



(12)发明专利



(10)授权公告号 CN 104603315 B

(45)授权公告日 2016.11.09

(21)申请号 201380046292.6

(22)申请日 2013.10.18

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104603315 A

(43)申请公布日 2015.05.06

(30)优先权数据

2012-231597 2012.10.19 JP

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2015.03.05

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2013/078328 2013.10.18

(87)PCT国际申请的公布数据

W02014/061784 JA 2014.04.24

(73)专利权人 新日铁住金株式会社

地址 日本东京

(72)发明人 桥村雅之 宫寄雅文 藤田崇史

山村英明

(74)专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

72002

代理人 张楠 陈建全

(51)Int.Cl.

G22C 38/00(2006.01)

B22D 11/00(2006.01)

B22D 11/115(2006.01)

G21C 7/00(2006.01)

G21C 7/04(2006.01)

G21C 7/06(2006.01)

G21C 7/10(2006.01)

G21D 1/18(2006.01)

G21D 8/00(2006.01)

G22C 38/28(2006.01)

G22C 38/54(2006.01)

(56)对比文件

CN 1145643 A,1997.03.19,

CN 101058864 A,2007.10.24,

CN 101184860 A,2008.05.21,

JP 特开2005-126817 A,2005.05.19,

JP 特开2007-39732 A,2007.02.15,

审查员 刘彪

权利要求书1页 说明书21页 附图1页

(54)发明名称

疲劳特性优异的表面渗碳钢

(57)摘要

本发明提供一种表面渗碳钢,其特征在于:
其化学组成以质量%计含有C:0.10%~0.40%、
Si:0.01%~0.80%、Mn:0.1%~1.5%、Cr:
0.35%~2.0%、Al:0.01%~0.05%、REM:
0.0001%~0.050%及0:0.0001%~0.0030%,
并将以下元素限制在Ti:低于0.005%、N:
0.015%以下、P:0.03%以下及S:0.01%以下,剩
余部分为铁及杂质,所述表面渗碳钢含有在包含
REM、O、S及Al的夹杂物上附着有TiN的复合夹杂
物,不附着在所述夹杂物上而独立存在的最大直
径为1 μ m以上的TiN的数密度和最大直径为10 μ m
以上的MnS的数密度的总和为5个/mm²以下。

1. 一种表面渗碳钢, 其特征在于, 其化学组成以质量%计含有C:0.10%~0.40%、Si:0.01%~0.80%、Mn:0.1%~1.5%、Cr:0.35%~2.0%、Al:0.01%~0.05%、REM:0.0001%~0.050%及O:0.0001%~0.0030%;

并将以下元素限制在Ti:低于0.005%、N:0.015%以下、P:0.03%以下及S:0.01%以下, 剩余部分为铁及杂质;

所述表面渗碳钢含有在包含REM、O、S及Al的夹杂物上附着有TiN的复合夹杂物;

不附着在所述夹杂物上而独立存在的最大直径为1 μ m以上的TiN的数密度和最大直径为10 μ m以上的MnS的数密度的总和为5个/mm²以下。

2. 一种表面渗碳钢, 其特征在于, 其化学组成以质量%计含有C:0.10%~0.40%、Si:0.01%~0.80%、Mn:0.1%~1.5%、Cr:0.35%~2.0%、Al:0.01%~0.05%、Ca:0.0050%以下、REM:0.0001%~0.050%及O:0.0001%~0.0030%;

并将以下元素限制在Ti:低于0.005%、N:0.015%以下、P:0.03%以下及S:0.01%以下, 剩余部分为铁及杂质;

所述表面渗碳钢含有在包含REM、Ca、O、S及Al的夹杂物上附着有TiN的复合夹杂物;

不附着在所述夹杂物上而独立存在的最大直径为1 μ m以上的TiN的数密度和最大直径为10 μ m以上的MnS的数密度的总和为5个/mm²以下。

3. 根据权利要求1或2所述的表面渗碳钢, 其特征在于, 所述化学组成以质量%计进一步含有选自V:0.70%以下、Mo:1.00%以下、W:1.00%以下、Ni:3.50%以下、Cu:0.50%以下、Nb:低于0.050%及B:0.0050%以下的1种以上。

疲劳特性优异的表面渗碳钢

技术领域

[0001] 本发明涉及使非金属夹杂物微细分散的疲劳特性优异的表面渗碳钢。本发明特别是涉及通过控制REM夹杂物的生成而消除了TiN、MnS等有害夹杂物的影响并具有良好的疲劳特性的表面渗碳钢。

[0002] 本申请基于2012年10月19日在日本提出的特愿2012-231597号主张优先权，在此引用其内容。

背景技术

[0003] 表面渗碳钢被用于各种工业机械及汽车等中所使用的“滚珠轴承”或“滚柱轴承”等滚动轴承或齿轮等转动部件。此外，近年来，还被用作磁记录介质即硬盘装置中使用的硬盘驱动用等的电子设备、家电制品或测量仪表、医疗设备等中的轴承或滑动部件。

[0004] 对于这些转动部件或滑动部件中使用的表面渗碳钢，要求具有优异的疲劳特性。但是，表面渗碳钢中所含的夹杂物的粗大化和多量化给疲劳寿命带来不良影响。所以，从提高疲劳特性的目的出发，希望夹杂物尽量微细且量小。

[0005] 作为表面渗碳钢中所含的夹杂物，已知有氧化铝(Al_2O_3)等氧化物、硫化锰(MnS)等硫化物、氮化钛(TiN)等氮化物。

[0006] 氧化铝系夹杂物是通过用转炉或真空处理容器进行精炼而得到的钢水中大量残留的溶解氧与和氧的亲合力强的Al结合而生成的。此外，浇包等大多是通过氧化铝系耐火材料构筑的。所以，在脱氧时，因钢水和耐火材料的反应，氧化铝以Al的形态向钢水中溶出，通过再氧化而成为氧化铝系夹杂物。

[0007] 因此，对于氧化铝系夹杂物的降低及除去，通过使用RH真空脱气装置或粉体吹入装置等二次精炼装置并组合以下两种方法等来进行：

[0008] (1)通过断气、熔渣改质等防止再氧化、

[0009] (2)通过熔渣分馏(slag cut)降低混入的氧化物系夹杂物等。

[0010] 此外，在含有0.005质量%以上酸可溶性Al的Al镇静钢(也称为脱氧钢)的制造方法中，已知向钢水中投入Ca、Mg及REM中的两种以上和包含Al的合金，将生成的夹杂物中的 Al_2O_3 调整至30质量%~85质量%，制造无氧化铝团簇的Al镇静钢。

[0011] 例如，如专利文献1中所公开的那样，为了防止生成氧化铝团簇，已知有将REM、Mg及Ca中的两种以上添加到钢水中而形成低熔点的夹杂物的方法。该方法对于防止条纹缺陷是有效的。但是，该方法不能将夹杂物的尺寸减小到表面渗碳钢所要求的水平。其原因是因为低熔点的夹杂物通过凝聚及合并而容易进一步粗大化。

[0012] REM是使夹杂物球状化、提高疲劳特性的元素。根据需要添加到钢水中，但如果过多地加入，则夹杂物的数量增加，反而使疲劳特性之一的疲劳寿命下降。例如，如专利文献2中所公开的那样，为了不使疲劳寿命下降，已知需要使REM的含量在0.010质量%以下。可是，在专利文献2中，没有公开疲劳寿命下降的机理及夹杂物的存在状态。

[0013] 此外，MnS等硫化物通过锻造等加工而延伸，成为作为断裂起点的疲劳蓄积源，使

疲劳特性劣化。因而,为了改善疲劳特性,需要控制硫化物的数量及大小。

[0014] 另一方面,REM通过与氧结合而形成氧化物,而且通过与硫结合而形成硫化物。而且,如果存在与氧结合的量以上的REM,则生成硫化物,夹杂物尺寸增大,给疲劳特性带来不良影响。为了防止此问题,需要控制夹杂物的大小。

[0015] 要控制夹杂物的大小,需要添加与氧含量相对应的量的REM。因此,首先降低氧含量是有效的。另外,由于硫化物也是使疲劳寿命下降的夹杂物的一种,因此防止粗大的硫化物、特别是MnS的生成是有效的。因此,降低硫含量、此外添加与硫含量相对应的REM并生成氧硫化物从而抑制MnS的生成是有效的。也就是说,与氧及硫这两者相对应地添加REM是有效的。但是,这些技术思想在专利文献2等中没有任何公开。

[0016] 此外,作为防止生成硫化物的方法,已知有通过添加Ca进行脱硫的方法。可是,添加Ca对于防止硫化物的生成具有效果,但对于防止生成氮化物即TiN没有效果。

[0017] 如图2所示,TiN非常硬质,且以尖的形状在钢中结晶或析出。因此,成为作为断裂起点的疲劳蓄积源,对疲劳特性产生不良影响。例如,如专利文献3中所公开的那样,如果Ti超过0.001质量%,则疲劳特性恶化。作为其对策,重要的是将Ti调整至0.001质量%以下,但Ti也含在铁液或熔渣中,作为杂质的混入是不可避免的。所以,难以将Ti稳定地降低至所希望的水平。

[0018] 因而,在钢水阶段降低或除去Ti及N是必要的。但是,因炼钢成本上升而是不优选的。此外,通过添加Ca而形成的Al-Ca-O系夹杂物具有容易延伸、容易成为作为断裂起点的疲劳蓄积源的问题。

[0019] 现有技术文献

[0020] 专利文献

[0021] 专利文献1:日本特开平09-263820号公报

[0022] 专利文献2:日本特开平11-279695号公报

[0023] 专利文献3:日本特开2004-277777号公报

发明内容

[0024] 发明要解决的问题

[0025] 本发明的目的在于,鉴于以往技术中的问题,提供一种可将容易成为作为断裂起点的疲劳蓄积源的TiN、Al-O系夹杂物、Al-Ca-O系夹杂物及MnS进行无害化的疲劳特性优异的表面渗碳钢。

[0026] 用于解决问题的手段

[0027] 本发明的要旨如下。

[0028] (1)本发明的第一方案是提供一种表面渗碳钢,其化学组成以质量%计含有C:0.10%~0.40%、Si:0.01%~0.80%、Mn:0.1%~1.5%、Cr:0.35%~2.0%、Al:0.01%~0.05%、REM:0.0001%~0.050%及O:0.0001%~0.0030%,并将以下元素限制在Ti:低于0.005%、N:0.015%以下、P:0.03%以下及S:0.01%以下,剩余部分为铁及杂质,所述表面渗碳钢含有在包含REM、O、S及Al的夹杂物上附着有TiN的复合夹杂物,没有附着在所述夹杂物上而独立存在的最大直径为1 μ m以上的TiN的数密度和最大直径为10 μ m以上的MnS的数密度的总和为5个/mm²以下。

[0029] (2)本发明的第二方案是提供一种表面渗碳钢,其化学组成以质量%计含有C:0.10%~0.40%、Si:0.01%~0.80%、Mn:0.1%~1.5%、Cr:0.35%~2.0%、Al:0.01%~0.05%、Ca:0.0050%以下、REM:0.0001%~0.050%及O:0.0001%~0.0030%,并将以下元素限制在Ti:低于0.005%、N:0.015%以下、P:0.03%以下及S:0.01%以下,剩余部分为铁及杂质,所述表面渗碳钢含有在包含REM、Ca、O、S及Al的夹杂物上附着有TiN的复合夹杂物,没有附着在所述夹杂物上而独立存在的最大直径为1 μ m以上的TiN的数密度和最大直径为10 μ m以上的MnS的数密度的总和为5个/mm²以下。

[0030] (3)根据上述(1)或(2)所述的表面渗碳钢,所述化学组成以质量%计也可以进一步含有选自V:0.70%以下、Mo:1.00%以下、W:1.00%以下、Ni:3.50%以下、Cu:0.50%以下、Nb:低于0.050%及B:0.0050%以下之中的1种以上。

[0031] 发明效果

[0032] 根据本发明的上述方案,通过将Al-O系夹杂物改质成REM-Al-O系夹杂物或将Al-Ca-O系夹杂物改质成REM-Ca-Al-O系夹杂物,能够防止氧化物系夹杂物的延伸或粗大化。另外,通过在REM-Al-O系夹杂物或REM-Ca-Al-O系夹杂物中使S固定化而形成REM-Al-O-S系夹杂物或REM-Ca-Al-O-S系夹杂物,从而能够抑制生成粗大的MnS。此外,通过将TiN附着在REM-Al-O-S系夹杂物或REM-Ca-Al-O-S系夹杂物上而形成复合夹杂物,使没有附着在夹杂物上而独立存在的TiN的数密度降低,从而能够提供疲劳特性优异的、特别是疲劳寿命优异的表面渗碳钢。

附图说明

[0033] 图1是表示由REM-Al-O-S系夹杂物和TiN复合而成的夹杂物(复合夹杂物)的形态的图。

[0034] 图2是表示粗大MnS及有棱角的形状的TiN的生成形态的图。

[0035] 图3是表示疲劳试验片的形状的图。

具体实施方式

[0036] 本发明人们为了解决以往技术中的问题,进行了锐意的实验及研究。其结果是,通过调整REM的含量和相对于其的Ca的添加量,同时控制脱氧工艺,发现了:

[0037] (1)通过将氧化物即Al-O系夹杂物改质成REM-Al-O系夹杂物,将氧化物即Al-Ca-O系夹杂物改质成REM-Ca-Al-O系夹杂物,能够防止氧化物系夹杂物的延伸或粗大化;

[0038] (2)通过将S与氧化物即REM-Al-O系夹杂物或氧化物即REM-Ca-Al-O系夹杂物固定,改质成氧硫化物即REM-Al-O-S系夹杂物或氧硫化物即REM-Ca-Al-O-S系夹杂物,能够抑制生成粗大的MnS;

[0039] (3)通过在氧硫化物即REM-Al-O-S系夹杂物或氧硫化物即REM-Ca-Al-O-S系夹杂物上附着TiN,能够降低没有附着而独立存在的TiN的数密度。

[0040] 以下,对基于上述见识而完成的本发明的实施方式所涉及的表面渗碳钢及其制造方法进行详细的说明。

[0041] 首先,对本实施方式所涉及的表面渗碳钢的成分组成及其限定理由进行说明。再者,有关下述元素含量的%是指质量%。

[0042] C:0.10%~0.40%

[0043] C是通过渗碳及淬火确保硬度,提高疲劳寿命的元素。为了通过渗碳及淬火确保所要求的强度和硬度,需要含有0.10%以上的C。可是,如果C含量超过0.40%,则硬度过于上升,使切削时的工具寿命降低。此外,如果C含量超过0.40%,则硬度过于上升,成为淬裂的原因。所以,将C含量规定为0.10%~0.40%。此外,C含量优选为超过0.15%且低于0.40%,更优选为0.20%~0.38%。

[0044] Si:0.01%~0.80%

[0045] Si是通过提高淬火性从而提高疲劳寿命的元素。为了得到此效果,需要含有0.01%以上的Si。可是,如果Si含量超过0.80%,则提高淬火性的效果饱和,进而因母材的硬度提高而使切削时的工具寿命降低。所以,将Si含量规定为0.01%~0.80%。此外,Si含量优选为0.07%~0.65%。

[0046] Mn:0.1%~1.5%

[0047] Mn是通过提高淬火性从而提高强度、提高疲劳寿命的元素。为了得到此效果,需要含有0.1%以上的Mn。可是,如果Mn含量超过1.5%,则提高淬火性的效果饱和,因母材的硬度提高而使切削时的工具寿命降低。另外,如果Mn含量超过1.5%,则因母材的硬度提高而成为淬裂的原因。因此,将Mn含量规定为0.1%~1.5%。此外,Mn含量优选为0.2%~1.15%。

[0048] Cr:0.35%~2.0%

[0049] Cr是通过提高淬火性从而提高疲劳寿命的元素。为了得到此效果,需要含有0.35%以上的Cr。可是,如果Cr含量超过2.0%,则提高淬火性的效果饱和,因母材的硬度提高而使切削时的工具寿命降低,此外成为淬裂的原因。因此,将Cr含量规定为0.35%~2.0%。此外,Cr含量优选为0.5%~1.6%。

[0050] Al:0.01%~0.05%

[0051] Al作为降低T.O(总氧量)的脱氧元素,此外作为调节钢的晶体粒径的元素,需要含有0.01%以上。

[0052] 可是,据认为:如果Al含量高,则与氧化物即REM-Al-O系夹杂物或REM-Ca-Al-O系夹杂物、或氧硫化物即REM-Al-O-S系夹杂物或REM-Ca-Al-O-S系夹杂物相比,Al₂O₃变得稳定,不能进行从Al₂O₃向氧化物即REM-Al-O系夹杂物或REM-Ca-Al-O系夹杂物、或向氧硫化物即REM-Al-O-S系夹杂物或REM-Ca-Al-O-S系夹杂物的改质。因此,将Al含量规定为0.05%以下。

[0053] REM:0.0001%~0.050%

[0054] REM是强力的脱硫、脱氧元素,在本实施方式所涉及的表面渗碳钢中起到非常重要的作用。这里,所谓REM,是在从原子序号为57的镧到原子序号为71的镱的15种元素中加上原子序号为21的钪和原子序号为39的钇的总和和17种元素的总称。

[0055] 对于REM,首先与钢中的Al₂O₃反应,抢夺Al₂O₃的O,生成氧化物即REM-Al-O系夹杂物。接着,在添加有Ca时,与Ca反应,生成氧化物即REM-Ca-Al-O系夹杂物。另外,上述氧化物通过吸收钢中的S,生成含有REM、O、S及Al的氧硫化物即REM-Al-O-S系夹杂物,在存在含有Ca的氧化物时,生成含有REM、Ca、O、S及Al的氧硫化物即REM-Ca-Al-O-S系夹杂物。再者,在氧硫化物即REM-Ca-Al-O-S系夹杂物中,Ca不是作为CaS与氧硫化物另外地独立存在,而是

固溶在REM-Ca-Al-O-S系夹杂物中。

[0056] 本实施方式所涉及的表面渗碳钢中的REM的功能如下所述。通过将 Al_2O_3 改质成含有REM、O及Al的REM-Al-O系夹杂物,防止氧化物的粗大化。在添加有Ca时,通过向REM-Ca-Al-O系夹杂物改质来防止氧化物的粗大化。接着,通过形成含有Al、REM、O及S的REM-Al-O-S系夹杂物、或含有Al、REM、Ca、O及S的REM-Ca-Al-O-S系夹杂物而使S固定化,抑制生成粗大的MnS。另外,通过以REM-Al-O-S系夹杂物或REM-Ca-Al-O-S系夹杂物为核而生成TiN,形成以REM-Al-O-S-(TiN)或REM-Ca-Al-O-S-(TiN)为主要结构的大致球状的复合夹杂物。

[0057] 该大致球状的复合夹杂物例如如图1所示的那样,呈现附着有TiN的形态。此外,已知该大致球状的复合夹杂物与其TiN相比具有相当大的体积。而且,使没有附着在REM-Al-O-S系夹杂物或REM-Ca-Al-O-S系夹杂物上而独立存在的硬质且尖的有棱角的形状的TiN的析出量降低。这里,意味着(TiN)通过将TiN附着在REM-Al-O-S系夹杂物或REM-Ca-Al-O-S系夹杂物的表面上而被复合化。

[0058] 以REM-Al-O-S-(TiN)或REM-Ca-Al-O-S-(TiN)为主要结构的复合夹杂物例如如图1所示的那样,表面的凹凸高度为 $0.5\mu m$ 以下,大致球状化。因此,该复合夹杂物是不成为断裂起点的无害的夹杂物。再者,可推测:TiN在REM-Al-O-S或REM-Ca-Al-O-S的表面析出的理由是因为TiN的晶格结构与REM-Al-O-S或REM-Ca-Al-O-S的晶格结构类似,也就是说,TiN和REM-Al-O-S或REM-Ca-Al-O-S具有晶体结构的匹配性。以下,有时将REM-Al-O-S-(TiN)或REM-Ca-Al-O-S-(TiN)称为复合夹杂物,将REM-Al-O-S系夹杂物或REM-Ca-Al-O-S系夹杂物称为氧硫化物。

[0059] 再者,在本实施方式所涉及的表面渗碳钢的REM-Al-O-S系夹杂物或REM-Ca-Al-O-S系夹杂物中,Ti未作为氧化物而含有。认为这是因为:本实施方式所涉及的表面渗碳钢的C含量为 $0.10\% \sim 0.40\%$,且脱氧时的氧水平低,Ti氧化物的生成量非常低。此外,由于在REM-Al-O-S系夹杂物或REM-Ca-Al-O-S系夹杂物中Ti未作为氧化物而含有,所以可认为REM-Al-O-S系夹杂物或REM-Ca-Al-O-S系夹杂物的晶格结构和TiN的晶格结构成为类似的关系。

[0060] 另外,REM具有将Al-O系夹杂物或Al-Ca-O系夹杂物改质成高熔点的REM-Al-O-S系夹杂物或REM-Ca-Al-O-S系夹杂物而防止Al-O系夹杂物或Al-Ca-O系夹杂物等氧化物的延伸或粗大化的功能。再者,在添加Ca时,由于在含有了REM后添加Ca,所以Ca系硫化物的CaS或Ca-Mn-S系夹杂物等不存在。

[0061] 为了得到这样的效果,需要根据T.O量(总氧量)含有一定量以上的REM。如果在钢水中不含有一定量以上的REM,则残存没有改质成REM-Al-O-S系夹杂物或REM-Ca-Al-O-S系夹杂物的Al-O或Al-Ca-O,因此是不优选的。此外,需要根据S含量含有一定量以上的REM。如果不含有一定量以上的REM,则不能通过形成REM-Al-O-S系夹杂物或REM-Ca-Al-O-S系夹杂物来固定S从而生成粗大的MnS,因此是不优选的。

[0062] 另外,REM-Al-O-S系夹杂物或REM-Ca-Al-O-S系夹杂物需要在一定量以上。如果REM-Al-O-S系夹杂物或REM-Ca-Al-O-S系夹杂物的个数少,则REM-Al-O-S-(TiN)系复合夹杂物或REM-Ca-Al-O-S-(TiN)系复合夹杂物的生成不充分,是不优选的。

[0063] 从这些观点出发进行了研究,结果通过实验发现了:在REM低于 0.0001% 时含有效果不充分。所以,将REM含量的下限规定为 0.0001% ,优选规定为 0.0003% 以上,更优选规定

为0.0010%以上,进一步优选规定为0.0020%以上。但是,如果REM含量超过0.050%,则不仅成本高,而且容易发生铸造喷嘴的堵塞,阻碍钢的制造。所以,将REM含量的上限规定为0.050%,优选规定为0.035%,更优选规定为0.020%。

[0064] O:0.0001%~0.0030%

[0065] O是通过脱氧而被从钢中除去的元素,但对于生成以REM-Al-O-S-(TiN)或REM-Ca-Al-O-S-(TiN)为主要结构的复合夹杂物而言是必要的元素。为了得到含有效果,需要含有0.0001%以上的O。但是,如果O含量超过0.0030%,则 Al_2O_3 等氧化物大量残存,使疲劳寿命降低,因此将O含量的上限规定为0.0030%。此外,O含量优选为0.0003%~0.0025%。

[0066] Ca:0.0050%以下

[0067] Ca也可以根据需要而含有。含有的Ca通过与REM及O结合,形成以REM-Ca-Al-O-S-(TiN)为主要结构的复合夹杂物。因此,优选含有0.0005%以上的Ca。更优选含有0.0010%以上的Ca。可是,如果Ca含量超过0.0050%,则大量生成粗大的CaO,使疲劳寿命降低,因此将上限规定为0.0050%。此外,Ca含量优选为0.0045%以下。

[0068] 以上是本实施方式所涉及的表面渗碳钢的基本的成分组成,剩余部分为铁及杂质。再者,“剩余部分为铁及杂质”中的所谓“杂质”是指在工业化制造钢时,从作为原料的矿石、废铁或制造环境等不可避免地混入的杂质。但是,在本实施方式所涉及的表面渗碳钢中,需要按以下限制杂质即Ti、N、P及S。

[0069] Ti:低于0.005%

[0070] Ti是杂质,如果在钢中存在,则生成TiC、TiN及TiS等夹杂物。这些夹杂物使疲劳特性劣化,所以将Ti含量限制在低于0.005%。优选将Ti含量限制在0.0045%以下。

[0071] 特别是,TiN例如如图2所示的那样以有棱角的形状生成。这样的有棱角的形状的TiN成为断裂起点。所以,将TiN与REM-Al-O-S或REM-Ca-Al-O-S复合化。Ti含量的下限包含0%,但达到0%在工业上是困难的。

[0072] 再者,对于本实施方式所涉及的表面渗碳钢,只要使杂质即Ti在低于0.005%的范围,即使与以往见识的0.001%以下的水平相比较多地含有,由于TiN与REM-Al-O-S或REM-Ca-Al-O-S形成复合夹杂物,因此也不会使疲劳特性劣化。所以,能够稳定地制造疲劳特性良好的表面渗碳钢。

[0073] N:0.015%以下

[0074] N是杂质,如果在钢中存在,则形成氮化物而使疲劳特性劣化,此外,通过应变时效使延展性及韧性劣化。如果N含量超过0.015%,则疲劳特性、延展性及韧性的劣化等弊害显著。因此,将N含量的上限限制在0.015%。优选将N含量限制在0.005%以下。N含量的下限包含0%,但达到0%在工业上是困难的。

[0075] P:0.03%以下

[0076] P是杂质,如果在钢中存在,则因向晶界偏析而使疲劳寿命降低。如果P含量超过0.03%,则疲劳寿命的下降显著。因此,将P含量的上限限制在0.03%。优选将P含量限制在0.02%以下。P含量的下限包含0%,但达到0%在工业上是困难的。

[0077] S:0.01%以下

[0078] S是杂质,如果在钢中存在,则形成硫化物。如果S含量超过0.01%,则例如如图2所示的那样,S与Mn结合而形成粗大的MnS,从而使疲劳寿命降低。因此,将S含量的上限限制在

0.01%。优选将S含量限制在0.0085%以下。将S含量的下限设定为0%在工业上是困难的。

[0079] 除上述元素以外,也可以选择性地含有以下元素。以下,对选择元素进行说明。

[0080] 本实施方式所涉及的表面渗碳钢也可以进一步含有V:0.70%以下、Mo:1.00%以下、W:1.00%以下、Ni:3.50%以下、Cu:0.50%以下、Nb:低于0.050%及B:0.0050%以下的1种以上。

[0081] V:0.70%以下

[0082] V与钢中的C及N结合而形成碳化物、氮化物或碳氮化物,其是有助于钢的析出强化的元素。为了稳定地得到此效果,优选含有0.05%以上的V。V含量更优选为0.1%以上。可是,如果V含量超过0.70%,则含有效果达到饱和,所以将V含量的上限规定为0.70%。优选将V含量规定为0.50%以下。

[0083] Mo:1.00%以下

[0084] Mo与钢中的C结合而形成碳化物,其是通过析出强化有助于提高钢的强度的元素。为了稳定地得到此效果,优选含有0.05%以上的Mo。Mo含量更优选为0.1%以上。可是,如果Mo含量超过1.00%,则钢的切削性下降,所以将Mo含量的上限规定为1.00%。Mo含量更优选为0.75%以下。

[0085] W:1.00%以下

[0086] W是形成硬质相、有助于提高疲劳特性的元素。为了稳定地得到此效果,优选含有0.05%以上的W。W含量更优选为0.1%以上。可是,如果W含量超过1.00%,则钢的切削性下降,所以将W含量的上限规定为1.00%。W含量更优选为0.75%以下。

[0087] Ni:3.50%以下

[0088] Ni是通过提高耐腐蚀性而有助于提高疲劳寿命的元素。为了稳定地得到此效果,优选含有0.10%以上的Ni。Ni含量更优选为0.50%以上。可是,如果Ni含量超过3.50%,则钢的切削性下降,所以将Ni含量的上限规定为3.50%。Ni含量更优选为3.00%以下。

[0089] Cu:0.50%以下

[0090] Cu是有助于通过母材强化而提高疲劳特性的元素。为了稳定地得到此效果,优选含有0.10%以上的Cu。Cu含量更优选为0.20%以上。可是,如果Cu含量超过0.50%,则在热加工时发生裂纹,所以将Cu含量的上限规定为0.50%。Cu含量优选为0.35%以下。

[0091] Nb:低于0.050%

[0092] Nb是有助于通过母材强化而提高疲劳特性的元素。为了稳定地得到此效果,优选含有0.005%以上的Nb。Nb含量更优选为0.010%以上。可是,如果Nb含量达到0.050%以上,则含有效果达到饱和,所以将Nb含量规定为低于0.050%。Nb含量优选为0.030%以下。

[0093] B:0.0050%以下

[0094] B是有助于通过晶界强化而提高疲劳特性及强度的元素。为了稳定地得到此效果,优选含有0.0005%以上的B。B含量更优选为0.0010%以上。可是,如果B含量超过0.0050%,则含有效果达到饱和,所以将B含量的上限规定为0.0050%。B含量优选为0.0035%以下。

[0095] 在本实施方式所涉及的表面渗碳钢中,S作为REM-Al-O-S系夹杂物或REM-Ca-Al-O-S系夹杂物被固定。因此,抑制了因延伸至10 μ m以上而损害疲劳特性的MnS的生成。通常,在钢中存在MnS时,如图2所示的那样,MnS通过轧制而延伸。但是,在本实施方式所涉及的表面渗碳钢中,REM固定S,生成REM-Al-O-S系夹杂物或REM-Ca-Al-O-S系夹杂物。这些氧硫化

物由于是硬质的,所以即使通过轧制其大小也不变化。此外,由于作为REM-Al-O-S系夹杂物或REM-Ca-Al-O-S系夹杂物消耗S,因此不生成MnS,或其生成量减小。此外,在本实施方式所涉及的表面渗碳钢中,如图1所示的那样,TiN附着在REM-Al-O-S系夹杂物或REM-Ca-Al-O-S系夹杂物上,形成以REM-Al-O-S-(TiN)或REM-Ca-Al-O-S-(TiN)为主要结构的大致球状的复合夹杂物。

[0096] 这里,所谓“大致球状”,例如如图1所示的那样,意味着夹杂物的表面的最大凹凸高度为 $0.5\mu\text{m}$ 以下、且将夹杂物的长径除以短径所得的值即长宽比为3以下。

[0097] 不附着在REM-Al-O-S或REM-Ca-Al-O-S上而在钢中独立存在的硬质的TiN例如如图2所示的那样,最大直径为 $1\mu\text{m}$ 以上且为有棱角的形状。因此,没有附着在REM-Al-O-S或REM-Ca-Al-O-S上而独立存在的TiN成为断裂起点,因此对疲劳寿命产生不良影响。但是,在本实施方式所涉及的表面渗碳钢中,TiN附着在REM-Al-O-S或REM-Ca-Al-O-S上,构成以REM-Al-O-S-(TiN)或REM-Ca-Al-O-S-(TiN)为主要结构的、大致球状的复合夹杂物,所以不会产生由未形成复合夹杂物的TiN的形状造成的上述不良影响。

[0098] 而且,在本实施方式所涉及的表面渗碳钢中,为了改善疲劳寿命,将对疲劳寿命产生不良影响的“最大直径为 $10\mu\text{m}$ 以上的MnS”及“最大直径为 $1\mu\text{m}$ 以上的TiN”的生成量以数密度的总和计抑制在5个/ mm^2 以下是必要的。另外,上述“最大直径为 $10\mu\text{m}$ 以上的MnS”及“最大直径为 $1\mu\text{m}$ 以上的TiN”的生成量越少越优选,优选为4个/ mm^2 以下,更优选为3个/ mm^2 以下。

[0099] 对本实施方式所涉及的表面渗碳钢的优选的制造方法进行说明。

[0100] 在本实施方式所涉及的表面渗碳钢的制造方法中,在精炼钢水时,投入脱氧剂的顺序是重要的。在本制造方法中,首先,使用Al进行脱氧。接着,在使用REM进行了5分钟以上的脱氧后,进行包括真空脱气在内的浇包精炼。或者,在使用REM的脱氧后,根据需要添加Ca,然后进行包括真空脱气在内的浇包精炼。

[0101] 在用REM脱氧之前,如果使用Al以外的元素进行脱氧,则不能稳定地降低氧量。因此,在本制造方法中,按Al、REM或Al、REM、Ca的顺序添加脱氧剂。其结果是,生成氧化物即REM-Al-O系夹杂物或相同的氧化物即REM-Ca-Al-O系夹杂物。因此,可防止生成有害的Al-O系夹杂物或Al-Ca-O系夹杂物。此外,关于REM的添加,能够使用铈镧合金(由多种稀土类金属构成的合金)等,例如,只要在精炼的末期,将块状的稀土金属混合物添加到钢水中即可。此时,通过添加CaO-CaF₂等助熔剂来适宜地进行利用Ca的脱硫和夹杂物的改质。

[0102] 将利用REM的脱氧进行5分钟以上。在脱氧时间低于5分钟时,不能进行暂时生成的Al-O系夹杂物或Al-Ca-O系夹杂物的改质,结果不能减少Al-O系夹杂物或Al-Ca-O系夹杂物。另外,最初如果使用Al以外的元素进行脱氧,则不能降低氧量。此外,在通过添加助熔剂而向钢水中添加Ca的情况下,需要将利用REM的脱氧进行5分钟以上。

[0103] 为了脱氧,在根据需要添加Ca时,如果在REM之前添加Ca,则生成多种低熔点且容易延伸的Al-Ca-O系夹杂物。因此,在生成多种Al-Ca-O系夹杂物后,即使添加REM也难以进行夹杂物组成的改质。所以,在添加Ca时,需要在REM后添加。

[0104] 如上所述,在本制造方法中,由于氧硫化物即REM-Al-O-S系夹杂物或氧硫化物即REM-Ca-Al-O-S系夹杂物将S固定,所以可抑制生成粗大的MnS。而且,该氧硫化物即REM-Al-O-S系夹杂物或氧硫化物即REM-Ca-Al-O-S系夹杂物由于使TiN复合化,因此不附着在氧硫化物即REM-Al-O-S系夹杂物或氧硫化物即REM-Ca-Al-O-S系夹杂物上,独立析出的TiN的个

数减少。所以,表面渗碳钢的疲劳特性提高。

[0105] 但是,特别是在将本实施方式所涉及的表面渗碳钢用于轴承的情况下,MnS的生成量和独立存在的TiN的生成量非常小是理想的,但没有必要规定为完全没有。再者,MnS多以氧化物为核单独地结晶。因此,有时在MnS中心部等内部检测出氧化物。这样的MnS被区分为氧硫化物即REM-Al-O-S系夹杂物或氧硫化物即REM-Ca-Al-O-S夹杂物。

[0106] 为了确实地提高作为表面渗碳钢所要求的疲劳特性,氧硫化物即REM-Al-O-S系夹杂物或氧硫化物即REM-Ca-Al-O-S系夹杂物和独立存在的MnS及TiN的生成量满足以下条件是必要的。也就是说,必须将最大直径为10 μ m以上的MnS的个数和最大直径为1 μ m以上的TiN的个数的总和以每1mm²观察面的总和计规定为5个以下。

[0107] 如前所述的那样,MnS通过轧制而延伸。延伸的MnS在负载了交变应力时成为断裂起点,因此对疲劳寿命产生不良影响。所以,延伸至长径即最大直径为10 μ m以上的所有MnS都对疲劳寿命产生不良影响,因此该最大直径没有上限。此外,TiN虽不像MnS那样因轧制而延伸,但其有棱角的形状成为断裂起点。粗大的TiN与MnS同样对疲劳寿命产生不良影响。最大直径为1 μ m以上的所有TiN都对疲劳寿命产生不良影响。

[0108] 上述MnS的个数和上述TiN的个数的总和如果以每1mm²观察面总和计超过5个,即数密度超过5个/mm²,则表面渗碳钢的疲劳特性劣化。特别是,在将本实施方式所涉及的表面渗碳钢用于轴承的情况下,上述MnS和上述TiN对疲劳特性的劣化产生较大的影响。因而,以每1mm²观察面计,上述MnS和上述TiN的个数的总和优选为5个以下。更优选上述MnS和上述TiN的个数的总和以每1mm²观察面计为4个以下,即将数密度规定为4个/mm²以下。最优选将上述MnS和TiN的个数的总和以每1mm²观察面计规定为3个以下,即将数密度规定为3个/mm²以下。此外,上述MnS和上述TiN的总和个数的下限以每1mm²观察面计为超过0.001个。

[0109] 另外,为了确实地提高疲劳特性,附着有TiN的复合夹杂物相对于总夹杂物的个数比例优选为50%以上。不附着在夹杂物上而独立存在的TiN的有棱角的形状成为断裂起点。此外,不附着在夹杂物上且粗大化的TiN与MnS同样对疲劳寿命产生不良影响。特别是,如果附着有TiN的复合夹杂物相对于总夹杂物的个数比例低于50%,则粗大的TiN对疲劳特性的劣化产生大的影响。所以,附着有TiN的复合夹杂物相对于总夹杂物的个数比例优选为50%以上。

[0110] 如上所述的那样,对于使对表面渗碳钢的疲劳特性产生不良影响的有害的氧化物即Al₂O₃等Al-O系夹杂物和Al-Ca-O系夹杂物,主要利用添加REM的效果向氧化物即REM-Al-O系夹杂物或REM-Ca-Al-O系夹杂物改质,因此其存在量降低。此外,由于将有害夹杂物即MnS改质成氧硫化物即REM-Al-O-S系夹杂物或REM-Ca-Al-O-S系夹杂物,所以可抑制其生成量。特别是,通过Ca可抑制MnS的生成量。

[0111] 而且,有害夹杂物即TiN在氧硫化物即REM-Al-O-S系夹杂物或氧硫化物即REM-Ca-Al-O-S系夹杂物的表面优先地结晶或析出。如上所述的那样,利用REM或Ca的添加,通过抑制有害的MnS或TiN的生成,可得到疲劳特性优异的表面渗碳钢。

[0112] 氧硫化物即REM-Al-O-S系夹杂物或REM-Ca-Al-O-S系夹杂物,由于比重为6,接近钢的比重7,所以难以进行漂浮分离。此外,在将钢水注入铸模中时,该氧硫化物通过下降流侵入到铸坯的未凝固层深处,在铸坯的中心部容易偏析。如果在铸坯的中心部该氧硫化物发生偏析,则该氧硫化物在铸坯的表层部变得不足。因此,使TiN附着在氧硫化物的表面上

而生成复合夹杂物是困难的。所以, TiN的无害化效果在制品的表层部受损。

[0113] 因而, 在本制造方法中, 为了防止氧硫化物即REM-Al-O-S系夹杂物或REM-Ca-Al-O-S系夹杂物的偏析, 通过在铸模内使钢水向水平方向旋转来谋求这些夹杂物的均匀分散。关于铸模内的钢水的旋转, 为了进一步谋求氧硫化物系夹杂物的均匀分散, 优选以0.1m/分钟以上的流速进行。如果铸模内的旋转速度低于0.1m/分钟, 则氧硫化物系夹杂物难以均匀地分散。所以, 也可以通过搅拌钢水来谋求氧硫化物系夹杂物的均匀分散。作为搅拌手段, 最好使用例如电磁力等。

[0114] 接着, 通过将铸造后的铸坯在1200℃~1250℃的温度区保持60秒以上且60分钟以下, 可得到上述的复合夹杂物。该温度区是TiN向氧硫化物即REM-Al-O-S系夹杂物或REM-Ca-Al-O-S系夹杂物的复合析出效果大的温度区, 在该温度区保持60秒以上是为了使TiN在氧硫化物即REM-Al-O-S系夹杂物或REM-Ca-Al-O-S系夹杂物的表面上充分生长的优选的条件。但是, 即使将在该温度区的保持进行60分钟以上, 也不能使TiN生长至所要求的大小以上, 所以保持时间优选为60分钟以下。这样, 为了通过使TiN与REM-Al-O-S系夹杂物或REM-Ca-Al-O-S系夹杂物复合化, 对不附着在这些夹杂物上而独立生成的TiN的生成进行抑制, 优选将铸造后的铸坯在1200℃~1250℃的温度区保持60秒钟以上且60分钟以下。

[0115] 再者, 通常在铸造后的铸坯中含有已经结晶的TiN、以及此后在向室温的冷却过程中进一步促进TiN的生长的固溶Ti和固溶N。如果在1200℃~1250℃的温度区对该铸坯进行保持, 则固溶Ti和固溶N作为TiN在已经作为核结晶或析出的地方分散地生长。本发明中的TiN由于以REM-Al-O-S系夹杂物或REM-Ca-Al-O-S系夹杂物为核进行结晶或析出, 所以可认为: 通过在1200℃~1250℃的温度区进行保持, 能够更确实地使固溶于钢中的Ti和固溶的N作为TiN分散地生长。这样一来, 通过促进TiN的分散, 可抑制单独存在的粗大TiN的生成。

[0116] 在本制造方法中, 在将铸造后的铸坯加热到加热温度后, 在1200℃~1250℃的温度区保持60秒钟以上且60分钟以下, 然后实施热轧或热锻造而制造表面渗碳钢。然后, 在切削成接近最终形状的形状后, 实施渗碳及

[0117] 淬火, 由此能够使表面硬度达到维氏硬度700Hv以上。

[0118] 使用了本发明的表面渗碳钢的转动部件或滑动部件的疲劳特性优异。再者, 转动部件或滑动部件通常根据需要使用磨削等可进行高硬度且高精度加工的手段而加工成最终制品。

[0119] 实施例

[0120] 接着, 对本发明的实施例进行说明, 但实施例中的条件是为确认本发明的可实施性及效果而使用的一个条件例, 本发明并不限于该一个条件例。本发明在不脱离本发明的要旨的情况下只要在达到本发明的目的的范围内, 可使用各种条件。

[0121] 在使用浇包精炼的真空脱气中, 使用金属Al、稀土金属混合物(mischmetal)及CaO:CaF₂=50:50(质量比)的助熔剂, 根据需要使用Ca-Si合金, 在表1所示的条件下进行精炼, 得到由表2A、表2B或表4A、表4B所示的成分组成形成的钢水, 将该钢水用连续铸造装置铸造成300mm见方的铸坯。此时, 在表1所示的条件下通过电磁搅拌进行铸模内旋转, 铸造钢坯。

[0122] 将按表1所示的条件进行了浇包精炼及铸造而成的铸坯在按表1所示的条件进行了加热及保持后, 热锻造成Φ50mm的圆棒形状, 最终磨削加工至Φ10mm。由同一钢种制造多个作为试验片用材料的上述Φ10mm的圆棒, 将其中的1个供于化学组成分析、夹杂物分析。

[0123] 此外,对于多个制造中的剩余的上述 $\Phi 10\text{mm}$ 的圆棒,供于用于实施渗碳及淬火、回火后用于确认是否适合所用的转动部件或滑动部件的疲劳试验,从上述 $\Phi 10\text{mm}$ 的圆棒上切出比疲劳试验片形状大 0.3mm 左右的材料,按照使其载荷负载部分均匀地达到与轴承用途材料同等的 700Hv 以上的硬度的方式进行渗碳及淬火,并实施了 180°C 回火,然后通过磨削及研磨加工成图3所示的形状的疲劳试验片。从对一部分疲劳试验片负载了载荷的部分上采集维氏硬度测定用试样。

[0124] 对于上述的化学组成分析及夹杂物分析用的试样,对其延伸方向的截面镜面进行研磨,用选择性的恒电位电解浸蚀法(SPEED法)处理后,以从表面到半径的 $1/2$ 深度、即以距离表面 2.5mm 的深度为中心,用扫描型电子显微镜观察对在半径方向宽 2mm 、轧制方向长 5mm 的范围的钢中的夹杂物使用EDX来分析夹杂物的组成,计算试样的 10mm^2 内的夹杂物,从而测定数密度。此外,关于疲劳寿命,使用上述疲劳试验片,利用超声波疲劳试验,通过施加交变应力来进行测定,使用韦布尔(Weibull)统计,作为疲劳特性 L_{10} 评价了评价试样中的 10% 断裂的循环数。疲劳试验使用超声波疲劳试验机(株式会社岛津制作所USF-2000)来进行。将试验条件规定为试验频率: 20kHz 、应力比(R): -1 、实际载荷振幅: 1000MPa 。此外, 180°C 回火维氏硬度试验按照JIS Z 2244进行。

[0125] 表1中示出本实施例中的钢的精炼条件、铸造条件及铸造后的加热保持条件等制造条件。制造条件A、E、F、J、K、L、M、N、O为发明例所涉及的制造条件。制造条件B、C、D、I、P、Q是因制造条件不优选而未成为发明例时的制造条件。

[0126] 在表1所示的加热保持条件中,在制造条件B中,保持时间低于优选的范围。在制造条件C中,保持温度低于优选的范围。在制造条件D中,保持温度高于优选的范围。此外,在制造条件I中,在浇包精炼条件下,添加REM的脱氧时间低于优选的范围。另外,在制造条件P及制造条件Q中,在脱氧工序中,REM的添加顺序不是优选的。使用上述的制造条件B、C、D、I、P及Q的例子分别以表4A、表4B及表5A、表5B的钢种号52、62、63、56、57、58示出。所有钢种的化学组成如表4A、表4B所记载的那样都在本发明的范围内。但是,如表5A、表5B所记载的那样,附着有TiN的复合夹杂物相对于总夹杂物的个数比例低于 50% ,最大直径为 $10\mu\text{m}$ 的MnS及单独存在的最大直径为 $1\mu\text{m}$ 以上的TiN的数密度过剩,超出本发明的范围,因此渗碳及淬火后的疲劳特性 L_{10} 与发明例相比,处于劣势。

[0127] 过剩地添加了REM的钢种号55如表5A、表5B所示的那样,是使用制造条件A的设计,但铸造喷嘴堵塞,不能进行铸造。因此,将采集残留在铸造喷嘴或中间包中的钢的残渣而对化学组成进行分析而得到的结果作为比较钢的组成而示于表4A、表4B中。其结果是,判明钢种号55的REM含量相对于本发明的范围为过剩。

[0128] 在表4A所示的钢种号54中,因REM含量低于本发明范围,而如表5A所示,使REM的添加效果几乎没有,A1-Ca-O系析出物增加。在这些钢种号52、54、56、57、58、62、63中,附着有TiN的复合夹杂物相对于总夹杂物的个数比例低于 50% ,最大直径为 $10\mu\text{m}$ 的MnS及单独存在的最大直径为 $1\mu\text{m}$ 以上的TiN的数密度过剩,超出本发明的范围,因此与发明例相比,疲劳特性 L_{10} 处于劣势。

[0129] 在表4A所示的钢种号60和61中,Ca含量过剩,在各个钢种号中,如表5A、表5B所示的那样,A1-Ca-O等的析出增加,夹杂物生成的平衡崩溃,附着有TiN的复合夹杂物相对于总夹杂物的个数比例低于 50% ,最大直径为 $10\mu\text{m}$ 的MnS及单独存在的最大直径为 $1\mu\text{m}$ 以上的

TiN的数密度过剩,超出本发明的范围,因此疲劳特性 L_{10} 与发明例相比,处于劣势。

[0130] 钢种号53和59如表4A所示的那样,Ti或S超出本发明的范围,大量生成TiN及MnS等。其结果是,夹杂物生成的平衡崩溃,没有附着在夹杂物上而独立存在的最大直径为 $1\mu\text{m}$ 以上的TiN的数密度和最大直径为 $10\mu\text{m}$ 以上的MnS的数密度的总和为5个/ mm^2 以上。此外,如表5A、表5B所示,附着有TiN的复合夹杂物相对于总夹杂物的个数比例低于50%,疲劳特性 L_{10} 与发明例相比,处于劣势。此外,P相对于本发明的范围为过剩的钢种号70如表5A、表5B所示的那样,尽管附着有TiN的复合夹杂物相对于总夹杂物的个数比例为50%以上,但与发明例相比,因P的晶界偏析而使疲劳特性 L_{10} 降低。

[0131] 对于表4A所示的钢种号65,相对于本发明的范围过剩地含有具有由碳化物产生的析出强化的本质的C。此外,表4A所示的钢种号67中,相对于本发明的范围过剩地含有对于确保淬火性所需要的Si。另外,表4A所示的钢种号69中,相对于本发明的范围过剩地含有对于确保淬火性所需要的Mn。所以,钢种号65、67及69如表5A所示的那样在渗碳及淬火时发生淬裂,因此中止了化学组成分析以外的评价。

[0132] 钢种号64如表4A所示的那样,C含量低于本发明的范围。此外,钢种号66如表4A所示的那样,Si含量低于本发明的范围。另外,钢种号68的Mn含量低于本发明的范围。在这些钢种中,如表5A、表5B所示的那样,尽管确保了附着有TiN的复合夹杂物相对于总夹杂物的个数比例,但是与发明例相比,疲劳特性 L_{10} 及 180°C 回火维氏硬度差。

[0133] Cr是提高淬火性的元素,但钢种号71如表4B所示的那样,因相对于 本发明的范围过剩地含有Cr含量,而如表5A所示的那样发生淬裂。因此,钢种号71中止了评价。此外,钢种号84如表4B所示的那样,因Cr含量低于本发明的范围,因此不能确保淬火性。因此,如表5B所示的那样,在钢种号84中,与发明例相比,疲劳特性 L_{10} 及 180°C 回火维氏硬度差。

[0134] 钢种号72如表4A所示的那样,Al含量低于本发明的范围。另一方面,钢种号73如表4A所示的那样,Al含量超出本发明的范围。钢种号74如表4A所示的那样,N含量超出本发明的范围。钢种号75如表4A所示的那样,O含量低于本发明的范围。另一方面,钢种号76如表4A所示的那样,O含量超出本发明的范围。所以,在这些钢种中,如表5A、表5B所示的那样,附着有TiN的复合夹杂物相对于总夹杂物的个数比例低于50%,最大直径为 $10\mu\text{m}$ 的MnS及单独存在的最大直径为 $1\mu\text{m}$ 以上的TiN的数密度过剩,超出本发明的范围,因而与发明例相比,疲劳特性 L_{10} 处于劣势。

[0135] 在表4B所示的Mo含量超过本发明的范围的钢种号78、W含量超过本发明的范围的钢种号79、Cu含量超过本发明的范围的钢种号81、Nb含量超过本发明的范围的钢种号82及B含量超过本发明的范围的钢种号83中,在加工成圆棒形状时发生裂纹,因此中止了化学组成分析以外的评价。

[0136] 对于发明例,在表2A、表2B及表3A、表3B中,作为钢种号5~7、10~16、及18~48、51示出。由表3A、表3B得知,发明例在所有的钢种中,没有附着在夹杂物上而独立存在的最大直径为 $1\mu\text{m}$ 以上的TiN的数密度和最大直径为 $10\mu\text{m}$ 以上的MnS的数密度的总和为5个/ mm^2 以下。此外,可知:确保了附着有TiN的复合夹杂物相对于总夹杂物的个数比例为50%以上。另外,关于发明例,对于实施了渗碳及淬火并进行了 180°C 回火的例子,在通过交变应力进行评价的疲劳特性 L_{10} 中,为 10^7 个循环以上,相对于在本发明的范围外的比较例的钢种处于优势。此外还可知:本发明例的 180°C 回火维氏硬度也为700Hv以上,适合作为转动部件或滑动

部件。

[0137] 表1

[0138]

铸造条件 符号	浇包精炼条件		制造条件	加热保持条件		
	Al脱氧工序、 REM脱氧工序、 Flux工序或真空 脱气工序的顺序	REM脱氧时间 (分钟)	铸模内钢水的 旋转流速 (m/分钟)	加热温度 (℃)	保持温度 (℃)	保持时间 (秒)
A	Al→REM→Ca→脱气	6	0.2	1280	1220	120
B	Al→REM→Ca→脱气	6	0.2	1250	1200	45
C	Al→REM→Ca→脱气	6	0.2	1280	1190	120
D	Al→REM→Ca→脱气	6	0.2	1280	1260	120
E	Al→REM→Ca→脱气	6	0.3	1280	1220	150
F	Al→REM→Ca→脱气	8	0.2	1280	1220	120
I	Al→REM→脱气	3	0.2	1280	1220	80
J	Al→REM→脱气	6	0.2	1280	1220	150
K	Al→REM→脱气	8	0.2	1280	1220	120
L	Al→REM→脱气	6	0.3	1280	1220	80
M	Al→REM→脱气	8	0.35	1280	1220	120
N	Al→REM→脱气	12	0.2	1280	1220	120
O	Al→REM→flux	6	0.2	1280	1220	120
P	Al→脱气→REM	6	0.2	1280	1220	120
Q	Al→flux→REM→脱气	6	0.2	1280	1220	120

[0139] 表2A

[0140]

钢种号	制造条件符号	C	Si	Mn	P	S	Al	Ca	REM	Ti	N	O
5	F	0.26	0.39	0.63	0.011	0.007	0.0120	0.0022	0.0208	0.0049	0.0122	0.0006
6	F	0.28	0.03	0.38	0.013	0.006	0.0395	0.0048	0.0377	0.0023	0.0039	0.0005
7	F	0.37	0.37	0.31	0.014	0.008	0.0132	0.0007	0.0002	0.0005	0.0137	0.0022
10	F	0.21	0.66	0.53	0.013	0.005	0.0315	0.0012	0.0015	0.0005	0.0031	0.0028
11	F	0.23	0.02	0.70	0.011	0.008	0.0448	0.0006	0.0389	0.0028	0.0060	0.0009
12	F	0.19	0.77	0.46	0.013	0.008	0.0173	0.0045	0.0098	0.0023	0.0110	0.0023
13	F	0.15	0.67	0.34	0.013	0.010	0.0362	0.0008	0.0074	0.0033	0.0098	0.0008
14	F	0.15	0.50	0.30	0.013	0.008	0.0412	0.0041	0.0265	0.0027	0.0054	0.0010
15	F	0.39	0.62	1.20	0.013	0.006	0.0285	0.0025	0.0481	0.0023	0.0025	0.0005
16	F	0.28	0.26	0.98	0.014	0.005	0.0274	0.0036	0.0441	0.0024	0.0024	0.0011
18	F	0.25	0.49	0.75	0.014	0.005	0.0299	0.0031	0.0340	0.0024	0.0038	0.0003
19	F	0.37	0.28	0.53	0.014	0.005	0.0211	0.0048	0.0417	0.0019	0.0051	0.0005
20	F	0.39	0.21	0.61	0.014	0.007	0.0298	0.0034	0.0071	0.0028	0.0033	0.0003
21	F	0.38	0.60	0.49	0.012	0.008	0.0495	0.0039	0.0182	0.0045	0.0074	0.0023
22	F	0.39	0.55	0.79	0.011	0.006	0.0162	0.0022	0.0347	0.0021	0.0032	0.0004
23	F	0.22	0.19	0.58	0.013	0.009	0.0438	0.0026	0.0326	0.0037	0.0111	0.0010
24	F	0.29	0.19	0.42	0.012	0.008	0.0404	0.0049	0.0261	0.0035	0.0088	0.0003
25	K	0.25	0.17	0.70	0.011	0.008	0.0319	~	0.0412	0.0024	0.0129	0.0010
26	K	0.27	0.09	0.40	0.012	0.009	0.0279	~	0.0369	0.0031	0.0125	0.0020
27	K	0.38	0.69	0.67	0.010	0.009	0.0445	~	0.0241	0.0048	0.0067	0.0009
28	K	0.23	0.39	0.78	0.011	0.008	0.0123	~	0.0331	0.0047	0.0131	0.0028
29	K	0.28	0.34	0.55	0.015	0.006	0.0168	~	0.0265	0.0022	0.0035	0.0025
30	K	0.35	0.18	0.71	0.011	0.008	0.0417	~	0.0191	0.0011	0.0079	0.0029
31	K	0.36	0.74	0.50	0.010	0.008	0.0292	~	0.0067	0.0024	0.0070	0.0024
32	K	0.24	0.05	0.71	0.015	0.007	0.0232	~	0.0484	0.0016	0.0045	0.0002
33	K	0.24	0.37	0.36	0.012	0.008	0.0491	~	0.0140	0.0033	0.0144	0.0024
34	K	0.24	0.65	0.35	0.010	0.008	0.0489	~	0.0003	0.0012	0.0056	0.0017
35	K	0.37	0.34	0.61	0.015	0.010	0.0497	~	0.0286	0.0003	0.0149	0.0003
36	K	0.39	0.29	0.55	0.011	0.008	0.0107	~	0.0443	0.0048	0.0081	0.0003
37	K	0.31	0.18	0.71	0.011	0.008	0.0218	~	0.0271	0.0028	0.0141	0.0020
38	N	0.39	0.25	0.75	0.007	0.008	0.0250	~	0.0390	0.0010	0.0050	0.0005
39	J	0.37	0.24	0.73	0.007	0.003	0.0230	~	0.0011	0.0011	0.0040	0.0005
40	M	0.35	0.24	0.76	0.008	0.008	0.0380	~	0.0055	0.0012	0.0060	0.0003
41	L	0.28	0.26	0.75	0.008	0.006	0.0240	~	0.0110	0.0010	0.0050	0.0004
42	O	0.23	0.25	0.75	0.007	0.001	0.0250	0.0020	0.0020	0.0025	0.0050	0.0005
43	K	0.21	0.24	1.10	0.007	0.009	0.0250	~	0.0150	0.0009	0.0050	0.0003
44	K	0.26	0.79	0.53	0.010	0.008	0.0389	~	0.0468	0.0021	0.0150	0.0024
45	K	0.23	0.09	0.65	0.013	0.009	0.0333	~	0.0261	0.0026	0.0116	0.0018
46	K	0.35	0.69	0.59	0.013	0.009	0.0442	~	0.0378	0.0012	0.0095	0.0013
47	J	0.26	0.33	0.58	0.011	0.007	0.0467	~	0.0025	0.0007	0.0050	0.0005
48	J	0.25	0.79	0.47	0.013	0.006	0.0132	~	0.0033	0.0006	0.0040	0.0005
51	F	0.22	0.60	0.39	0.010	0.008	0.0488	0.0025	0.0437	0.0039	0.0144	0.0007

[0141] 表2B

[0142]

钢种号	制造条件符号	Cr	V	Mo	W	Ni	Cu	Nb	B	铸造结果	备注
5	F	1.47	-	-	-	-	-	-	-	完成铸造	发明例
6	F	1.14	-	-	-	-	-	-	-	完成铸造	发明例
7	F	0.51	-	-	-	-	-	-	-	完成铸造	发明例
10	F	0.45	-	-	-	-	-	-	-	完成铸造	发明例
11	F	0.85	-	-	-	-	-	-	-	完成铸造	发明例
12	F	1.38	-	-	-	-	-	-	-	完成铸造	发明例
13	F	1.46	-	-	-	-	-	-	-	完成铸造	发明例
14	F	0.72	-	-	-	-	-	-	-	完成铸造	发明例
15	F	0.80	-	-	-	-	-	-	-	完成铸造	发明例
16	F	0.98	-	-	-	-	-	-	-	完成铸造	发明例
18	F	1.10	-	-	-	-	-	-	-	完成铸造	发明例
19	F	1.50	-	-	-	-	-	-	-	完成铸造	发明例
20	F	0.47	-	-	-	1.805	0.240	-	-	完成铸造	发明例
21	F	0.60	-	0.195	-	0.490	0.353	-	-	完成铸造	发明例
22	F	1.32	0.242	-	-	-	-	-	-	完成铸造	发明例
23	F	1.62	-	-	-	-	-	0.009	-	完成铸造	发明例
24	F	1.06	0.435	-	-	-	-	-	-	完成铸造	发明例
25	K	0.42	0.483	-	-	-	-	-	-	完成铸造	发明例
26	K	0.95	-	0.730	-	-	-	-	-	完成铸造	发明例
27	K	0.37	-	0.297	-	-	-	-	-	完成铸造	发明例
28	K	0.43	-	-	0.254	-	-	-	-	完成铸造	发明例
29	K	1.51	-	-	0.741	-	-	-	-	完成铸造	发明例
30	K	0.60	-	-	-	2.399	-	-	-	完成铸造	发明例
31	K	1.07	-	-	-	0.803	-	-	-	完成铸造	发明例
32	K	1.31	-	-	-	-	0.423	-	-	完成铸造	发明例
33	K	1.17	-	-	-	-	0.132	-	-	完成铸造	发明例
34	K	1.19	-	-	-	-	-	0.030	-	完成铸造	发明例
35	K	0.54	-	-	-	-	-	0.021	-	完成铸造	发明例
36	K	0.80	-	-	-	-	-	-	0.001	完成铸造	发明例
37	K	1.52	-	-	-	-	-	-	0.001	完成铸造	发明例
38	N	1.05	-	-	-	-	-	-	-	完成铸造	发明例
39	J	1.05	-	-	-	-	-	-	-	完成铸造	发明例
40	M	1.04	-	-	-	-	-	-	-	完成铸造	发明例
41	L	1.05	-	-	-	-	-	-	-	完成铸造	发明例
42	O	1.05	-	-	-	-	-	-	-	完成铸造	发明例
43	K	1.05	-	-	-	-	-	-	-	完成铸造	发明例
44	K	1.19	-	-	-	-	-	-	-	完成铸造	发明例
45	K	1.59	-	-	-	-	-	-	-	完成铸造	发明例
46	K	1.64	-	-	-	-	-	-	-	完成铸造	发明例
47	J	1.62	-	-	-	-	-	-	-	完成铸造	发明例
48	J	1.43	-	-	-	-	-	-	-	完成铸造	发明例
51	F	0.42	-	-	-	-	-	-	-	完成铸造	发明例

[0143] 表3A

[0144]

钢种号	制造条件符号	最多的夹杂物的状态	附着有TiN的复合夹杂物相对于总夹杂物的个数比例 (%)
5	F	REM-Ca-Al-O-S-(TiN)	75.9
6	F	REM-Ca-Al-O-S-(TiN)	91.0
7	F	REM-Ca-Al-O-S-(TiN)	74.6
10	F	REM-Ca-Al-O-S-(TiN)	75.7
11	F	REM-Ca-Al-O-S-(TiN)	71.0
12	F	REM-Ca-Al-O-S-(TiN)	79.9
13	F	REM-Ca-Al-O-S-(TiN)	73.8
14	F	REM-Ca-Al-O-S-(TiN)	93.9
15	F	REM-Ca-Al-O-S-(TiN)	73.6
16	F	REM-Ca-Al-O-S-(TiN)	74.0
18	F	REM-Ca-Al-O-S-(TiN)	71.4
19	F	REM-Ca-Al-O-S-(TiN)	91.5
20	F	REM-Ca-Al-O-S-(TiN)	93.2
21	F	REM-Ca-Al-O-S-(TiN)	80.9
22	F	REM-Ca-Al-O-S-(TiN)	94.7
23	F	REM-Ca-Al-O-S-(TiN)	71.3
24	F	REM-Ca-Al-O-S-(TiN)	91.5
25	K	REM-Al-O-S-(TiN)	77.8
26	K	REM-Al-O-S-(TiN)	86.2
27	K	REM-Al-O-S-(TiN)	74.7
28	K	REM-Al-O-S-(TiN)	75.2
29	K	REM-Al-O-S-(TiN)	89.3
30	K	REM-Al-O-S-(TiN)	85.9
31	K	REM-Al-O-S-(TiN)	90.7
32	K	REM-Al-O-S-(TiN)	89.9
33	K	REM-Al-O-S-(TiN)	94.8
34	K	REM-Al-O-S-(TiN)	93.2
35	K	REM-Al-O-S-(TiN)	78.0
36	K	REM-Al-O-S-(TiN)	81.4
37	K	REM-Al-O-S-(TiN)	86.2
38	N	REM-Al-O-S-(TiN)	76.8
39	J	REM-Al-O-S-(TiN)	92.8
40	M	REM-Al-O-S-(TiN)	77.7
41	L	REM-Al-O-S-(TiN)	73.4
42	O	REM-Ca-Al-O-S-(TiN)	89.9
43	K	REM-Al-O-S-(TiN)	86.9
44	K	REM-Al-O-S-(TiN)	82.5
45	K	REM-Al-O-S-(TiN)	75.9
46	K	REM-Al-O-S-(TiN)	90.5
47	J	REM-Al-O-S-(TiN)	78.2
48	J	REM-Al-O-S-(TiN)	65.3
51	F	REM-Ca-Al-O-S-(TiN)	89.5

[0145] 表3B

[0146]

钢种号	制造条件符号	没有附着在夹杂物上而独立存在的最大直径为1 μ m 以上的TiN的数密度和最大直径为10 μ m 以上的MnS的数密度的总和 (个/mm ²)	疲劳特性 L ₁₀ ($\times 10^6$) (循环)	180℃回火 维氏硬度 (Hv)	备注
5	F	0.08	17.9	732.4	发明例
6	F	0.02	16.6	751.2	发明例
7	F	0.04	17.9	721.4	发明例
10	F	0.06	18.6	783.9	发明例
11	F	0.03	16.5	755.2	发明例
12	F	0.03	17.6	751.6	发明例
13	F	0.06	17.3	752.3	发明例
14	F	0.04	18.9	753.5	发明例
15	F	0.02	19.3	743.1	发明例
16	F	0.08	17.9	773.6	发明例
18	F	0.02	18.8	764.5	发明例
19	F	0.03	18.0	752.0	发明例
20	F	0.07	17.1	756.1	发明例
21	F	0.07	17.5	752.1	发明例
22	F	0.07	18.4	751.1	发明例
23	F	0.07	16.7	719.9	发明例
24	F	0.04	16.4	718.2	发明例
25	K	0.06	17.1	719.6	发明例
26	K	0.04	17.6	737.1	发明例
27	K	0.09	19.3	735.1	发明例
28	K	0.06	17.5	705.1	发明例
29	K	0.09	16.6	735.1	发明例
30	K	0.06	19.1	763.6	发明例
31	K	0.02	18.4	783.5	发明例
32	K	0.04	17.5	773.2	发明例
33	K	0.04	17.4	734.4	发明例
34	K	0.06	17.1	718.4	发明例
35	K	0.03	18.2	735.5	发明例
36	K	0.06	16.6	751.2	发明例
37	K	0.09	16.4	756.8	发明例
38	N	0.08	16.4	753.1	发明例
39	J	0.06	18.5	732.7	发明例
40	M	0.09	19.8	772.1	发明例
41	L	0.09	19.8	732.1	发明例
42	O	0.05	20.0	723.7	发明例
43	K	0.07	19.2	748.5	发明例
44	K	0.07	19.5	732.1	发明例
45	K	0.07	18.0	735.1	发明例
46	K	0.05	17.6	783.5	发明例
47	J	0.06	11.3	736.9	发明例
48	J	0.13	11.8	756.2	发明例
51	F	0.10	19.7	783.1	发明例

[0147] 表4A

[0148]

钢种号	制造条件符号	C	Si	Mn	P	S	Al	Ca	REM	Ti	N	O
52	B	0.18	0.13	0.49	0.013	0.009	0.029	0.0008	0.0020	0.0005	0.005	0.0005
53	E	0.34	0.43	0.59	0.013	0.007	0.013	0.0010	0.0030	0.0080	0.007	0.0004
54	A	0.30	0.33	0.51	0.011	0.008	0.024	0.0011	0.00007	0.0008	0.005	0.0005
55	~	0.40	0.23	0.65	0.014	0.007	0.044	0.0011	0.0630	0.0017	0.005	0.0005
56	P	0.17	0.48	0.45	0.013	0.007	0.018	0.0013	0.0013	0.0045	0.003	0.0001
57	I	0.42	0.15	0.69	0.011	0.008	0.037	0.0032	0.0442	0.0016	0.015	0.0028
58	Q	0.30	0.14	0.43	0.012	0.009	0.045	0.0021	0.0313	0.0015	0.005	0.0004
59	F	0.31	0.79	0.38	0.011	0.051	0.045	0.0025	0.0261	0.0029	0.011	0.0009
60	F	0.25	0.45	0.51	0.014	0.007	0.020	0.0051	0.0453	0.0041	0.012	0.0013
61	A	0.35	0.57	0.43	0.012	0.008	0.043	0.0059	0.0292	0.0034	0.008	0.0027
62	C	0.29	0.64	0.63	0.013	0.006	0.037	0.0036	0.0255	0.0026	0.009	0.0030
63	D	0.68	0.65	0.62	0.015	0.008	0.031	0.0008	0.0020	0.0005	0.005	0.0005
64	F	0.08	0.11	0.73	0.015	0.009	0.023	0.0026	0.0285	0.0041	0.006	0.0006
65	F	0.48	0.50	0.41	0.014	0.010	0.016	0.0013	0.0175	0.0023	0.011	0.0016
66	F	0.16	0.007	0.79	0.013	0.006	0.025	0.0030	0.0077	0.0001	0.012	0.0010
67	F	0.37	0.82	0.64	0.012	0.006	0.037	0.0008	0.0014	0.0015	0.006	0.0024
68	F	0.39	0.55	0.08	0.011	0.008	0.025	0.0015	0.0173	0.0042	0.004	0.0012
69	F	0.41	0.26	1.52	0.012	0.008	0.015	0.0050	0.0481	0.0011	0.002	0.0020
70	F	0.31	0.15	0.48	0.032	0.010	0.029	0.0018	0.0073	0.0006	0.009	0.0018
71	F	0.40	0.66	0.36	0.011	0.006	0.044	0.0017	0.0382	0.0033	0.002	0.0010
72	F	0.23	0.69	0.70	0.010	0.007	0.008	0.0022	0.0008	0.0036	0.007	0.0026
73	F	0.38	0.07	0.43	0.011	0.008	0.052	0.0039	0.0203	0.0008	0.006	0.0019
74	F	0.32	0.66	0.71	0.014	0.009	0.033	0.0044	0.0298	0.0031	0.016	0.0010
75	F	0.32	0.03	0.42	0.015	0.006	0.050	0.0033	0.0352	0.0031	0.015	0.00009
76	F	0.15	0.62	0.76	0.012	0.010	0.017	0.0010	0.0014	0.0002	0.012	0.0032
78	F	0.21	0.75	0.72	0.011	0.010	0.016	0.0033	0.0418	0.0019	0.011	0.0013
79	F	0.39	0.50	0.49	0.012	0.008	0.032	0.0025	0.0233	0.0028	0.004	0.0023
81	F	0.34	0.42	0.41	0.011	0.010	0.025	0.0043	0.0087	0.0045	0.005	0.0030
82	F	0.41	0.08	0.76	0.011	0.007	0.046	0.0019	0.0138	0.0048	0.015	0.0025
83	F	0.40	0.10	0.76	0.011	0.006	0.050	0.0024	0.0186	0.0004	0.004	0.0010
84	F	0.40	0.10	0.76	0.011	0.006	0.050	0.0024	0.0186	0.0004	0.004	0.0010

[0149] *钢种号55是按条件A制造的设计,但因喷嘴堵塞而不能浇铸

[0150] 表4B

钢种号	制造条件符号	Cr	V	Mo	W	Ni	Cu	Nb	B	铸造结果	备注
52	B	1.04	-	-	-	-	-	-	-	完成铸造	比较例
53	E	1.56	-	-	-	-	-	-	-	完成铸造	比较例
54	A	1.65	-	-	-	-	-	-	-	完成铸造	比较例
55	-	0.41	-	-	-	-	-	-	-	因喷嘴堵塞而中断	比较例
56	P	0.83	-	-	-	-	-	-	-	完成铸造	比较例
57	I	0.78	-	-	-	-	-	-	-	完成铸造	比较例
58	Q	1.23	-	-	-	-	-	-	-	完成铸造	比较例
59	F	1.68	-	-	-	-	-	-	-	完成铸造	比较例
60	F	1.61	-	-	-	-	-	-	-	完成铸造	比较例
61	A	1.26	-	-	-	-	-	-	-	完成铸造	比较例
62	Q	1.68	-	-	-	-	-	-	-	完成铸造	比较例
63	D	0.56	-	-	-	-	-	-	-	完成铸造	比较例
64	F	1.65	-	-	-	-	-	-	-	完成铸造	比较例
65	F	0.76	-	-	-	-	-	-	-	完成铸造	比较例
66	F	0.46	-	-	-	-	-	-	-	完成铸造	比较例
67	F	1.05	-	-	-	-	-	-	-	完成铸造	比较例
68	F	0.95	-	-	-	-	-	-	-	完成铸造	比较例
69	F	0.87	-	-	-	-	-	-	-	完成铸造	比较例
70	F	0.48	-	-	-	-	-	-	-	完成铸造	比较例
71	F	2.22	-	-	-	-	-	-	-	完成铸造	比较例
72	F	1.31	-	-	-	-	-	-	-	完成铸造	比较例
73	F	1.67	-	-	-	-	-	-	-	完成铸造	比较例
74	F	1.43	-	-	-	-	-	-	-	完成铸造	比较例
75	F	0.97	-	-	-	-	-	-	-	完成铸造	比较例
76	F	1.38	-	-	-	-	-	-	-	完成铸造	比较例
78	F	0.55	-	1.02	-	-	-	-	-	完成铸造	比较例
79	F	0.38	-	-	1.02	-	-	-	-	完成铸造	比较例
81	F	1.46	-	-	-	-	0.52	-	-	完成铸造	比较例
82	F	0.63	-	-	-	-	-	0.052	-	完成铸造	比较例
83	F	0.81	-	-	-	-	-	-	0.0052	完成铸造	比较例
84	F	0.08	-	-	-	-	-	-	-	完成铸造	比较例

[0151]

[0152] *钢种号55是按条件A制造的设计,但因喷嘴堵塞而不能浇铸

[0153] 表5A

[0154]

钢种号	制造条件符号	最多的夹杂物的状态	附着有TiN的复合夹杂物相对于总夹杂物的个数比例 (%)
52	B	REM-Ca-Al-O-S	33.4
53	E	REM-Ca-Al-O-S-(TiN)	35.0
54	A	Al-Ca-O	36.2
55	-	发生喷嘴堵塞	—
56	P	Al-Ca-O	48.6
57	I	Al-Ca-O、REM-Ca-Al-O-S-(TiN)	39.3
58	Q	REM-Ca-Al-O-S	43.5
59	F	MnS	42.0
60	F	CaO、Al-Ca-O	35.0
61	A	CaO	33.0
62	C	REM-Ca-Al-O-S	32.0
63	D	REM-Ca-Al-O-S	34.0
64	F	REM-Ca-Al-O-S-(TiN)	72.6
65	F	发生淬裂	—
66	F	REM-Ca-Al-O-S-(TiN)	72.6
67	F	发生淬裂	—
68	F	REM-Ca-Al-O-S-(TiN)	72.6
69	F	发生淬裂	—
70	F	REM-Ca-Al-O-S-(TiN)	72.6
71	F	发生淬裂	—
72	F	REM-Ca-O-S	36.0
73	F	Al ₂ O ₃ 、Al-Ca-O	37.0
74	F	TiN、REM-Ca-Al-O-S-(TiN)	33.0
75	F	REM-Ca-Al-S	35.0
76	F	Al ₂ O ₃ 、REM-Ca-Al-O-S-(TiN)	36.0
78	F	加工时发生裂纹	—
79	F	加工时发生裂纹	—
81	F	加工时发生裂纹	—
82	F	加工时发生裂纹	—
83	F	加工时发生裂纹	—
84	F	Al-Ca-O、REM-Ca-Al-O-S-(TiN)	68.2

[0155] 表5B

[0156]

钢种号	制造条件符号	没有附着在夹杂物上而独立存在的最大直径为1 μ m以上的TiN的数密度和最大直径为10 μ m以上的MnS的数密度的总和(个/mm ²)	疲劳特性 L ₁₀ ($\times 10^6$) (循环)	180℃回火 维氏硬度 (Hv)	备注
52	B	8.03	4.9	758.4	比较例
53	E	7.95	5.8	732.5	比较例
54	A	6.34	3.7	783.4	比较例
55	-	—	—	—	比较例
56	P	12.46	4.1	739.0	比较例
57	I	9.14	6.2	722.6	比较例
58	Q	9.56	7.5	734.6	比较例
59	F	7.10	8.3	660.0	比较例
60	F	11.50	8.5	660.0	比较例
61	A	7.93	5.6	722.3	比较例
62	C	8.02	5.0	720.0	比较例
63	D	11.02	5.1	720.0	比较例
64	F	0.10	8.0	605.2	比较例
65	F	—	—	—	比较例
66	F	0.10	7.8	601.0	比较例
67	F	—	—	—	比较例
68	F	0.10	7.7	610.3	比较例
69	F	—	—	—	比较例
70	F	0.10	7.9	697.6	比较例
71	F	—	—	—	比较例
72	F	10.50	6.3	697.6	比较例
73	F	9.40	6.5	697.6	比较例
74	F	8.56	6.3	697.6	比较例
75	F	7.58	6.3	697.6	比较例
76	F	11.02	6.4	697.6	比较例
78	F	—	—	—	比较例
79	F	—	—	—	比较例
81	F	—	—	—	比较例
82	F	—	—	—	比较例
83	F	—	—	—	比较例
84	F	0.16	7.2	625.5	比较例

[0157] 产业上的可利用性

[0158] 根据本发明,通过将Al-O系夹杂物改质成REM-Al-O系夹杂物或将Al-Ca-O系夹杂物改质成REM-Ca-Al-O系夹杂物,能够防止氧化物系夹杂物的延伸或粗大化,另外,通过使TiN与REM-Al-O-S系夹杂物或REM-Ca-Al-O-S系夹杂物复合化,能够使没有附着在所述复合夹杂物上而独立存在的TiN的数密度降低,且通过使S固定化,能够抑制生成粗大的MnS,因此能够提供疲劳特性优异的表面渗碳钢。因而,本发明在产业上的可利用性高。

[0159] 符号说明

[0160] A:REM-Ca-Al-O-S系夹杂物

[0161] B:TiN

[0162] C:初析渗碳体

[0163] D:MnS

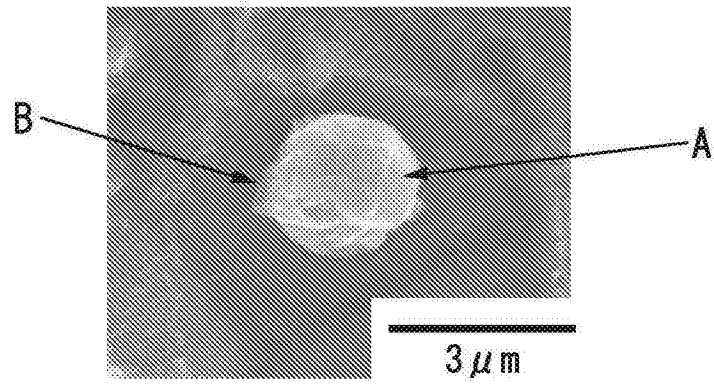


图1

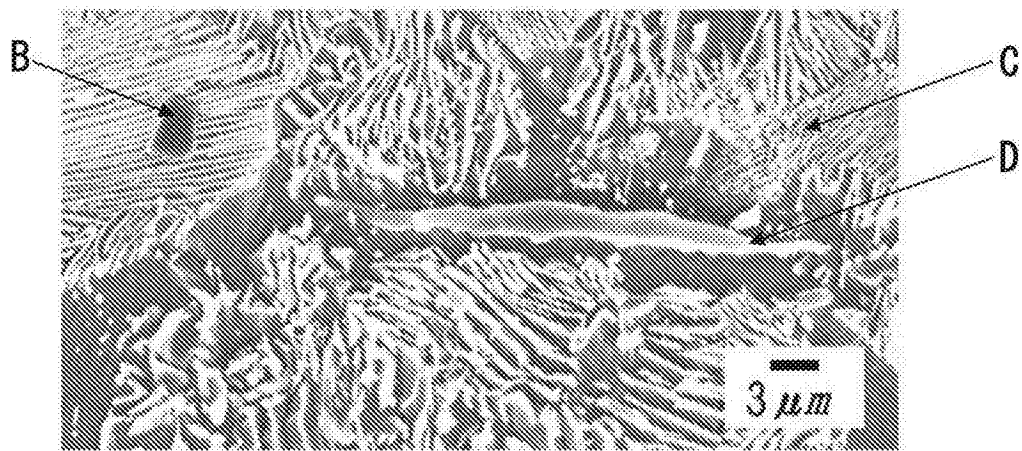


图2

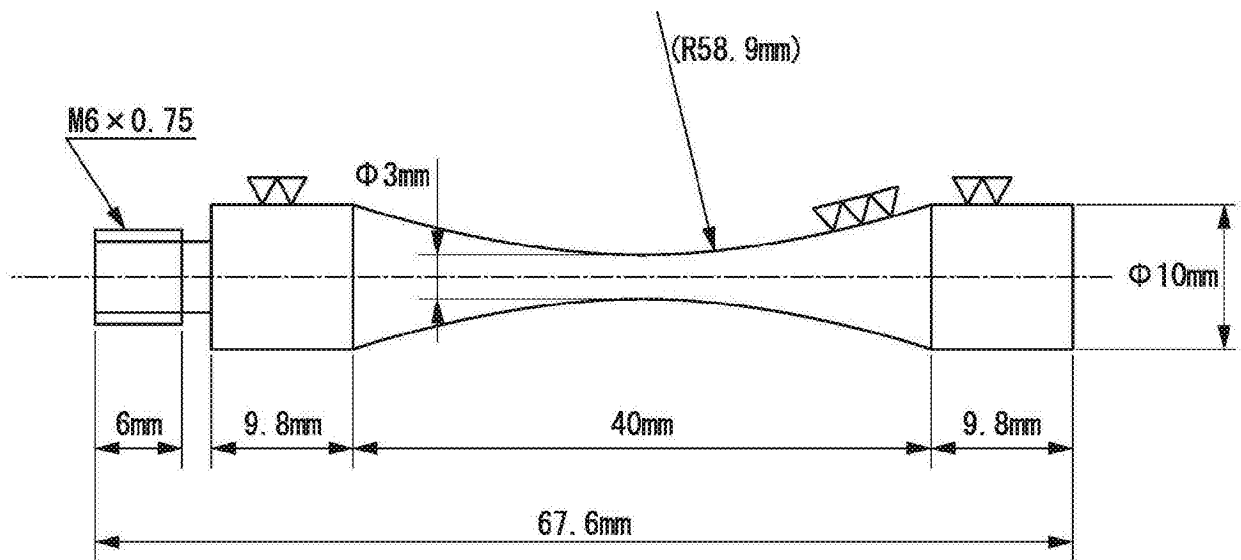


图3