(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 119301287 A
(43)申请公布日 2025.01.10

(21)申请号 202380044299.8
(22)申请日 2023.06.06
(30)优先权数据
2022-092268 2022.06.07 JP
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2024.12.02
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2023/020959 2023.06.06
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2023/238851 JA 2023.12.14
(71)申请人 日本制铁株式会社
地址 日本
(72)发明人 大泷奈央 浜口友彰 小薄孝裕 田中克树
(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)
C22C 38/58(2006.01)
C21D 8/10(2006.01)

权利要求书1页 说明书18页 附图1页

(54)发明名称

奥氏体系不锈钢合金材料

(57)摘要

本发明提供具有优异的蠕变强度和优异的耐应力松弛裂纹性的奥氏体系不锈钢合金材料。本公开的奥氏体系不锈钢合金材料以质量%计含有C:0.03~0.12%、Si:0.05~2.00%、Mn:0.05~3.00%、P:0.03%以下、S:0.010%以下、Ni:18.0%以上且小于25.0%、Cr:22.0%以上且小于30.0%、Co:0.04~0.80%、Ti:0.002~0.010%、Nb:0.1~1.0%、V:0.01~1.00%、Al:0.001%以上且小于0.030%、和N:0.10~0.35%,所述奥氏体系不锈钢合金材料的圆当量直径为0.5~2.0μm的析出物的个数密度为5000个/mm^2以上。

CN 119301287 A

1.一种奥氏体系不锈钢合金材料,其以质量%计含有

C:0.03~0.12%、

Si:0.05~2.00%、

Mn:0.05~3.00%、

P:0.03%以下、

S:0.010%以下、

Ni:18.0%以上且小于25.0%、

Cr:22.0%以上且小于30.0%、

Co:0.04~0.80%、

Ti:0.002~0.010%、

Nb:0.1~1.0%、

V:0.01~1.00%、

Al:0.001%以上且小于0.030%、

N:0.10~0.35%、

Mo:0~1.00%、

W:0~1.00%、

B:0~0.010%、和

Ca:0~0.0100%,并且

余量为Fe和杂质,

所述奥氏体系不锈钢合金材料的圆当量直径为0.5~2.0μm的析出物的个数密度为5000个/mm^2以上。

2.根据权利要求1所述的奥氏体系不锈钢合金材料,其含有选自由

Mo:0.01~1.00%、

W:0.01~1.00%、

B:0.001~0.010%、和

Ca:0.0001~0.0100%组成的组中的一种以上元素。

奥氏体系不锈钢合金材料

技术领域

[0001] 本公开涉及合金材料,更详细而言涉及奥氏体系不锈钢合金材料。

背景技术

[0002] 作为煤炭火力锅炉、生物质锅炉和HRSG(Heat Recovery Steam Generator:余热锅炉)等锅炉用途的材料,使用奥氏体系不锈钢合金材料。在用于这些锅炉用途的材料中,要求高温环境下的优异的蠕变强度。

[0003] 提高蠕变强度的奥氏体系不锈钢合金材料在国际公开第2009/044796号(专利文献1)和日本特开2004-250783号公报(专利文献2)中被提出。

[0004] 专利文献1所公开的奥氏体系不锈钢合金材料以质量%计含有C:0.04~0.18%、Si:1.5%以下、Mn:2.0%以下、Ni:6~30%、Cr:15~30%、N:0.03~0.35%、和sol.Al:0.03%以下,并且含有Nb:1.0%以下、V:0.5%以下和Ti:0.5%以下中的一种或两种以上元素,余量为Fe和杂质。在该合金材料中,P1(=S+{(P+Sn)/2}+{(As+Zn+Pb+Sb)/5})还为0.06以下,P2(=Nb+2(V+Ti))还为0.2~1.7-10×P1。在该文献所公开的合金材料中,通过将作为Nb、V和Ti的指标的P2设为0.2以上,从而在高温环境下使用时会生成析出物,提高蠕变强度。

[0005] 专利文献2所公开的奥氏体系不锈钢合金材料以质量%计含有C:0.03~0.12%、Si:0.2~2%、Mn:0.1~3%、P:0.03%以下、S:0.01%以下、Ni:超过18%且小于25%、Cr:超过22%且小于30%、Co:0.04~0.8%、Ti:0.002%以上且小于0.01%、Nb:0.1~1%、V:0.01~1%、B:超过0.0005%且为0.2%以下、sol.Al:0.0005%以上且小于0.03%、N:0.1~0.35%、和O(氧):0.001~0.008%,余量为Fe和杂质。在该文献所公开的合金材料中,通过含有Ti、Nb和V,从而在高温环境下使用时会生成析出物,提高蠕变强度。

[0006] 现有技术文献

[0007] 专利文献

[0008] 专利文献1:国际公开第2009/044796号

[0009] 专利文献2:日本特开2004-250783号公报

发明内容

[0010] 发明要解决的问题

[0011] 然而,锅炉用途的奥氏体系不锈钢合金材料在应用于锅炉的情况下会被焊接或被实施弯曲加工。应用于锅炉的奥氏体系不锈钢合金材料会长时间使用在500~750℃的高温区域中。此时,在奥氏体系不锈钢合金材料的焊接部、受到弯曲加工的部分处,会产生残余应力的松弛。由于残余应力的松弛,因此在晶粒内生成析出物而使晶粒内硬化。因此,在晶界处会累积蠕变应变,有时在晶界处产生裂纹。将这样的裂纹称作应力松弛裂纹。

[0012] 在锅炉用途的奥氏体系不锈钢合金材料中,不仅要求优异的蠕变强度,还要求优异的耐应力松弛裂纹性。在上述专利文献中,虽然进行了与蠕变强度有关的研究,但未进行

与耐应力松弛裂纹性有关的研究。

[0013] 本公开的目的在于,提供具有优异的蠕变强度和优异的耐应力松弛裂纹性的奥氏体系不锈钢合金材料。

[0014] 用于解决问题的方案

[0015] 本公开的奥氏体系不锈钢合金材料以质量%计含有

[0016] C:0.03~0.12%、

[0017] Si:0.05~2.00%、

[0018] Mn:0.05~3.00%、

[0019] P:0.03%以下、

[0020] S:0.010%以下、

[0021] Ni:18.0%以上且小于25.0%、

[0022] Cr:22.0%以上且小于30.0%、

[0023] Co:0.04~0.80%、

[0024] Ti:0.002~0.010%、

[0025] Nb:0.1~1.0%、

[0026] V:0.01~1.00%、

[0027] Al:0.001%以上且小于0.030%、

[0028] N:0.10~0.35%、

[0029] Mo:0~1.00%、

[0030] W:0~1.00%、

[0031] B:0~0.010%、和

[0032] Ca:0~0.0100%,并且

[0033] 余量为Fe和杂质,

[0034] 所述奥氏体系不锈钢合金材料的圆当量直径为0.5~2.0μm的析出物的个数密度为5000个/mm^2以上。

[0035] 发明的效果

[0036] 本公开的奥氏体系不锈钢合金材料具有优异的蠕变强度和优异的耐应力松弛裂纹性。

附图说明

[0037] 图1是在耐应力松弛裂纹性评价试验中使用的、C环型拘束焊接裂纹试验片的立体图。

[0038] 图2是用于说明使用了图1所示的C环型拘束焊接裂纹试验片的耐应力松弛裂纹性评价试验的方法的示意图。

[0039] 图3是在实施例中的耐应力松弛裂纹性评价试验中、C环型拘束焊接裂纹试验片的与管轴方向垂直的截面中的切口底附近部分的放大图。

具体实施方式

[0040] 本发明人等对能够兼顾优异的蠕变强度和优异的耐应力松弛裂纹性的奥氏体系

不锈钢合金材料进行了研究。首先,本发明人等从化学组成的观点出发,尝试兼顾优异的蠕变强度和优异的耐应力松弛裂纹性。其结果是,认为,若为如下的化学组成,则有可能能够兼顾优异的蠕变强度和优异的耐应力松弛裂纹性:其以质量%计含有C:0.03~0.12%、Si:0.05~2.00%、Mn:0.05~3.00%、P:0.03%以下、S:0.010%以下、Ni:18.0%以上且小于25.0%、Cr:22.0%以上且小于30.0%、Co:0.04~0.80%、Ti:0.002~0.010%、Nb:0.1~1.0%、V:0.01~1.00%、Al:0.001%以上且小于0.030%、N:0.10~0.35%、Mo:0~1.00%、W:0~1.00%、B:0~0.010%、和Ca:0~0.0100%,并且余量为Fe和杂质。

[0041] 因此,本发明人等在满足上述化学组成的奥氏体系不锈钢合金材料中,进一步从微观组织的观点出发,研究了如何兼顾优异的蠕变强度和优异的耐应力松弛裂纹性。

[0042] 通常,在锅炉用途的奥氏体系不锈钢合金材料中,在高温环境下的使用中,会生成Ti析出物、Nb析出物和V析出物这样的微细的析出物,通过这些析出物的析出强化,从而提高蠕变强度。因此,在专利文献1、专利文献2所公开的奥氏体系不锈钢合金材料中,在制造工序的最终阶段实施热处理(固溶处理)。由此,使奥氏体系不锈钢合金材料中的析出物尽量溶解,使Ti、Nb、V成为固溶状态。这是为了在高温环境下使用奥氏体系不锈钢合金材料时,利用这些固溶元素来形成微细析出物而提高蠕变强度。

[0043] 然而,本发明人等认为,通过不像以前那样尽量预先减少奥氏体系不锈钢合金材料中的析出物以使Ti、Nb和V为固溶状态,而是特意使微细的析出物预先存在于奥氏体系不锈钢合金材料中,应该不仅能够提高蠕变强度,还能够提高耐应力松弛裂纹性。

[0044] 通过预先存在于奥氏体系不锈钢合金材料中的微细的析出物的钉扎效应,从而能够将奥氏体系不锈钢合金材料的晶粒维持得较微细。在这种情况下,合金材料中的晶界面积增大。通过晶界面积的增大,从而能够提高耐应力松弛裂纹性。

[0045] 另一方面,在析出物预先存在于奥氏体系不锈钢合金材料中的情况下,在高温环境下的使用中难以生成新的微细析出物。并且,也能够想到在高温环境下的使用中,现有的析出物会粗大化。在这种情况下,可能无法获得充分的蠕变强度。然而,本发明人等的研究结果发现,在使用于锅炉用途之前的具有上述化学组成的奥氏体系不锈钢合金材料中,若圆当量直径为0.5~2.0μm的析出物存在5000个/mm^2以上,则即使在高温环境下的使用中,也能够得到充分的蠕变强度。

[0046] 基于以上的见解,本发明人等发现,通过不像专利文献1和专利文献2记载的以往的奥氏体系不锈钢合金材料那样尽量减少合金材料中的析出物以提高高温环境下的蠕变强度,而是在奥氏体系不锈钢合金材料中特意使微细的析出物存在5000个/mm^2以上,能够兼顾优异的蠕变强度和优异的耐应力松弛裂纹,从而完成了本实施方式的奥氏体系不锈钢合金材料。

[0047] 基于以上的技术思想而完成的本实施方式的奥氏体系不锈钢合金材料具有如下构成。

[0048] [1]一种奥氏体系不锈钢合金材料,其以质量%计含有

[0049] C:0.03~0.12%、

[0050] Si:0.05~2.00%、

[0051] Mn:0.05~3.00%、

[0052] P:0.03%以下、

[0053] S:0.010％以下、

[0054] Ni:18.0％以上且小于25.0％、

[0055] Cr:22.0％以上且小于30.0％、

[0056] Co:0.04～0.80％、

[0057] Ti:0.002～0.010％、

[0058] Nb:0.1～1.0％、

[0059] V:0.01～1.00％、

[0060] Al:0.001％以上且小于0.030％、

[0061] N:0.10～0.35％、

[0062] Mo:0～1.00％、

[0063] W:0～1.00％、

[0064] B:0～0.010％、和

[0065] Ca:0～0.0100％,并且

[0066] 余量为Fe和杂质,

[0067] 所述奥氏体系不锈钢合金材料的圆当量直径为0.5～2.0μm的析出物的个数密度为5000个/mm^2以上。

[0068] [2]根据[1]所述的奥氏体系不锈钢合金材料,其含有选自由

[0069] Mo:0.01～1.00％、

[0070] W:0.01～1.00％、

[0071] B:0.001～0.010％、和

[0072] Ca:0.0001～0.0100％组成的组中的一种以上元素。

[0073] 以下,详细叙述本实施方式的奥氏体系不锈钢合金材料。

[0074] [本实施方式的合金材料的特征]

[0075] 本实施方式的奥氏体系不锈钢合金材料满足如下特征1和特征2。

[0076] (特征1)

[0077] 化学组成以质量％计含有C:0.03～0.12％、Si:0.05～2.00％、Mn:0.05～3.00％、P:0.03％以下、S:0.010％以下、Ni:18.0％以上且小于25.0％、Cr:22.0％以上且小于30.0％、Co:0.04～0.80％、Ti:0.002～0.010％、Nb:0.1～1.0％、V:0.01～1.00％、Al:0.001％以上且小于0.030％、N:0.10～0.35％、Mo:0～1.00％、W:0～1.00％、B:0～0.010％、和Ca:0～0.0100％,并且余量为Fe和杂质。

[0078] (特征2)

[0079] 圆当量直径为0.5～2.0μm的析出物的个数密度为5000个/mm^2以上。

[0080] 以下,说明特征1和特征2。

[0081] [关于(特征1)化学组成]

[0082] [关于必需元素(Essential Elements)]

[0083] 本实施方式的奥氏体系不锈钢合金材料的化学组成含有如下元素。

[0084] C:0.03～0.12％

[0085] 碳(C)提高高温环境下的合金材料的蠕变强度。若C含量小于0.03％,则即使其他元素含量在本实施方式的范围内,也无法充分地得到上述效果。

[0086] 另一方面,若C含量超过0.12%,即使其他元素含量在本实施方式的范围内,也会在晶界处生成$M_{23}C_6$型的Cr碳化物。在这种情况下,在晶界处生成贫Cr区域。因此,合金材料的耐应力松弛裂纹性降低。

[0087] 因而,C含量为0.03~0.12%。

[0088] C含量的优选下限超过0.03%,进一步优选为0.04%,进一步优选为0.05%。

[0089] C含量的优选上限为0.11%,进一步优选为0.10%,进一步优选为0.09%。

[0090] Si:0.05~2.00%

[0091] 硅(Si)在制钢工序中使合金脱氧。Si还提高合金材料在高温环境下的耐氧化性。若Si含量小于0.05%,则即使其他元素含量在本实施方式的范围内,也无法充分地得到上述效果。

[0092] 另一方面,若Si含量超过2.00%,则即使其他元素含量在本实施方式的范围内,耐焊接热裂纹性也降低。

[0093] 因而,Si含量为0.05~2.00%。

[0094] Si含量的优选下限为0.10%,进一步优选为0.15%,进一步优选为0.18%,进一步优选为0.20%。

[0095] Si含量的优选上限为1.80%,进一步优选为1.60%,进一步优选为1.40%,进一步优选为1.30%,进一步优选为1.25%。

[0096] Mn:0.05~3.00%

[0097] 锰(Mn)在焊接施工时使合金材料的焊接部脱氧。Mn还使奥氏体稳定化。若Mn小于0.05%,则即使其他元素含量在本实施方式的范围内,也无法充分地得到上述效果。

[0098] 另一方面,若Mn含量超过3.00%,则即使其他元素含量在本实施方式的范围内,在高温环境下使用时也容易生成sigma相(σ相)。σ相会降低高温环境下的合金材料的韧性和蠕变延展性。

[0099] 因而,Mn含量为0.05~3.00%。

[0100] Mn含量的优选下限为0.10%,进一步优选为0.15%,进一步优选为0.20%,进一步优选为0.30%,进一步优选为0.40%,进一步优选为0.45%。

[0101] Mn含量的优选上限小于3.00%,进一步优选为2.99%,进一步优选为2.95%,进一步优选为2.90%,进一步优选为2.80%,进一步优选为2.60%,进一步优选为2.40%,进一步优选为2.35%,进一步优选为2.20%,进一步优选为2.00%。

[0102] P:0.03%以下

[0103] 不可避免地含有磷(P)。即,P含量超过0%。

[0104] P在合金材料的晶界处偏析。若P含量超过0.03%,则即使其他元素含量在本实施方式的范围内,也会发生上述偏析,从而耐应力松弛裂纹性降低。

[0105] 因而,P含量为0.03%以下。

[0106] P含量优选尽量低。然而,P含量的过度减少会提高合金材料的制造成本。因而,若考虑通常的工业生产,则P含量的优选下限为0.01%。

[0107] P含量的优选上限为0.02%。

[0108] S:0.010%以下

[0109] 不可避免地含有硫(S)。即,S含量超过0%。

[0110] S在合金材料的晶界处偏析。若S含量超过0.010％,则即使其他元素含量在本实施方式的范围内,也会发生上述偏析,从而耐应力松弛裂纹性降低。

[0111] 因而,S含量为0.010％以下。

[0112] S含量优选尽量低。然而,S含量的过度减少会提高合金材料的制造成本。因而,若考虑通常的工业生产,则S含量的优选下限为0.001％。

[0113] S含量的优选上限为0.008％,进一步优选为0.006％,进一步优选为0.004％,进一步优选为0.003％。

[0114] Ni:18.0％以上且小于25.0％

[0115] 镍(Ni)使奥氏体稳定化、提高高温环境下的合金材料的蠕变强度。若Ni含量小于18.0％,则即使其他元素含量在本实施方式的范围内,也无法充分地得到上述效果。

[0116] 另一方面,若Ni含量为25.0％以上,则上述效果达到饱和。并且,制造成本变高。

[0117] 因而,Ni含量为18.0％以上且小于25.0％。

[0118] Ni含量的优选下限为18.4％,进一步优选为18.8％,进一步优选为19.2％,进一步优选为19.5％。

[0119] Ni含量的优选上限为24.9％,进一步优选为24.8％,进一步优选为24.4％,进一步优选为24.0％,进一步优选为23.6％。

[0120] Cr:22.0％以上且小于30.0％

[0121] 铬(Cr)提高高温环境下的合金材料的耐腐蚀性。若Cr含量小于22.0％,则即使其他元素含量在本实施方式的范围内,也无法充分地得到上述效果。

[0122] 另一方面,若Cr含量为30.0％以上,则即使其他元素含量在本实施方式的范围内,在高温环境下,奥氏体的稳定性也降低。在这种情况下,合金材料的蠕变强度降低。

[0123] 因而,Cr含量为22.0％以上且小于30.0％。

[0124] Cr含量的优选下限为22.5％,进一步优选为23.0％,进一步优选为23.5％。

[0125] Cr含量的优选上限为29.9％,进一步优选为29.8％,进一步优选为29.5％,进一步优选为29.0％,进一步优选为28.5％,进一步优选为28.0％,进一步优选为27.5％,进一步优选为27.0％。

[0126] Co:0.04～0.80％

[0127] 钴(Co)使奥氏体稳定化,提高高温环境下的合金材料的蠕变强度。若Co含量小于0.04％,则即使其他元素含量在本实施方式的范围内,也无法充分地得到上述效果。

[0128] 另一方面,若Co含量超过0.80％,则原料成本变高。

[0129] 因而,Co含量为0.04～0.80％。

[0130] Co含量的优选下限为0.05％,进一步优选为0.06％,进一步优选为0.08％。

[0131] Co含量的优选上限为0.70％,进一步优选为0.60％,进一步优选为0.55％,进一步优选为0.50％。

[0132] Ti:0.002～0.010％

[0133] 钛(Ti)形成Ti析出物而提高高温环境下的合金材料的蠕变强度。Ti还通过Ti析出物的形成而提高合金材料的耐应力松弛裂纹性。若Ti含量小于0.002％,则即使其他元素含量在本实施方式的范围内,也无法充分地得到上述效果。

[0134] 另一方面,若Ti含量超过0.010％,则即使其他元素含量在本实施方式的范围内,

也会生成粗大的Ti析出物。在这种情况下,在焊接施工时,形成于合金材料的焊接热影响部的耐焊接热裂纹性降低。

[0135] 因而,Ti含量为0.002～0.010%。

[0136] Ti含量的优选下限为0.003%,进一步优选为0.004%。

[0137] Ti含量的优选上限为0.009%,进一步优选为0.008%。

[0138] Nb:0.1～1.0%

[0139] 铌(Nb)形成Nb析出物而提高高温环境下的合金材料的蠕变强度。Nb还通过Nb析出物的形成而提高合金材料的耐应力松弛裂纹性。若Nb含量小于0.1%,则即使其他元素含量在本实施方式的范围内,也无法充分地得到上述效果。

[0140] 另一方面,若Nb含量超过1.0%,则即使其他元素含量在本实施方式的范围内,在合金材料的焊接施工时,也会使耐焊接热裂纹性在合金材料的焊接热影响部降低。

[0141] 因而,Nb含量为0.1～1.0%。

[0142] Nb含量的优选下限为0.2%,进一步优选为0.3%,进一步优选为0.4%。

[0143] Nb含量的优选上限为0.9%,进一步优选为0.8%,进一步优选为0.7%。

[0144] V:0.01～1.00%

[0145] 钒(V)形成V析出物而提高高温环境下的合金材料的蠕变强度。V还通过V析出物的形成而提高合金材料的耐应力松弛裂纹性。若V含量小于0.01%,则即使其他元素含量在本实施方式的范围内,也无法充分地得到上述效果。

[0146] 另一方面,若V含量超过1.00%,则即使其他元素含量在本实施方式的范围内,在合金材料的焊接施工时,也会使耐焊接热裂纹性在合金材料的焊接热影响部降低。

[0147] 因而,V含量为0.01～1.00%。

[0148] V含量的优选下限为0.02%,进一步优选为0.03%,进一步优选为0.04%。

[0149] V含量的优选上限为0.80%,进一步优选为0.75%,进一步优选为0.70%,进一步优选为0.65%,进一步优选为0.60%,进一步优选为0.40%,进一步优选为0.35%,进一步优选为0.25%。

[0150] Al:0.001%以上且小于0.030%

[0151] 铝(Al)在制钢工序中使合金脱氧。Al还提高高温环境下的合金材料的耐氧化性。若Al含量小于0.001%,则即使其他元素含量在本实施方式的范围内,也无法充分地得到上述效果。

[0152] 另一方面,若Al含量为0.030%以上,则即使其他元素含量在本实施方式的范围内,合金材料的热加工性也降低。

[0153] 因而,Al含量为0.001%以上且小于0.030%。

[0154] Al含量的优选下限为0.002%,进一步优选为0.003%,进一步优选为0.005%。

[0155] Al含量的优选上限为0.029%,进一步优选为0.028%,进一步优选为0.027%,进一步优选为0.026%,进一步优选为0.025%。

[0156] 此外,Al含量是酸溶性Al(sol.Al)的含量(质量%)。

[0157] N:0.10～0.35%

[0158] 氮(N)固溶于基质(母相)而使奥氏体稳定化。固溶N还在高温环境下的使用中在合金材料中形成微细的氮化物。微细的氮化物强化贫Cr区域。因此,合金材料的耐应力松弛裂

纹性变高。在高温环境下的使用中生成的微细的氮化物还通过析出强化而提高合金材料的蠕变强度。若N含量小于0.10％,则即使其他元素含量在本实施方式的范围内,也无法充分地得到上述效果。

[0159] 另一方面,若N含量超过0.35％,则即使其他元素含量在本实施方式的范围内,也会生成粗大的氮化物。粗大的氮化物使合金材料的韧性降低。

[0160] 因而,N含量为0.10～0.35％。

[0161] N含量的优选下限为0.11％,进一步优选为0.12％,进一步优选为0.14％,进一步优选为0.16％。

[0162] N含量的优选上限为0.33％,进一步优选为0.31％,进一步优选为0.29％。

[0163] 本实施方式的奥氏体系不锈钢合金材料的化学组成的余量为Fe和杂质。在此,杂质是指:在工业制造奥氏体系不锈钢合金材料时从作为原料的矿石、废料或制造环境等混入的物质,并不是有意含有的,是在不对本实施方式的奥氏体系不锈钢合金材料造成不良影响的范围内允许的物质。

[0164] [关于任意元素(Optional Elements)]

[0165] 也可以是,本实施方式的奥氏体系不锈钢合金材料的化学组成还含有选自由

[0166] Mo:0～1.00％、

[0167] W:0～1.00％、

[0168] B:0～0.010％、和

[0169] Ca:0～0.0100％组成的组中的一种以上元素来替代Fe的一部分。

[0170] 这些元素均为任意元素,也可以不含有。以下,说明这些任意元素。

[0171] [关于(第1组)Mo和W]

[0172] 也可以是,本实施方式的奥氏体系不锈钢合金材料的化学组成还含有选自由Mo和W组成的组中的一种以上元素来替代Fe的一部分。这些元素为任意元素,均提高奥氏体系不锈钢合金材料的蠕变强度。

[0173] Mo:0～1.00％

[0174] 钼(Mo)为任意元素,也可以不含有。即,Mo含量也可以是0％。

[0175] 在含有Mo的情况下,即,在Mo含量超过0％的情况下,Mo在高温环境下的使用中通过固溶强化而提高合金材料的蠕变强度。Mo只要少量含有,就能够在某种程度上得到上述效果。

[0176] 然而,若Mo含量超过1.00％,则即使其他元素含量在本实施方式的范围内,也会在晶粒内生成LAVES相等金属间化合物。在这种情况下,二次诱导析出硬化增加,晶粒内与晶界的强度差变大。因此,耐应力松弛裂纹性降低。

[0177] 因而,Mo含量为0～1.00％,在含有的情况下,Mo含量为1.00％以下。

[0178] Mo含量的优选下限超过0％,进一步优选为0.01％,进一步优选为0.03％,进一步优选为0.05％,进一步优选为0.08％。

[0179] Mo含量的优选上限为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0.60％,进一步优选为0.50％,进一步优选为0.40％,进一步优选为0.30％。

[0180] W:0～1.00％

[0181] 钨(W)为任意元素,也可以不含有。即,W含量也可以是0%。

[0182] 在含有W的情况下,即,在W含量超过0%的情况下,W在高温环境下的合金材料的使用中通过固溶强化而提高合金材料的蠕变强度。W只要少量含有,就能够在某种程度上得到上述效果。

[0183] 然而,若W含量超过1.00%,则即使其他元素含量在本实施方式的范围内,也会在晶粒内生成LAVES相等金属间化合物。在这种情况下,二次诱导析出硬化增加,晶粒内与晶界的强度差变大。因此,耐应力松弛裂纹性降低。

[0184] 因而,W含量为0~1.00%,在含有的情况下,W含量为1.00%以下。

[0185] W含量的优选下限超过0%,进一步优选为0.01%,进一步优选为0.03%,进一步优选为0.05%,进一步优选为0.10%。

[0186] W含量的优选上限为0.90%,进一步优选为0.80%,进一步优选为0.70%,进一步优选为0.60%,进一步优选为0.50%,进一步优选为0.40%,进一步优选为0.35%,进一步优选为0.30%。

[0187] [关于(第2组)B]

[0188] 本实施方式的奥氏体系不锈钢合金材料也可以还含有B。

[0189] B:0~0.010%

[0190] 硼(B)为任意元素,也可以不含有。即,B含量也可以是0%。

[0191] 在含有B的情况下,即,在B含量超过0%的情况下,B在高温环境下在晶界处偏析,提高晶界强度。因此,合金材料的耐应力松弛裂纹性变高。B只要少量含有,就能够在某种程度上得到上述效果。

[0192] 然而,若B含量超过0.010%,则即使其他元素含量在本实施方式的范围内,B也会促进晶界处的Cr碳化物的生成。在这种情况下,合金材料的耐应力松弛裂纹性降低。

[0193] 因而,B含量为0~0.010%,在含有的情况下,B含量为0.010%以下。

[0194] B含量的优选下限超过0%,进一步优选为0.001%,进一步优选为0.002%。

[0195] B含量的优选上限为0.009%,进一步优选为0.008%,进一步优选为0.007%,进一步优选为0.006%。

[0196] [关于(第3组)Ca]

[0197] 本实施方式的奥氏体系不锈钢合金材料也可以还含有Ca。

[0198] Ca:0~0.0100%

[0199] 钙(Ca)为任意元素,也可以不含有。即,Ca含量也可以是0%。

[0200] 在含有Ca的情况下,即,在Ca含量超过0%的情况下,Ca将O(氧)和S(硫)作为夹杂物固定,提高合金材料的热加工性。Ca只要少量含有,就能够在某种程度上得到上述效果。

[0201] 然而,若Ca含量超过0.0100%,则即使其他元素含量在本实施方式的范围内,合金材料的纯净性也降低,合金材料的热加工性降低。

[0202] 因而,Ca含量为0~0.0100%,在含有的情况下,Ca含量为0.0100%以下。

[0203] 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0.0003%,进一步优选为0.0005%,进一步优选为0.0008%,进一步优选为0.0010%。

[0204] Ca含量的优选上限为0.0090%,进一步优选为0.0080%,进一步优选为0.0070%,进一步优选为0.0060%,进一步优选为0.0050%,进一步优选为0.0045%。

[0205] [关于(特征2)微细析出物的个数密度ND(Number Density)]

[0206] 在本实施方式的奥氏体系不锈钢合金材料中,圆当量直径为0.5～2.0μm的析出物的个数密度ND还为5000个/mm^2以上。

[0207] 如上所述,在以往的奥氏体系不锈钢合金材料中,通过实施固溶处理,从而尽量减少合金材料中的析出物。然而,在本实施方式的奥氏体系不锈钢合金材料中,通过使特定的尺寸的析出物积极地存在于合金材料中,从而兼顾优异的蠕变强度和优异的耐应力松弛裂纹性。

[0208] 在此,将圆当量直径为0.5～2.0μm的析出物定义为“微细析出物”。微细析出物通过钉扎效应而将奥氏体系不锈钢合金材料的晶粒维持得较微细。由此,奥氏体系不锈钢合金材料的晶界面积增加,耐应力松弛裂纹性变高。并且,圆当量直径为0.5～2.0μm的微细析出物在高温环境下的使用中呈现出析出强化功能,提高奥氏体系不锈钢合金材料的蠕变强度。

[0209] 在满足特征1的奥氏体系不锈钢合金材料中,若微细析出物的个数密度ND为5000个/mm^2以上,则能够兼顾优异的蠕变强度和优异的耐应力松弛裂纹性。

[0210] 微细析出物的个数密度ND的优选下限为5200个/mm^2,进一步优选为5500个/mm^2,进一步优选为6000个/mm^2,进一步优选为6200个/mm^2。

[0211] 微细析出物的个数密度ND的上限没有特别限定。在奥氏体系不锈钢合金材料满足特征1的情况下,微细析出物的个数密度ND的上限例如为20000个/mm^2,例如为18000个/mm^2,例如为15000个/mm^2。

[0212] [微细析出物的个数密度ND的测量方法]

[0213] 微细析出物的个数密度ND能够通过如下方法求出。

[0214] 首先,从奥氏体系不锈钢合金材料采集试验片。在奥氏体系不锈钢合金材料为合金管的情况下,采集包含壁厚中央部的试验片。将试验片的表面中的与合金管的管轴方向垂直的截面且是包含壁厚中央部的表面作为观察面,将壁厚中央部设为观察视场。

[0215] 在奥氏体系不锈钢合金材料为合金板的情况下,采集包含板厚中央部的试验片。将试验片的表面中的与合金板的轧制方向垂直的截面且是包含板厚中央部的表面作为观察面,将板厚中央部设为观察视场。

[0216] 在奥氏体系不锈钢合金材料为棒材的情况下,采集包含R/2部的试验片。在此,R是指,棒材的与轴线方向垂直的截面的半径。R/2部是指,上述截面中的半径的中央部。将试验片的表面中的与棒材的长度方向垂直的截面且是包含R/2部的表面作为观察面,将R/2部设为观察视场。

[0217] 在对观察面进行镜面研磨之后,使用光学显微镜,以500倍的倍率得到镜面研磨后的观察面中的观察视场的微观组织照片。观察视场的面积设为140μm×160μm。

[0218] 使用通过光学显微镜观察得到的微观组织照片,求出观察视场中的颗粒的圆当量直径。在此,圆当量直径是指与颗粒的面积相同的面积的圆的直径。圆当量直径能够通过公知的图像处理来求出。视场观察中的颗粒能够通过对比度来容易地确定。将圆当量直径为0.5～2.0μm的颗粒认定为析出物(微细析出物)。基于观察视场中的全部的微细析出物的个数和观察视场的面积,求出微细析出物的个数密度(个/mm^2)。此外,微细析出物例如为含有Ti的Ti析出物、含有Nb的Nb析出物和含有V的V析出物中的任意一种以上。

[0219] [奥氏体系不锈钢合金材料的效果]

[0220] 本实施方式的奥氏体系不锈钢合金材料满足特征1和特征2。其结果是,本实施方式的奥氏体系不锈钢合金材料能够兼顾优异的蠕变强度和优异的耐应力松弛裂纹性。

[0221] [奥氏体系不锈钢合金材料的微观组织]

[0222] 本实施方式的合金材料的微观组织由奥氏体形成。

[0223] [奥氏体系不锈钢合金材料的形状]

[0224] 本实施方式的奥氏体系不锈钢合金材料的形状没有特别限定。奥氏体系不锈钢合金材料可以是合金管,也可以是合金板。奥氏体系不锈钢合金材料可以为棒材。本实施方式的奥氏体系不锈钢合金材料优选为合金管。

[0225] [奥氏体系不锈钢合金材料的制造方法]

[0226] 说明本实施方式的奥氏体系不锈钢合金材料的制造方法。

[0227] 之后说明的制造方法是本实施方式的奥氏体系不锈钢合金材料的制造方法的一例。因而,本实施方式的奥氏体系不锈钢合金材料也可以通过之后说明的制造方法以外的其他制造方法来制造。然而,之后说明的制造方法是本实施方式的奥氏体系不锈钢合金材料的制造方法的优选的一例。

[0228] 本实施方式的合金材料的制造方法包含如下工序。

[0229] (工序1)准备工序

[0230] (工序2)热加工工序

[0231] (工序3)高温保持工序

[0232] (工序4)冷加工工序

[0233] (工序5)析出热处理工序

[0234] 在上述制造工序中,在将高温保持工序中的保持温度定义为T1(℃),将保持温度T1下的保持时间定义为t1(分钟),将析出热处理工序中的热处理温度定义为T2(℃),将热处理温度T2下的保持时间定义为t2(分钟)时,满足如下的式(A)~式(C)。

[0235] $(1/20)\times\{(T1-700)^{2}+t1\}/(5Nb+30Ti+5V)\geq 4100$ (A)

[0236] $T1\geq T2$ (B)

[0237] $(T2+t2)\times(Nb+50Ti+20V)\geq 1000$ (C)

[0238] 在此,在式(A)和式(C)中的元素符号处以质量%计代入对应元素的含量。

[0239] 以下,说明各工序。

[0240] [(工序1)准备工序]

[0241] 在准备工序中,准备具有满足上述特征1的化学组成的坯料。坯料可以由第三方供给,也可以制造。坯料可以是钢锭,也可以是板坯、大方坯、小方坯。

[0242] 在制造坯料时,通过如下方法来制造坯料。制造具有满足上述特征1的化学组成的熔融合金。使用制造出的熔融合金,通过铸锭法制造钢锭。也可以使用制造出的熔融合金,通过连续铸造法制造板坯、大方坯或小方坯。也可以对制造出的钢锭、板坯、大方坯实施热加工,以制造小方坯。例如,也可以对钢锭实施热锻,制造圆柱状的小方坯,将该小方坯用作坯料。在这种情况下,对即将开始热锻前的坯料的温度没有特别限定,例如为1100~1300℃。对热锻后的坯料的冷却方法没有特别限定。

[0243] [(工序2)热加工工序]

[0244] 在热加工工序中,对在准备工序中准备的坯料实施热加工,制造中间合金材料。中间合金材料例如可以是合金管,也可以是合金板,还可以是合金棒材。

[0245] 在中间合金材料为合金管的情况下,在热加工工序中实施如下加工。首先,准备圆柱坯料。通过机械加工,沿着圆柱坯料的中心轴线形成通孔。对形成有通孔的圆柱坯料进行加热。对加热后的圆柱坯料实施以玻璃润滑剂高速挤压法为代表的热挤压,制造中间合金材料(合金管)。也可以实施热冲压制管法以替代热挤压法。对加热温度没有特别限定,例如为1100~1300℃。

[0246] 另外,也可以通过曼内斯曼法实施穿孔轧制以替代热挤压,来制造合金管。在这种情况下,对圆柱坯料进行加热。加热温度没有特别限定,例如为1100~1300℃。利用穿孔机对加热后的圆柱坯料实施穿孔轧制,得到中空管坯。进一步地,通过芯棒式无缝管轧机、减径机、定径机等对中空管坯实施拉伸轧制或定径轧制,制造中间合金材料(合金管)。

[0247] 在中间合金材料为合金板的情况下,热加工工序使用例如具备一对工作辊的1个或多个轧机。在这种情况下,对板坯等坯料进行加热。对加热温度没有特别限定,例如为1100~1300℃。使用轧机对加热后的坯料实施热轧,制造中间合金材料(合金板)。

[0248] 在中间合金材料为合金棒材的情况下,热加工工序使用例如初轧机和/或由多个轧机排列成一列而成的连轧机。在这种情况下,对坯料进行加热。加热温度没有特别限定,例如为1100~1300℃。使用初轧机和/或连轧机对加热后的坯料实施热轧,制造中间合金材料(合金棒材)。

[0249] [(工序3)高温保持工序]

[0250] 在高温保持工序中,以高温来保持经热加工工序而制造出的中间合金材料,使中间合金材料中的析出物充分地溶解。将高温保持工序中的保持温度T1(℃)和保持温度T1下的保持时间t1(分钟)调整至以下所示的范围。

[0251] 保持温度T1:1100~1350℃

[0252] 保持时间t1:2~40分钟

[0253] 在高温保持工序中,也可以是,将在热加工工序中冷却至常温后的中间合金材料加热至保持温度T1,以保持温度T1保持保持时间t1。另外,也可以是,将热加工工序刚刚结束后的中间合金材料(即,未被冷却至常温的中间合金材料)以保持温度T1保持保持时间t1。在经过保持时间t1之后,对中间合金材料进行急冷。急冷可以是水冷,也可以是油冷。

[0254] [(工序4)冷加工工序]

[0255] 在冷加工工序中,在对中间合金材料实施酸洗处理之后,实施冷加工。在中间合金材料为合金管或合金棒材的情况下,冷加工例如为冷拔。在中间合金材料为合金板的情况下,冷加工例如为冷轧。通过实施冷加工工序,从而在下一工序的析出热处理工序中,能够进行基于再结晶的晶粒的微细化。冷加工工序中的颈缩率没有特别限定,例如为10~90%。

[0256] [(工序5)析出热处理工序]

[0257] 在析出热处理工序中,对冷加工工序后的中间合金材料实施热处理,在中间合金材料中生成微细析出物。将析出热处理工序中的热处理温度T2(℃)和热处理温度T2下的保持时间t2(分钟)调整至以下的范围。

[0258] 热处理温度T2:1000~1350℃

[0259] 保持时间t2:1~30分钟

[0260] 对经过保持时间t2后的中间合金材料进行急冷。急冷方法可以是水冷,也可以是油冷。

[0261] [关于式(A)～式(C)]

[0262] 在上述制造工序中,高温保持工序和析出热处理工序中的、保持温度T1(℃)、保持时间t1(分钟)、热处理温度T2(℃)和保持时间t2(分钟)还满足式(A)～式(C)。

[0263] $(1/20)\times\{(T1-700)^2+t1\}/(5Nb+30Ti+5V)\geq 4100$(A)

[0264] $T1\geq T2$(B)

[0265] $(T2+t2)\times(Nb+50Ti+20V)\geq 1000$(C)

[0266] 在此,在式(A)和式(C)中的元素符号处以质量%计代入对应元素的的含量。

[0267] [关于式(A)]

[0268] 定义为$F1=(1/20)\times\{(T1-700)^2+t1\}/(5Nb+30Ti+5V)$。F1是用于在高温保持工序中使中间合金材料中的析出物(Nb析出物、Ti析出物、V析出物等)充分地溶解的条件式。在本实施方式的奥氏体系不锈钢合金材料中,N含量较高而为0.10～0.35%。在像这样N含量较高的情况下,为了使Ti析出物充分地溶解,需要与合金材料中的Ti含量对应的热量。同样地,对于Nb析出物和V析出物,为了使这些析出物充分地溶解,需要与合金材料的Nb含量、V含量对应的热量。

[0269] 在F1中,Nb含量、Ti含量和V含量配置于分母。即,F1会与合金材料中的Nb含量、Ti含量和V含量相应地进行调整。如上所述,在本实施方式的奥氏体系不锈钢合金材料中,N含量较高。因此,在Nb析出物、Ti析出物和V析出物之中,与N之间的结合较强的Ti最不易溶解。因此,F1中的Ti的系数较大。

[0270] 若F1为4100以上,则在高温保持工序中,会对中间合金材料赋予使中间合金材料中的Nb析出物、Ti析出物和V析出物溶解的充分的热量。因此,能够使在中间合金材料中存在的析出物充分地溶解。

[0271] F1的优选下限为4200,进一步优选为4300。

[0272] [关于式(B)]

[0273] 在上述制造工序中,在高温保持工序中使中间合金材料中的析出物大致溶解之后,在析出热处理工序中在中间合金材料中生成微细析出物。若热处理温度T2比保持温度T1高,则在析出热处理工序中,在中间合金材料中不会充分地生成微细析出物。因而,将保持温度T1设为热处理温度T2以上。

[0274] [关于式(C)]

[0275] 在析出热处理工序中,相对于通过高温保持工序而析出物充分地溶解的中间合金材料,生成圆当量直径为0.5～2.0μm的微细析出物。为了使微细析出物的个数密度ND为5000个/mm^2以上,需要对中间合金材料赋予与中间合金材料中的Nb含量、Ti含量和V含量对应的热量。

[0276] 定义为$F2=(T2+t2)\times(Nb+50Ti+20V)$。F2是用于使微细析出物的个数密度ND为5000个/mm^2以上的条件式。若F2为1000以上,则以满足式(A)和式(B)为前提,微细析出物的个数密度成为5000个/mm^2以上。

[0277] F2的优选下限为1020,进一步优选为1100,进一步优选为1200。

[0278] 通过以上的制造工序,能够制造满足特征1和特征2的奥氏体系不锈钢合金材料。

此外,本实施方式的奥氏体系不锈钢合金材料的制造方法不限定于上述制造方法。若能够制造满足特征1和特征2的奥氏体系不锈钢合金材料,则也可以用其他制造方法来制造。

[0279] 实施例

[0280] 以下,通过实施例来进一步具体地说明本实施方式的奥氏体系不锈钢合金材料的效果。以下的实施例中的条件是为了确认本实施方式的奥氏体系不锈钢合金材料的可实施性和效果而采用的一个条件例。因而,本实施方式的奥氏体系不锈钢合金材料不限定于该一个条件例。

[0281] [合金材料的制造]

[0282] 制造了具有表1-1和表1-2所示的化学组成的钢锭。

[0283] [表1-1]

[0284] 表1-1

[0285]

编号	化学组成(单位为质量%,余量为Fe和杂质)							
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Co
1	0.07	0.53	1.03	0.01	0.001	21.1	25.4	0.21
2	0.09	0.81	1.71	0.01	0.001	20.5	28.4	0.15
3	0.05	0.21	0.81	0.01	0.001	22.1	24.9	0.22
4	0.06	1.04	1.20	0.01	0.001	24.5	23.4	0.13
5	0.06	0.78	0.87	0.01	0.001	21.5	25.3	0.08
6	0.04	0.58	1.43	0.02	0.002	18.9	25.1	0.09
7	0.06	0.41	1.22	0.02	0.001	19.8	25.0	0.35
8	0.11	1.03	0.59	0.01	0.001	22.9	27.9	0.18
9	0.08	0.08	0.11	0.01	0.002	23.2	28.8	0.71
10	0.09	1.81	2.31	0.01	0.001	18.3	26.0	0.11
11	0.07	0.67	2.70	0.01	0.001	21.5	26.1	0.09
12	0.07	0.77	1.33	0.01	0.006	21.7	25.8	0.11
13	0.05	0.58	1.48	0.02	0.002	24.3	25.0	0.09
14	0.10	0.63	1.08	0.02	0.001	19.6	26.4	0.21
15	0.06	1.04	1.20	0.01	0.001	24.5	23.4	0.13
16	0.04	0.26	1.94	0.01	0.002	21.8	24.3	0.08
17	0.05	1.20	0.89	0.02	0.001	23.6	22.5	0.46
18	0.05	1.20	0.89	0.02	0.001	23.6	22.5	0.46
19	0.04	1.15	0.91	0.01	0.002	23.7	22.4	0.44

[0286] [表1-2]

[0287] 表1-2

[0288]

编号	化学组成(单位为质量%，余量为Fe和杂质)								
	Ti	Nb	V	sol.Al	N	Mo	W	B	Ca
1	0.007	0.5	0.03	0.012	0.24	-	-	-	-
2	0.005	0.7	0.02	0.010	0.19	-	-	-	-
3	0.003	0.6	0.02	0.010	0.21	0.21	-	-	-
4	0.004	0.4	0.11	0.009	0.18	-	0.17	-	-
5	0.005	0.5	0.08	0.015	0.28	-	-	0.005	-
6	0.003	0.3	0.03	0.010	0.22	-	-	-	0.0025
7	0.006	0.4	0.02	0.015	0.25	0.05	0.01	0.002	0.0010
8	0.008	0.6	0.05	0.011	0.29	0.13	0.32	0.005	0.0020
9	0.008	0.6	0.06	0.003	0.12	0.79	-	-	0.0067
10	0.002	0.2	0.61	0.026	0.32	-	0.88	-	-
11	0.003	0.8	0.02	0.011	0.23	-	-	-	-
12	0.002	0.1	0.70	0.011	0.21	-	-	-	-
13	0.010	0.4	0.32	0.010	0.22	-	-	-	-
14	0.004	0.7	0.11	0.013	0.24	0.11	0.14	0.002	0.0030
15	0.004	0.4	0.11	0.009	0.30	-	-	-	-
16	0.007	0.4	0.05	0.021	0.18	0.26	0.41	0.003	0.0020
17	0.006	0.3	0.21	0.009	0.31	0.21	0.08	0.006	0.0040
18	0.003	0.1	0.02	0.009	0.31	-	-	-	-
19	0.002	0.2	0.03	0.008	0.30	-	-	-	-

[0289] 对制造出的钢锭实施热锻,制造了直径180mm的圆柱坯料。热锻中的钢锭的加热温度为1100～1300℃。对制造出的圆柱坯料实施了热加工工序。具体而言,利用加热炉来加热坯料。热加工工序中的加热温度为1100～1300℃。对加热后的圆柱坯料实施热挤压,从而制造了管坯。

[0290] 对制造出的管坯实施了高温保持工序。高温保持工序中的保持温度T1(℃)和保持时间t1(分钟)如表2所示。

[0291] [表2]

[0292] 表2

[0293]

编号	T1(℃)	t1(分钟)	T2(℃)	t2(分钟)	F1	T1≥T2?	F2	个数密度ND(个/mm²)	耐应力松弛裂纹性	蠕变强度	备注
1	1260	10	1210	2	5483	T	1757	8500	E	E	本发明例
2	1280	3	1230	3	4485	T	1665	12000	E	E	本发明例
3	1250	5	1240	4	4741	T	1431	11000	E	E	本发明例
4	1270	15	1200	3	6085	T	3368	10000	E	E	本发明例
5	1300	3	1250	10	5902	T	2961	9000	E	E	本发明例
6	1280	20	1200	8	9667	T	1268	6500	E	E	本发明例
7	1260	30	1210	10	6878	T	1342	8000	E	E	本发明例
8	1250	5	1250	2	4334	T	2504	9000	E	E	本发明例
9	1260	10	1210	2	4430	T	2666	6000	E	E	本发明例
10	1300	3	1230	3	4380	T	15413	7500	E	E	本发明例
11	1290	13	1250	2	4154	T	1690	8500	E	E	本发明例
12	1300	10	1250	2	4434	T	17778	7500	E	E	本发明例
13	1250	8	1200	5	3878	T	8797	4800	B	E	比较例
14	1250	20	1250	8	3627	T	3900	4700	B	E	比较例
15	1210	10	1280	5	4871	F	3598	4600	B	E	比较例
16	1200	8	1250	5	5081	F	2196	4500	B	E	比较例
17	1250	15	1320	3	5541	F	6350	4600	B	E	比较例
18	1280	5	1080	3	24377	T	704	3500	B	B	比较例
19	1280	10	1050	2	13901	T	947	3700	B	B	比较例

[0294] 对高温保持工序后的管坯实施了冷加工。具体而言,对管坯实施了冷拔。此外,冷加工中的颈缩率为20～70％。

[0295] 对于冷加工工序后的管坯实施了析出热处理工序。析出热处理工序中的热处理温度T2(℃)和热处理温度T2下的保持时间t2(分钟)如表2所示。此外,在表2中的“F1”栏中示出F1值。在“T1≥T2?”栏中,“T(Tru$_e$:正确)”表示保持温度T1为热处理温度T2以上,“F(Fals$_e$:错误)”表示保持温度T1小于热处理温度T2。在“F2”栏中示出F2值。

[0296] 通过以上的制造工序制造了奥氏体系不锈钢合金材料(合金管)。

[0297] [评价试验]

[0298] 使用制造出的合金材料,实施了如下的评价试验。

[0299] (试验1)微细析出物的个数密度ND测量试验

[0300] (试验2)蠕变强度评价试验

[0301] (试验3)耐应力松弛裂纹性评价试验

[0302] 以下,说明各评价试验。

[0303] [(试验1)微细析出物的个数密度ND测量试验]

[0304] 对于各试验编号的奥氏体系不锈钢合金材料,通过[微细析出物的个数密度ND的测量方法]记载的方法测量了微细析出物的个数密度(个/mm²)。将得到的微细析出物的个数密度ND示于表2中的“个数密度ND(个/mm²)”栏中。

[0305] [(试验2)蠕变强度评价试验]

[0306] 对于各试验编号的合金材料(合金管)实施了如下的蠕变强度评价试验。

[0307] 从各试验编号的合金材料(合金管)的壁厚中央部采集基于JIS Z2271:2010的蠕

变断裂试验片。蠕变断裂试验片的平行部的与轴线方向垂直的截面为圆形。平行部的外径为6mm,长度为30mm。蠕变断裂试验片的长度方向与合金管的管轴方向平行。

[0308] 使用采集到的蠕变断裂试验片,实施了基于JIS Z2271:2010的蠕变断裂试验。具体而言,将蠕变断裂试验片加热至700℃。之后,实施了蠕变断裂试验。试验应力为80MPa。在试验中,求出了蠕变断裂时间(小时)。

[0309] 根据得到的蠕变断裂时间,如以下这样评价了蠕变强度。

[0310] 评价E(优异:Excellent):蠕变断裂时间为1500小时以上

[0311] 评价B(不良:Bad):蠕变断裂时间小于1500小时

[0312] 在评价E的情况下,判断为得到了优异的蠕变强度。将评价结果示于表2中的“蠕变强度”栏中。

[0313] [(试验3)耐应力松弛裂纹性评价试验]

[0314] 从各试验编号的合金材料(合金管)的壁厚中央部制作出图1所示的C环型拘束焊接裂纹试验片。C环型拘束焊接裂纹试验片是外径OD=6mm、内径ID=4mm、长度L=20mm的试验片,试验片的与管轴方向垂直的截面为局部开口的环状。如图1所示,在开口部形成了1.5mm的间隙G。在从管轴方向观察C环型拘束焊接裂纹试验片时,在相对于试验片的中心轴线而言与开口部成180°的位置,形成了切口部。切口部的宽度NW设为0.4mm,深度NOD设为0.5mm,将底部的曲率半径R设为0.2mm。

[0315] 如图2所示,在从管轴方向观察C环型拘束焊接裂纹试验片时,利用外力P从两侧对相对于开口部成90°和270°的位置进行拘束,使开口部的端部彼此对接。然后,通过TIG(Tungsten Inert Gas:钨极惰性气体保护焊)焊接对对接的部分的外周面侧进行共同焊接。更具体而言,通过TIG焊接,对C环型拘束焊接裂纹试验片的管轴方向上的全长进行共同焊接。通过共同焊接使切口部产生拘束应力。TIG焊接的条件在任一试验编号中均相同。

[0316] 对共同焊接后的C环型拘束焊接裂纹试验片实施以650℃保持500小时的热处理。在热处理后,对在C环型拘束焊接裂纹试验片的切口底产生的裂纹数进行计数。具体而言,在管轴方向上在3处采集包含C环型拘束焊接裂纹试验片的切口底且包含C环型拘束焊接裂纹试验片的与管轴方向垂直的截面的裂纹观察试验片。将各裂纹观察试验片的相当于上述截面的表面作为观察面。在对观察面进行镜面研磨之后,利用10%草酸水溶液进行蚀刻。在蚀刻后,如图3所示,在观察面中,对宽度NW的切口底NB所包含的晶粒的数量进行计数(在图3中,晶粒数为29个)。并且,在观察面中,对从切口底NB传播出的裂纹的个数进行计数。使用3个试验片的切口底NB所包含的晶粒的总数和从3个试验片的切口底NB传播出的裂纹的总数,根据如下的式求出了裂纹产生率。

[0317] 裂纹产生率=裂纹的总数/切口底NB所包含的晶粒的总数×100

[0318] 与得到的裂纹产生率相应地,如以下这样评价了耐应力松弛裂纹性。

[0319] 评价E:裂纹产生率为30%以下

[0320] 评价B:裂纹产生率超过30%

[0321] 在评价E的情况下,判断为得到了优异的耐应力松弛裂纹性。将评价结果示于表2。

[0322] [试验结果]

[0323] 参照表1-1、表1-2和表2,在试验编号1~12中,合金材料满足特征1和特征2。因此,在高温环境中,得到了充分的蠕变强度。并且,得到了优异的耐应力松弛裂纹性。

[0324] 另一方面,在试验编号13和14中,F1过低,不满足式(A)。因此,在这些试验编号的奥氏体系不锈钢合金材料中,微细析出物的个数密度ND小于5000个/mm^2。其结果是,未得到充分的耐应力松弛裂纹性。

[0325] 在试验编号15～17中,保持温度T1比热处理温度T2低,不满足式(B)。因此,在这些试验编号的奥氏体系不锈钢合金材料中,微细析出物的个数密度ND小于5000个/mm^2。其结果是,未得到充分的耐应力松弛裂纹性。

[0326] 在试验编号18和19中,F2过低,不满足式(C)。因此,在这些试验编号的奥氏体系不锈钢合金材料中,微细析出物的个数密度ND小于5000个/mm^2。其结果是,未得到充分的蠕变强度。并且,未得到充分的耐应力松弛裂纹性。

[0327] 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实施方式,在不脱离其主旨的范围内可对上述实施方式进行适当变形来实施。

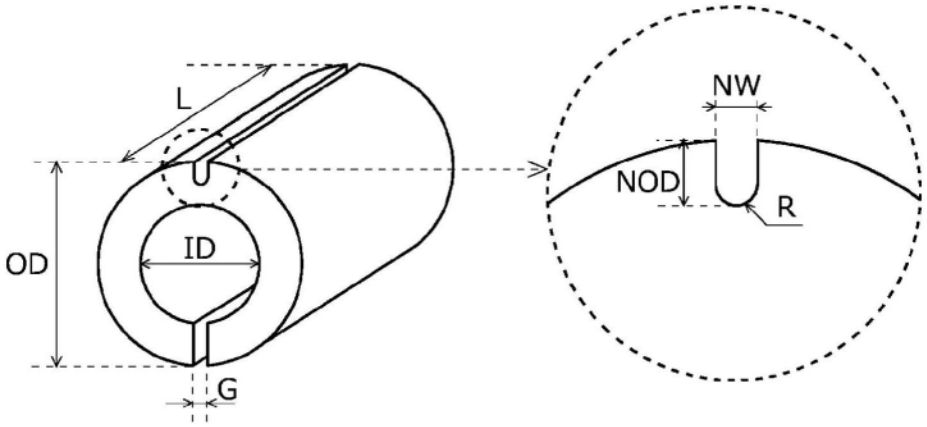


图1

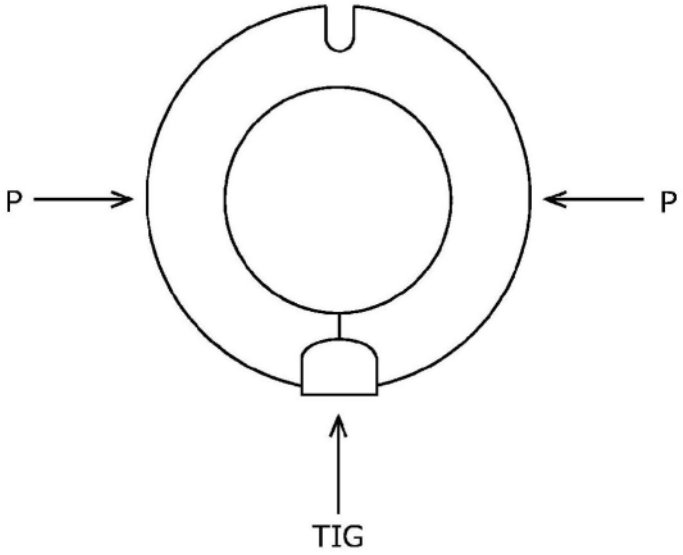


图2

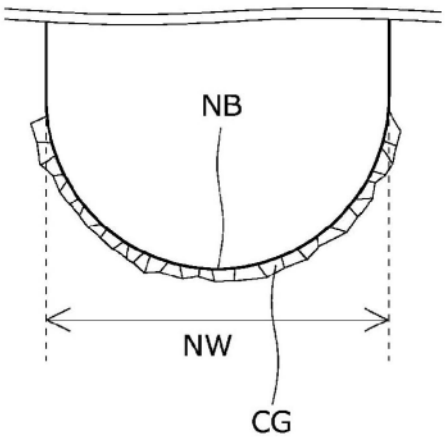


图3