。由此,即使降低焊缝金属整体中的Ni含量、提高Mn含量,也得到低温韧性优异的焊缝金属。

[0061] 由以上的见识发现了:本公开的焊缝金属廉价,且低温韧性优异。

[0062] 以下,对构成本公开的焊缝金属的要件(也包含任选要件的要件)的限定理由进行具体说明。

[0063] (焊缝金属的化学成分)

[0064] 以下,对焊缝金属的化学成分进行详细说明。

[0065] 需要说明的是,在焊缝金属的化学成分的说明中,只要没有特别说明,则“%”是指“相对于焊缝金属的总质量的质量%”。

[0066] 焊缝金属的化学成分为:

[0067] C:0.030~1.000%、

[0068] Si:0.03~0.50%、

[0069] Mn:4.1~30.0%、

[0070] P:0~0.050%、

[0071] S:0~0.050%、

[0072] Cu:0~5.0%、

[0073] Ni:1.0~30.0%、

- [0074] Cr:0~20.0%、
- [0075] Mo:0~10.0%、
- [0076] Nb:0~1.000%、
- [0077] V:0~1.00%、
- [0078] Co:0~1.00%、
- [0079] Pb:0~1.00%、
- [0080] Sn:0~1.00%、
- [0081] W:0~20.0%、
- [0082] Mg:0~5.0%、
- [0083] Al:0~0.100%、
- [0084] Ca:0~5.0%、
- [0085] Ti:0~0.100%、
- [0086] B:0~0.5000%、
- [0087] REM:0~0.500%、
- [0088] Zr:0~0.500%、
- [0089] N:0~0.5000%、
- [0090] O:0.0010~0.1500%、以及
- [0091] 剩余部分:Fe及杂质,
- [0092] 并且Mn含量及Ni含量的合计(Mn+Ni)为5.0%以上,
- [0093] Nb含量、Ti含量、V含量及上述Al含量的合计(Nb+Ti+V+Al)为0.005%以上。
- [0094] (C:0.030~1.000%)
- [0095] C是提高焊缝金属的强度的元素,是用于确保焊缝金属的强度的元素。
- [0096] 另一方面,若焊缝金属的C含量为过量,则由焊缝金属的强度上升引起的使韧性劣化的影响大,焊缝金属的低温韧性降低。
- [0097] 因而,焊缝金属的C含量设定为0.030~1.000%。
- [0098] 焊缝金属的C含量的下限也可以优选设定为0.050%、0.100%、0.110%、0.120%、0.140%、0.150%、0.200%、或0.250%。
- [0099] 焊缝金属的C含量的上限优选为0.900%、0.800%、0.700%、0.600%、0.550%、0.500%、0.450%、或0.400%。
- [0100] (Si:0.03~0.50%)
- [0101] Si为脱氧元素。若焊缝金属的Si含量过低,则焊缝金属的P含量增加。
- [0102] 另一方面,Si相对于奥氏体相的固溶度低,越是大量含有Si,则越在高温下生成金属间化合物、 δ 铁素体等脆化相而高温延展性劣化。
- [0103] 因而,焊缝金属的Si含量设定为0.03~0.50%。
- [0104] 焊缝金属的Si含量的下限优选为0.04%、0.05%、或0.08%。
- [0105] 焊缝金属的Si含量的上限优选为0.48%、0.45%、0.40%、0.35%、0.30%、或0.20%。
- [0106] (Mn:4.1~30.0%)
- [0107] Mn是奥氏体稳定化元素。若焊缝金属的Mn含量过低,则焊缝金属的奥氏体化变得

难以进展,低温韧性劣化。此外,Mn是作为脱氧剂发挥功能而提高焊缝金属的洁净度的元素。此外,Mn是通过形成MnS而将焊缝金属中的S无害化、提高焊缝金属的低温韧性的元素。此外,Mn还具有防止高温开裂的效果。

[0108] 另一方面,若焊缝金属的Mn含量为过量,则在焊缝金属中容易显微偏析,在偏析部产生显著的脆化。此外,若过量地添加Mn则堆垛层错能降低,韧性劣化。

[0109] 因而,焊缝金属的Mn含量设定为4.1~30.0%。

[0110] 焊缝金属的Mn含量的下限优选为4.2%、4.5%、5.0%、7.0%、9.0%、或10.0%。

[0111] 焊缝金属的Mn含量的上限优选为28.0%、25.0%、23.0%、20.0%、18.0%、15.0%、或14.5%。

[0112] (P:0~0.050%)

[0113] P是杂质元素,由于使韧性降低,因此焊缝金属的P含量优选尽量降低。因而,焊缝金属的P含量的下限设定为0%。但是,从脱P成本的降低的观点出发,焊缝金属的P含量为0.003%以上为宜。

[0114] 另一方面,如果焊缝金属的P含量为0.050%以下,则成为P对韧性的不良影响能被容许的范围内。

[0115] 因而,焊缝金属的P含量设定为0~0.050%。

[0116] 为了有效地抑制韧性的降低,焊缝金属的P含量优选为0.040%以下、0.030%以下、0.020%以下、0.015%以下、或0.010%以下。

[0117] (S:0~0.050%)

[0118] S是杂质元素,由于使韧性降低,因此焊缝金属的S含量优选尽量降低。因而,焊缝金属的S含量的下限设定为0%。但是,从脱S成本的降低的观点出发,焊缝金属的S含量为0.003%以上为宜。

[0119] 另一方面,如果焊缝金属的S含量为0.050%以下,则成为S对韧性的不良影响能被容许的范围内。

[0120] 因而,焊缝金属的S含量设定为0~0.050%。

[0121] 为了有效地抑制韧性的降低,焊缝金属的S含量优选为0.040%以下、0.030%以下、0.020%以下、0.015%以下、或0.010%以下。

[0122] (Cu:0~5.0%)

[0123] Cu是析出强化元素,为了提高焊缝金属的强度,也可以含有于焊缝金属中。此外,Cu是奥氏体稳定化元素,为了提高焊缝金属的低温韧性,也可以含有于焊缝金属中。

[0124] 另一方面,若焊缝金属的Cu含量为过量,则上述的效果饱和。

[0125] 因而,焊缝金属的Cu含量设定为0~5.0%。

[0126] 焊缝金属的Cu含量的下限优选为0.3%、0.5%、或0.7%。

[0127] 焊缝金属的Cu含量的上限优选为4.5%、4.0%、或3.5%。

[0128] (Ni:1.0~30.0%)

[0129] Ni是奥氏体稳定化元素。若焊缝金属的Ni含量过低,则焊缝金属的奥氏体化变得难以进展,低温韧性劣化。

[0130] 另一方面,若增加焊缝金属的Ni含量,则焊缝金属的成本变高。

[0131] 因而,焊缝金属的Ni含量设定为1.0~30.0%。

- [0132] 焊缝金属的Ni含量的下限优选为2.0%、3.0%、3.2%、3.7%、5.0%、或7.0%。
- [0133] 焊缝金属的Ni含量的上限优选为28.0%、25.0%、23.0%、20.0%、18.0%、或15.0%。
- [0134] (Cr:0~20.0%)
- [0135] Cr是奥氏体稳定化元素,为了提高焊缝金属的低温韧性,也可以含有于焊缝金属中。
- [0136] 另一方面,若焊缝金属的Cr含量为过量,则熔融金属中的低熔点化合物的量增大,进而熔融金属的固液共存温度范围变宽,因此变得容易引起高温开裂。
- [0137] 因而,焊缝金属的Cr含量设定为0~20.0%。
- [0138] 焊缝金属的Cr含量的下限优选为1.0%、2.0%、或3.0%。
- [0139] 焊缝金属的Cr含量的上限优选为18.0%、15.8%、15.3%、15.0%、13.3%、13.0%、10.0%、9.0%、8.0%、或7.0%。
- [0140] (Mo:0~10.0%)
- [0141] Mo是析出强化元素,为了提高焊缝金属的强度,也可以含有于焊缝金属中。
- [0142] 另一方面,若焊缝金属的Mo含量为过量,则焊缝金属的强度变得过量,低温韧性降低。
- [0143] 因而,焊缝金属的Mo含量设定为0~10.0%。
- [0144] 焊缝金属的Mo含量的下限优选为1.0%、2.0%、或3.0%。
- [0145] 焊缝金属的Mo含量的上限优选为9.0%、8.0%、或7.0%。
- [0146] (Nb:0~1.000%)
- [0147] Nb是在焊缝金属中形成碳化物、使焊缝金属的强度上升的元素,因此也可以含有于焊缝金属中。
- [0148] 另一方面,若焊缝金属的Nb含量为过量,则有可能产生焊缝金属的高温开裂。
- [0149] 因而,焊缝金属的Nb含量设定为0~1.000%。
- [0150] 焊缝金属的Nb含量的下限优选为0.010%、0.050%、0.100%、0.150%、或0.200%。
- [0151] 焊缝金属的Nb含量的上限优选为0.950%、0.900%、0.850%、或0.800%。
- [0152] (V:0~1.00%)
- [0153] V是在焊缝金属中形成碳氮化物、使焊缝金属的强度上升的元素,因此也可以含有于焊缝金属中。
- [0154] 另一方面,若焊缝金属的V含量为过量,则有可能产生焊缝金属的高温开裂。
- [0155] 因而,焊缝金属的V含量设定为0~1.00%。
- [0156] 焊缝金属的V含量的下限优选为0.01%、0.05%、0.10%、0.15%、或0.20%。
- [0157] 焊缝金属的V含量的上限优选为0.95%、0.90%、0.85%、或0.80%。
- [0158] (Co:0~1.00%)
- [0159] Co是通过固溶强化、使焊缝金属的强度上升的元素,因此也可以含有于焊缝金属中。
- [0160] 另一方面,若焊缝金属的Co含量为过量,则焊缝金属的延展性降低,无法确保韧性。

- [0161] 因而,焊缝金属的Co含量设定为0~1.00%。
- [0162] 焊缝金属的Co含量的下限优选为0.01%、0.05%、0.10%、0.15%、或0.20%。
- [0163] 焊缝金属的Co含量的上限优选为0.95%、0.90%、0.85%、或0.80%。
- [0164] (Pb:0~1.00%)
- [0165] Pb具有提高作为母材的钢材与焊缝金属之间的缝边成形性且提高焊缝金属的切削性的效果,因此也可以含有于焊缝金属中。
- [0166] 另一方面,若焊缝金属的Pb含量为过量,则产生高温开裂。
- [0167] 因而,焊缝金属的Pb含量设定为0~1.00%。
- [0168] 焊缝金属的Pb含量的下限优选为0.01%、0.05%、0.10%、0.15%、或0.20%。
- [0169] 焊缝金属的Pb含量的上限优选为0.95%、0.90%、0.85%、或0.80%。
- [0170] (Sn:0~1.00%)
- [0171] Sn是提高焊缝金属的耐蚀性的元素,因此也可以含有于焊缝金属中。
- [0172] 另一方面,若焊缝金属的Sn含量为过量,则有可能产生焊缝金属中的开裂。
- [0173] 因而,焊缝金属的Sn含量设定为0~1.00%。
- [0174] 焊缝金属的Sn含量的下限优选为0.01%、0.05%、0.10%、0.15%、或0.20%。
- [0175] 焊缝金属的Sn含量的上限优选为0.95%、0.90%、0.85%、或0.80%。
- [0176] (W:0~20.0%)
- [0177] W是固溶强化元素,为了提高强度,也可以含有于焊缝金属中。
- [0178] 另一方面,若焊缝金属的W含量为过量,则有可能焊缝金属的强度变得过量,产生韧性降低。
- [0179] 因而,焊缝金属的W含量设定为0~20.0%。
- [0180] 焊缝金属的W含量的下限优选为0.5%、1.0%、或2.0%。
- [0181] 焊缝金属的W含量的上限优选为19.0%、18.0%、17.0%、16.0%、或15.0%。
- [0182] (Mg:0~5.0%)
- [0183] Mg是脱氧元素,对于减少氧、韧性的改善具有效果,因此也可以含有于焊缝金属中。
- [0184] 另一方面,若焊缝金属的Mg含量为过量,则在用于得到焊缝金属的焊接作业时电弧不稳定化,飞溅及气孔增加,使焊接作业性劣化。
- [0185] 因而,焊缝金属的Mg含量设定为0~5.0%。
- [0186] 焊缝金属的Mg含量的下限优选为0.02%、0.05%、0.1%、或0.2%。
- [0187] 焊缝金属的Mg含量的上限优选为4.8%、4.5%、4.3%、或4.0%。
- [0188] (Al:0~0.100%)
- [0189] Al是脱氧元素,为了抑制焊接缺陷及提高焊缝金属的洁净度,也可以含有于焊缝金属中。
- [0190] 另一方面,若焊缝金属的Al含量为过量,则有可能Al在焊缝金属中形成氮化物或氧化物,焊缝金属的低温韧性降低。
- [0191] 因而,焊缝金属的Al含量设定为0~0.100%。
- [0192] 焊缝金属的Al含量的下限优选为0.010%、0.020%、或0.030%。
- [0193] 焊缝金属的Al含量的上限优选为0.090%、0.080%、或0.070%。

[0194] (Ca:0~5.0%)

[0195] Ca由于具有在焊缝金属中使硫化物的结构发生变化、此外将焊缝金属中的硫化物及氧化物的尺寸微细化的作用,因此对焊缝金属的延展性及韧性提高是有效的。因此,也可以在焊缝金属中含有Ca。

[0196] 另一方面,若焊缝金属的Ca含量为过量,则有可能产生硫化物及氧化物的粗大化,导致焊缝金属的低温韧性的劣化。

[0197] 因而,焊缝金属的Ca含量设定为0~5.0%。

[0198] 焊缝金属的Ca含量的下限优选为0.01%、0.02%、或0.03%。

[0199] 焊缝金属的Ca含量的上限优选为4.8%、4.5%、4.3%、或4.0%。

[0200] (Ti:0~0.100%)

[0201] Ti是脱氧元素,为了抑制焊接缺陷及提高焊缝金属的洁净度,因此也可以含有于焊缝金属中。

[0202] 另一方面,若焊缝金属的Ti含量为过量,则有可能在焊缝金属中生成碳化物,使焊缝金属的韧性劣化。

[0203] 因而,焊缝金属的Ti含量设定为0~0.100%。

[0204] 焊缝金属的Ti含量的下限优选为0.003%、0.010%、0.020%、或0.030%。

[0205] 焊缝金属的Ti含量的上限优选为0.090%、0.080%、或0.070%。

[0206] (B:0~0.5000%)

[0207] B是奥氏体稳定化元素,也是间隙型固溶强化元素,为了提高焊缝金属的低温韧性及强度,也可以含有于焊缝金属中。

[0208] 另一方面,若焊缝金属的B含量为过量,则析出 $M_{23}(C,B)_6$,成为韧性劣化的原因。

[0209] 因而,焊缝金属的B含量设定为0~0.5000%。

[0210] 焊缝金属的B含量的下限优选为0.0005%、0.0010%、或0.0020%。

[0211] 焊缝金属的B含量的上限优选为0.4800%、0.4500%、0.4300%、或0.4000%。

[0212] (REM:0~0.500%)

[0213] REM是在用于得到焊缝金属的焊接作业时使电弧稳定化的元素,因此也可以含有于焊缝金属中。

[0214] 另一方面,若焊缝金属的REM含量为过量,则有可能在用于得到焊缝金属的焊接作业时飞溅变得剧烈,焊接作业性变得低劣。

[0215] 因而,焊缝金属的REM含量设定为0~0.500%。

[0216] 焊缝金属的REM含量的下限优选为0.001%、0.002%、或0.005%。

[0217] 焊缝金属的REM含量的上限优选为0.480%、0.450%、0.430%、或0.400%。

[0218] (Zr:0~0.500%)

[0219] Zr在用于得到焊缝金属的焊接作业时能够使焊道形状稳定化,因此也可以含有于焊缝金属中。

[0220] 另一方面,若焊缝金属的Zr含量为过量,则有可能使焊缝金属的氧量增加,使低温韧性劣化。

[0221] 因而,焊缝金属的Zr含量设定为0~0.500%。

[0222] 焊缝金属的Zr含量的下限优选为0.001%、0.002%、或0.005%。

- [0223] 焊缝金属的Zr含量的上限优选为0.480%、0.450%、0.430%、或0.400%。
- [0224] (N:0~0.5000%)
- [0225] N是奥氏体稳定化元素,也是间隙型固溶强化元素,为了提高焊缝金属的低温韧性及强度,也可以含有于焊缝金属中。
- [0226] 另一方面,若焊缝金属的N含量为过量,则熔断的产生增大,成为焊接缺陷的原因。
- [0227] 因而,焊缝金属的N含量设定为0~0.5000%。
- [0228] 焊缝金属的N含量的下限优选为0.0010%、0.0100%、或0.0500%。
- [0229] 焊缝金属的N含量的上限优选为0.4500%、0.4000%、或0.3500%。
- [0230] (O:0.0010~0.1500%)
- [0231] O作为杂质而含有于焊缝金属中。然而,若O的含量变得过量,则会导致韧性及延展性的劣化,因此焊缝金属的O含量的上限设定为0.1500%以下。
- [0232] 另一方面,O的含量的极端的降低会导致制造成本的上升,因此焊缝金属的O含量的下限设定为0.0010%以下。
- [0233] 焊缝金属的O含量的下限优选为0.0020%、或0.0030%。
- [0234] 焊缝金属的O含量的上限优选为0.1300%、或0.1000%。
- [0235] (剩余部分:Fe及杂质)
- [0236] 焊缝金属的化学成分中的其他的剩余部分成分为Fe及杂质。
- [0237] 杂质是指在工业上制造焊缝金属时因矿石或废铁等那样的原料、或制造工序的各种要因而混入的成分,是在对焊缝金属的特性不造成不良影响的范围内被容许的成分。
- [0238] (Mn含量及Ni含量的合计(Mn+Ni))
- [0239] Mn及Ni分别是奥氏体稳定化元素,使焊缝金属的低温韧性提高。另一方面,Ni是高价金属,因此为了抑制焊缝金属的成本,并且提高焊缝金属的低温韧性,焊缝金属中的Mn含量及Ni含量分别满足上述范围,并且将Mn含量及Ni含量的合计(Mn+Ni)设定为5.0%以上。
- [0240] 焊缝金属中的Mn含量及Ni含量的合计(Mn+Ni)优选为5.2%以上、6.2%以上、6.7%以上、7.0%以上、10.0%以上、或15.0%以上。
- [0241] 此外,若过度增多Mn,则堆垛层错能变低,韧性劣化。因此,从抑制焊缝金属的成本、提高焊缝金属的低温韧性的观点出发,优选的是:焊缝金属中的Mn含量及Ni含量分别满足上述范围,并且Mn含量及Ni含量的合计(Mn+Ni)设定为37.0%以下。
- [0242] 焊缝金属中的Mn含量及Ni含量的合计(Mn+Ni)更优选为35.0%以下、32.0%以下、或30.0%以下。
- [0243] (Mn含量、Ni含量及Cr含量的合计(Mn+Ni+Cr))
- [0244] Mn、Ni及Cr分别是奥氏体稳定化元素,使焊缝金属的低温韧性提高。另一方面,Ni是高价金属,因此为了抑制焊缝金属的成本,并且提高焊缝金属的低温韧性,优选的是:焊缝金属中的Mn含量、Ni含量及Cr含量分别满足上述范围,并且将Mn含量、Ni含量及Cr含量的合计(Mn+Ni+Cr)设定为15.0%以上。
- [0245] 焊缝金属中的Mn含量、Ni含量及Cr含量的合计(Mn+Ni+Cr)更优选为17.0%以上、19.0%以上、20.0%以上、22.0%以上、24.0%以上、26.0%以上、28.0%以上、或30.0%以上。

[0246] 另一方面,通过Mn含量不为过度的量,堆垛层错不会变得过低,能够确保韧性。此外,通过Cr含量不为过度的量,能够降低熔融金属中的低熔点化合物的量,进而能够抑制熔融金属的固液共存温度范围变宽,能够抑制高温开裂的产生。因此,从抑制焊缝金属的成本、提高焊缝金属的低温韧性、并且降低熔融金属中的低熔点化合物的产生量、抑制高温开裂的产生的观点出发,优选的是:焊缝金属中的Mn含量、Ni含量及Cr含量分别满足上述范围,并且Mn含量、Ni含量及Cr含量的合计(Mn+Ni+Cr)设定为47.0%以下。

[0247] 焊缝金属中的Mn含量、Ni含量及Cr含量的合计(Mn+Ni+Cr)更优选为45.0%以下、42.0%以下、或40.0%以下。

[0248] (Mn含量与Ni含量的质量比(Ni/Mn))

[0249] Mn及Ni分别是奥氏体稳定化元素,使焊缝金属的低温韧性提高。另一方面,Ni是高价金属,若进一步过度增多Mn则堆垛层错能变低,韧性劣化。

[0250] 因此,从抑制焊缝金属的成本、并且提高焊缝金属的低温韧性的观点出发,优选将焊缝金属中的Mn含量与Ni含量的质量比(Ni/Mn)设定为0.10以上。

[0251] 焊缝金属中的Mn含量与Ni含量的质量比(Ni/Mn)的下限更优选为0.20、0.30、0.50、0.70、0.73、1.00、1.10、或1.20。

[0252] 焊缝金属中的Mn含量与Ni含量的质量比(Ni/Mn)的上限优选为10.00、8.00、或5.00。

[0253] (Nb含量、Ti含量、V含量及Al含量的合计(Nb+Ti+V+Al))

[0254] Nb、Ti、V及Al都是通过析出强化而提高焊缝金属的强度的元素,因此焊缝金属含有它们中的1种以上,并且将其合计(Nb+Ti+V+Al)设定为0.005%以上。

[0255] 焊缝金属中的Nb、Ti、V及Al的合计(Nb+Ti+V+Al)的下限优选为0.010%、0.020%、0.050%、0.100%、0.300%、或0.500%。

[0256] 另一方面,焊缝金属中的Nb、Ti、V及Al的合计(Nb+Ti+V+Al)的上限没有特别限定,但为了防止因析出过量形成而引起的韧性劣化,优选为2.000%、1.800%、1.500%、或1.300%。

[0257] (通过磁感应法求出的fcc比例)

[0258] 为了提高焊缝金属的低温韧性,优选提高焊缝金属的组织中的奥氏体的比例。因此,优选将焊缝金属中的fcc比例设定为70%以上。fcc比例更优选为80%以上、或90%以上,也可以为100%。需要说明的是,组织的剩余部分为bcc。

[0259] 焊缝金属的组织中的fcc比例可以通过下述的方法来求出。

[0260] 从焊缝金属采集样品,在样品表面,使用FERITSCOPE(注册商标)FMP30(株式会社Fischer Instruments制),该测定器的探针使用株式会社Fischer Instruments制探针(FGAB 1.3-Fe),通过磁感应法来测定bcc比例(%),求出所测定的bcc比例的算术平均值。使用所得到的bcc比例的平均值,通过以下的式子求出焊缝金属的组织中的fcc比例(%)。

[0261] $fcc\text{比例} = 100 - bcc\text{比例}$

[0262] (抗拉强度)

[0263] 焊缝金属的抗拉强度例如优选设定为590~1200MPa。需要说明的是,抗拉强度可以通过依据JIS Z3111:2005进行焊缝金属的拉伸试验来测定。

[0264] <焊接接头及焊接结构物>

[0265] 接着,对本公开的焊接接头及焊接结构物进行说明。

[0266] 本公开的焊接接头具有本公开的焊缝金属。例如本公开的焊接接头具备成为母材的钢材和由焊缝金属及焊接热影响部构成的焊接部。

[0267] 此外,本公开的焊接结构物具有本公开的焊接接头。

[0268] 本公开的焊接接头由于具有本公开的焊缝金属,因此廉价,并且低温韧性优异。

[0269] 这里,对本公开的焊接接头的制造方法进行说明。

[0270] 需要说明的是,以下说明的制造方法是一个例子,制造本公开的焊接接头的方法并不限定于以下的方法。

[0271] 本公开的焊接接头可以通过使用焊接材料将成为母材的钢材进行焊接来制造。

[0272] 例如,本公开的焊接接头的制造方法可通过使用药芯焊丝将钢材进行气体保护弧焊来获得。该情况下,在焊缝金属的化学成分中,包含来源于作为焊接材料的药芯焊丝及作为母材的钢材的成分。

[0273] 此外,本公开的焊接接头的制造方法可通过使用实芯焊丝及焊剂进行埋弧焊来获得。例如在埋弧焊中,可以适用下述一般的埋弧焊设备:在焊接线上预先散布颗粒状的焊剂,向其中送入实芯焊丝,在焊剂中通过由实芯焊丝与钢材之间的电弧产生的电弧热进行焊接。该情况下,在焊缝金属的化学成分中,包含来源于作为焊接材料的实芯焊丝及焊剂、以及作为母材的钢材的成分。

[0274] 此外,本公开的焊接接头的制造方法例如通过涂药电弧焊、简易气体保护电弧焊、电渣焊、TIG焊接及使用了实芯焊丝的气体保护焊接等焊接方法来获得。该情况下,在焊缝金属的化学成分中,包含来源于焊接材料及作为母材的钢材的成分。

[0275] 本公开的焊接接头所具有的母材、即上述的焊接接头的制造方法中使用的钢材(被焊接材)的种类没有特别限定,但例如可以适宜使用板厚20mm以上的包含6~9%Ni的Ni系低温用钢。

[0276] 实施例

[0277] 接着,通过本公开例及比较例,对本公开的可实施性及效果进一步进行详细说明,但下述实施例并不限定本公开,遵循上述和后述的主旨进行设计变更都包含于本公开的技术范围内。

[0278] 通过以下所示的方法,利用使用了涂药焊条的涂药电弧焊(Shielded Metal Arc Welding: SMAW)、使用了药芯焊丝的气体保护弧焊(Gas Metal Arc Welding: GMAW)及使用了实芯焊丝及焊剂的埋弧焊(Submerged Arc Welding: SAW),得到焊缝金属。

[0279] <1. 使用了涂药焊条的涂药电弧焊(SMAW)>

[0280] (涂药焊条的制造)

[0281] 涂药焊条通过以下说明的方法来制造。

[0282] 首先,通过相对于具有表2-A、表2-B中所示的化学成分的焊芯,涂布具有表2-C中所示的成分的焊剂,在300~500°C的温度范围内在1~3小时的范围内进行烧成,试制涂药焊条。所得到的涂药焊条的最终焊条直径为 $\phi 6.0\text{mm}$,焊剂的平均厚度为1.0mm。将这些涂药焊条(编号1~3、15、A1、A4)的构成示于表2-A~表2-C中。

[0283] 表2-A、表2-B中所示的焊芯的化学成分的含量的单位为“相对于焊芯总质量的质量%”。此外,表2-C中所示的焊剂的成分(氧化物、氟化物及金属碳酸盐)的含量的单位为

“相对于焊剂的总质量的质量%”。

[0284] 表2-C中所示的“TiO₂”表示Ti氧化物的TiO₂换算值的合计,“SiO₂”表示Si氧化物的SiO₂换算值的合计,“Al₂O₃”表示Al氧化物的Al₂O₃换算值的合计,“MgO”表示Mg氧化物的MgO换算值的合计,“Na₂O”表示Na氧化物的Na₂O换算值的合计,“K₂O”表示K氧化物的K₂O换算值的合计。

[0285] 表2-A、表2-B中所示的焊芯的剩余部分(即,表中所示的各成分以外的成分)为铁及杂质。

[0286] 在表2-A~表2-C中,焊芯的化学成分及焊剂的成分的含量所涉及的表中的空栏是指该成分等的含量低于有效位数。这些成分等有时也以低于有效位数的含量不可避免地混入或生成。

[0287] (焊接接头的制造)

[0288] 使用所得到的涂药焊条(编号1~3、15、A1、A4),通过向上立焊进行涂药电弧焊来制造具有焊缝金属的焊接接头。作为焊接的钢板,使用板厚为50mm的9%Ni钢(依据JIS G 3127:2013SL9N590的钢板)。焊接时的焊接电流全部设定为交流,焊接条件设定为表5中记载的“涂药电弧焊(SMAW)”的条件。

[0289] 将所制造的焊接接头中的焊缝金属的化学成分示于表1-A~表1-C中(编号1~3、15、A1、A4)。需要说明的是,在表1-A~表1-C中,对脱离本公开中规定的范围的数值标注下划线。

[0290] <2.使用了药芯焊丝的气体保护弧焊(GMAW)>

[0291] (药芯焊丝的制造)

[0292] 药芯焊丝通过以下说明的方法来制造。

[0293] 首先,一边将钢带沿长度方向输送,一边使用成形辊进行成形而得到U型的开口管。通过该开口管的开口部向开口管内供给焊剂,将开口管的开口部的相对的边缘部进行对焊而得到无缝钢管。将该无缝钢管进行拉丝,得到没有狭缝状的间隙的药芯焊丝。

[0294] 像这样,试制最终的焊丝直径为φ1.2mm的药芯焊丝。

[0295] 需要说明的是,在这些药芯焊丝的拉丝作业的途中,将药芯焊丝在650~950°C的温度范围内进行4小时以上退火。试制后,在焊丝表面涂布润滑剂。将这些药芯焊丝(编号4~9、A2)的构成(焊丝整体的化学成分、焊剂的成分)示于表3-A~表3-C中。

[0296] 表3-A~表3-C中所示的焊丝整体的化学成分的含量、焊剂的成分(氧化物及氟化物)的含量的单位为“相对于药芯焊丝总质量的质量%”。表中“焊丝整体的化学成分”是指“除了氧化物及氟化物以外的焊丝的化学成分”。

[0297] 表3-A、表3-B中所示的焊丝整体的化学成分(即,表中所示的各成分以外的成分)为铁及杂质。

[0298] 表3-A、表3-B中所示的药芯焊丝中所含的各元素为钢制外皮或金属粉的形态。

[0299] 在表3-A~表3-C中,焊丝整体的化学成分及焊剂的成分的含量所涉及的表中的空栏是指该成分等的含量低于有效位数。这些成分等有时也以低于有效位数的含量不可避免地混入或生成。

[0300] (焊接接头的制造)

[0301] 使用所得到的药芯焊丝(编号4~9、A2),通过向上立焊进行气体保护弧焊来制造

具有焊缝金属的焊接接头。作为焊接的钢板,使用板厚为50mm的9%Ni钢(依据JIS G 3127SL9N590的钢板)。焊接时的焊接气体的种类设定为Ar-20%CO₂气体。焊接时的焊接电流全部设定为直流,焊丝的极性全部设定为正。焊接条件设定为表5中记载的“药芯焊丝(GMAW)”的条件。

[0302] 将所制造的焊接接头中的焊缝金属的化学成分示于表1-A~表1-C中(编号4~9、A2)。需要说明的是,在表1-A~表1-C中,对脱离本公开中规定的范围的数值标注下划线。

[0303] <3. 使用了实芯焊丝及焊剂的埋弧焊(SAW)>

[0304] (实芯焊丝的制造)

[0305] 实芯焊丝通过以下说明的方法来制造。

[0306] 首先,将具有表4-A、表4-B中所示的化学成分的钢熔化,之后实施锻造加工。之后,经由轧制加工将该钢加工成棒状,通过将该棒状的钢进行拉丝,得到实芯焊丝。按照这样试制了最终的焊丝直径为 ϕ 2.4mm的实芯焊丝(编号10~14、16~17、A3、A5)。

[0307] 需要说明的是,对所得到的实芯焊丝的化学成分进行分析,结果具有表4-A、表4-B中所示的化学成分。试制后,在焊丝表面涂布润滑剂。

[0308] 表4-A、表4-B中所示的焊丝的化学成分的含量的单位为“相对于实芯焊丝总质量的质量%”。

[0309] 表4-A、表4-B中所示的焊丝的剩余部分(即,表中所示的各成分以外的成分)为铁及杂质。

[0310] 在表4-A、表4-B中,焊丝的化学成分的含量所涉及的表中的空栏是指该化学成分的含量低于有效位数。这些化学成分有时也以低于有效位数的含量不可避免地混入或生成。

[0311] (焊接接头的制造)

[0312] 使用所得到的实芯焊丝(编号10~14、16~17、A3、A5),通过埋弧焊向下进行焊接,制造具有焊缝金属的焊接接头。具体而言,将实芯焊丝与作为埋弧焊用焊剂的NIPPON STEEL WELDING&ENGINEERING公司制NITTETSU FLUX 10H组合使用而进行埋弧焊。

[0313] 作为焊接的钢板,使用了板厚为40mm的9%Ni钢(依据JIS G 3127SL9N590的钢板)。焊接时的焊接电流全部设定为直流,焊丝的极性全部设定为正。焊接条件设定为表5中记载的“埋弧焊(SAW)”的条件。

[0314] 将所制造的焊接接头中的焊缝金属的化学成分示于表1-A~表1-C中(编号10~14、16~17、A3、A5)。需要说明的是,在表1-A~表1-C中,对脱离本公开中规定的范围的数值标注下划线。

[0315] <评价试验>

[0316] (低温韧性的评价)

[0317] 从本公开例及比较例中得到的焊缝金属(编号1~17、A1~A5)的板厚方向中心采集3片冲击试验片(缺口深度2mm的V缺口试验片)。

[0318] 对3片冲击试验片,在-196℃下实施依据JIS Z2242:2005的夏比冲击试验。

[0319] 然后,将3片冲击试验片的-196℃下的夏比冲击吸收功平均值为34J以上的情况设定为“优”,将27J以上且低于34J的情况设定为“合格”,将低于27J的情况设定为“不合格”。

[0320]

表1-A

编号	区分	焊接方法	化学成分 (质量%) (剩余部分为Fe及杂质)										
			C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Nb	V
1	本公开例	SMAW	0.570	0.32	16.8	0.017	0.010		24.5	4.7	6.9		1.00
2	本公开例	SMAW	0.120	0.25	22.8	0.024	0.009		1.9	9.2	7.2	0.937	
3	本公开例	SMAW	0.340	0.30	8.0	0.009	0.009		12.0	7.0	3.0	0.020	
4	本公开例	GMAW	0.510	0.29	22.0	0.036	0.010	1.3	27.5	18.0		0.596	
5	本公开例	GMAW	0.380	0.36	24.3	0.012	0.042		12.2	2.0	5.4	0.115	
6	本公开例	GMAW	0.357	0.43	9.1	0.009	0.009		17.1	7.4	3.4	0.018	
7	本公开例	GMAW	0.770	0.36	15.5	0.017	0.032	1.5	14.6	0.6	0.4		0.56
8	本公开例	GMAW	0.450	0.17	14.2	0.045	0.028		18.9		6.4		0.15
9	本公开例	GMAW	0.590	0.43	28.0	0.026	0.036		11.5		7.4		0.40
10	本公开例	SAW	0.720	0.32	24.9	0.027	0.039		21.9	6.5	9.4	0.720	
11	本公开例	SAW	0.390	0.23	27.3	0.013	0.004		17.8	4.3		0.352	
12	本公开例	SAW	0.430	0.25	12.5	0.009	0.009		12.8		2.1	0.028	
13	本公开例	SAW	0.950	0.13	5.0	0.014	0.001		21.9	7.2	0.3	0.138	0.70
14	本公开例	SAW	0.130	0.12	27.4	0.034	0.048	3.3	2.7	2.2		0.586	0.83
15	本公开例	SMAW	0.340	0.05	5.0	0.009	0.009		4.0	7.0	3.0	0.020	
16	本公开例	SAW	0.670	0.08	15.2	0.014	0.001		28.0	7.2	0.3		
17	本公开例	SAW	0.200	0.20	4.5	0.007	0.008		15.0	5.0	5.0		0.12
A1	比较例	SMAW	0.910	0.41	8.7	0.004	0.046		23.5				
A2	比较例	GMAW	0.090	0.30	1.0	0.045	0.016		2.0	6.3	6.9		
A3	比较例	SAW	0.090	0.19	35.0	0.024	0.029		5.8		7.3		0.89
A4	比较例	SMAW	0.340	0.30	3.0	0.009	0.009		5.0	8.0	3.0		
A5	比较例	SAW	0.510	0.29	29.0	0.036	0.010	1.3	0.5			0.125	

[0321]

表1-B

编号	区分	化学成分 (质量%) (剩余部分为Fe及杂质)												
		Co	Pb	Sn	W	Mg	Al	Ca	Ti	B	REM	Zr	N	
1	本公开例	0.55	0.08		4.3	4.6	0.016							0.1021
2	本公开例	0.24		0.15	13.8									0.0979
3	本公开例	0.09					0.015	0.010						0.0180
4	本公开例	0.35	0.66						0.3273	0.045				0.3850
5	本公开例	0.76					0.058	1.5	0.028					0.0880
6	本公开例						0.009		0.054	0.0010				0.0145
7	本公开例			0.06					0.018				0.057	0.0182
8	本公开例	0.97				4.7			0.026				0.046	0.0175
9	本公开例				10.2					0.3406				0.0082
10	本公开例				10.1			1.2		0.2640				0.1314
11	本公开例	0.80	0.41		2.5									0.0902
12	本公开例	0.01					0.030							0.0098
13	本公开例					4.2					0.095	0.045		0.0169
14	本公开例					5.0			0.031	0.0480	0.044			0.0197
15	本公开例						0.015		0.010					0.0180
16	本公开例						0.009		0.054					0.0169
17	本公开例													0.0245
A1	比较例			0.25	6.8	2.8	0.003	2.4			0.035			0.0182
A2	比较例	0.19					0.096		0.033		0.090	0.100		0.1314
A3	比较例				5.8									0.0102
A4	比较例	0.09							0.010					0.0180
A5	比较例													0.3850

[0322]

表1-C

编号	区分	化学成分 (质量%) (剩余部分为Fe及杂质)					fcc比例 (%)
		O	Mn+Ni	Nb+Ti+V+Al	Mn/Ni	Mn+Ni+Cr	
1	本公开例	0.0188	41.3	1.016	0.69	46.0	100
2	本公开例	0.0200	24.7	0.937	12.00	33.9	100
3	本公开例	0.0239	20.0	0.045	0.67	27.0	100
4	本公开例	0.0455	49.5	0.596	0.80	67.5	100
5	本公开例	0.0413	36.5	0.201	1.99	38.5	100
6	本公开例	0.0471	26.2	0.081	0.53	33.6	100
7	本公开例	0.0587	30.1	0.578	1.06	30.7	100
8	本公开例	0.0606	33.1	0.176	0.75	33.1	100
9	本公开例	0.0686	39.5	0.400	2.43	39.5	100
10	本公开例	0.0097	46.8	0.720	1.14	53.3	100
11	本公开例	0.0094	45.1	0.352	1.53	49.4	100
12	本公开例	0.0195	25.3	0.058	0.98	25.3	100
13	本公开例	0.0233	26.9	0.838	0.23	34.1	100
14	本公开例	0.0153	30.1	1.447	10.15	32.3	98
15	本公开例	0.0239	9.0	0.045	1.25	16.0	89
16	本公开例	0.0283	43.2	0.063	0.54	50.4	100
17	本公开例	0.0215	19.5	0.120	0.30	24.5	72
A1	比较例	0.0195	32.2	0.003	0.37	32.2	100
A2	比较例	0.0307	3.0	0.129	0.50	9.3	0
A3	比较例	0.0041	40.8	0.890	6.03	40.8	100
A4	比较例	0.0239	8.0	0.010	0.60	16.0	65
A5	比较例	0.0455	29.5	0.125	58.00	29.5	100

[0323]

表2-A

编号	区分	焊接方法	焊芯的化学成分 (质量%) (剩余部分为Fe及杂质)										
			C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Nb	V
1	本公开例	SMAW	0.570	0.400	21.000	0.002	0.010		24.500	4.700	6.900		1.000
2	本公开例	SMAW	0.120	0.313	28.500	0.002	0.009		1.900	9.200	7.200	0.937	
3	本公开例	SMAW	0.340	0.375	10.000	0.001	0.009		12.000	7.000	3.000	0.020	
15	本公开例	SMAW	0.340	0.063	6.250	0.001	0.009		4.000	7.000	3.000	0.020	
A1	比较例	SMAW	0.200	0.250	5.625	0.001	0.008		15.000	5.000	5.000		0.120
A4	比较例	SMAW	0.340	0.375	3.750	0.001	0.009		5.000	8.000	3.000		

[0324]

表2-B

编号	区分	焊芯的化学成分 (质量%) (剩余部分为Fe及杂质)														
		Co	Pb	Sn	W	Mg	Al	Ca	Ti	B	REM	Zr	N			
1	本公开例	0.550	0.080		4.300	9.200	1.600									0.085
2	本公开例	0.240		0.150	13.800											0.082
3	本公开例	0.090					1.500				0.014					0.015
15	本公开例						1.500				0.014					0.015
A1	比较例															0.020
A4	比较例	0.090									0.014					0.015

[0325]

表2-C

编号	区分	焊剂的成分							
		TiO ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	CaF ₂	CaCO ₃
1	本公开例		6.3	4.6	0.1	1.3	1.3	23.0	63.4
2	本公开例	10.0	10.0	7.5				2.5	70.0
3	本公开例		6.3	4.6	0.1	1.3	1.3	23.0	63.4
15	本公开例	10.0	10.0	7.5				2.5	70.0
A1	比较例		6.3	4.6	0.1	1.3	1.3	23.0	63.4
A4	比较例	10.0	10.0	7.5				20.0	52.6

[0326]

表3-A

编号	区分	焊接方法	焊丝整体的化学成分 (质量%) (剩余部分为Fe及杂质)										
			C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Nb	V
4	本公开例	GMAW	0.510	0.363	27.500	0.003	0.010	1.300	27.500	18.000		0.596	
5	本公开例	GMAW	0.380	0.450	30.375	0.001	0.042		12.200	2.000	5.400	0.115	
6	本公开例	GMAW	0.357	0.538	11.425	0.001	0.009		17.100	7.400	3.400	0.018	
7	本公开例	GMAW	0.770	0.450	19.375	0.002	0.032	1.500	14.600	0.600	0.400		0.560
8	本公开例	GMAW	0.450	0.213	17.750	0.004	0.028		18.900		6.400		0.150
9	本公开例	GMAW	0.590	0.538	35.000	0.002	0.036		11.500		7.400		0.400
A2	比较例	GMAW	0.090	0.375	1.250	0.004	0.016		2.000	6.300	6.900		

[0327]

表3-B

编号	区分	焊丝整体的化学成分 (质量%) (剩余部分为Fe及杂质)												
		Co	Pb	Sn	W	Mg	Al	Ca	Ti	B	REM	Zr	N	
4	本公开例	0.350	0.660							0.385	0.090			0.321
5	本公开例	0.760					5.800	3.000	0.040					0.073
6	本公开例						0.900		0.077	0.001				0.012
7	本公开例			0.060					0.026				0.114	0.015
8	本公开例	0.970				9.400			0.037				0.092	0.015
9	本公开例				10.200					0.401				0.007
A2	比较例	0.190					9.600		0.047		0.180	0.200		0.110

[0328]

表3-C

编号	区分	焊剂的成分							
		TiO ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	CaF ₂	
4	本公开例	5.0	1.0			0.1	0.1		0.1
5	本公开例		0.1	7.5					
6	本公开例	5.0	1.0			0.1	0.1		0.1
7	本公开例		0.1	7.5					
8	本公开例	5.0	1.0			0.1	0.1		0.1
9	本公开例		0.1	7.5					
A2	比较例	5.0	1.0			0.1	0.1		0.1

[0329]

表4-A

焊丝 编号	区分	焊接 方法	焊丝的化学成分 (质量%) (剩余部分为Fe及杂质)											
			C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Nb	V	
10	本公开例	SAW	0.864	0.480	37.350	0.003	0.047		26.280	7.800	10.890	0.650		
11	本公开例	SAW	0.468	0.345	40.950	0.001	0.005		21.360	5.160		0.422		
12	本公开例	SAW	0.516	0.375	18.750	0.001	0.011		15.360		2.520	0.034		
13	本公开例	SAW	1.140	0.195	7.500	0.002	0.001		26.280	8.640	0.360	0.166	0.840	
14	本公开例	SAW	0.156	0.180	41.100	0.004	0.058	3.960	3.240	2.640		0.703	0.996	
16	本公开例	SAW	0.240	0.300	6.750	0.001	0.010		18.000	6.000	6.000		0.144	
17	本公开例	SAW	0.240	0.300	6.750	0.001	0.010		18.000	6.000	6.000		0.144	
A3	比较例	SAW	0.108	0.285	52.500	0.003	0.035		6.960		8.760		1.068	
A5	比较例	SAW	0.612	0.435	43.500	0.004	0.012	1.560	0.600			0.150		

[0330]

表4-B

焊丝 编号	区分	焊丝的化学成分 (质量%) (剩余部分为Fe及杂质)												
		Co	Pb	Sn	W	Mg	Al	Ca	Ti	B	REM	Zr	N	
10	本公开例				12.120		2.880			0.373				0.131
11	本公开例	0.960	0.492		3.000									0.090
12	本公开例	0.012					3.600							0.010
13	本公开例					10.080							0.228	0.017
14	本公开例					12.000			0.053	0.068			0.106	0.020
16	本公开例													0.025
17	本公开例													0.025
A3	比较例				6.960									0.010
A5	比较例													0.385

[0331] 表5

焊接方法	电流	电压	速度	热量输入
	A	V	mm/min	kJ/mm
[0332] 涂药电弧焊 (SMAW)	140	22	160	1.2
药芯焊丝 (GMAW)	200	31	350	1.1
埋弧焊 (SAW)	360	30	350	1.9

[0333] 表6

[0334]

编号	区分	低温韧性
1	本公开例	合格
2	本公开例	优
3	本公开例	合格
4	本公开例	合格
5	本公开例	优
6	本公开例	合格
7	本公开例	优
8	本公开例	合格
9	本公开例	优
10	本公开例	优
11	本公开例	优
12	本公开例	合格
13	本公开例	合格
14	本公开例	优
15	本公开例	优
16	本公开例	合格
17	本公开例	合格
A1	比较例	不合格
A2	比较例	不合格
A3	比较例	不合格
A4	比较例	不合格
A5	比较例	不合格

[0335] 获知:本公开例的焊缝金属的低温韧性优异。

[0336] 另一方面,比较例由于不满足本公开中规定的要件中的任一者,因此低温韧性不合格。