



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103459633 B

(45) 授权公告日 2016. 01. 27

(21) 申请号 201280015109. 1

G22C 38/34(2006. 01)

(22) 申请日 2012. 03. 08

G22C 38/54(2006. 01)

(30) 优先权数据

F16F 1/02(2006. 01)

2011-080824 2011. 03. 31 JP

C21D 8/06(2006. 01)

C21D 9/52(2006. 01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2013. 09. 25

(56) 对比文件

CN 1685072 A, 2005. 10. 19, 权利要求 1、3、6-7, 说明书第 7 页第 12-20 行、及表 2.

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2012/055994 2012. 03. 08

CN 1685072 A, 2005. 10. 19, 权利要求 1、3、6-7, 说明书第 7 页第 12-20 行、及表 2.

(87) PCT国际申请的公布数据

W02012/132821 JA 2012. 10. 04

CN 101208445 A, 2008. 06. 25, 说明书第 1 段落.

(73) 专利权人 株式会社神户制钢所

地址 日本兵库县

审查员 马娜

(72) 发明人 大浦宏之 吉原直

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任

公司 11021

代理人 王玉玲

(51) Int. Cl.

G22C 38/00(2006. 01)

权利要求书1页 说明书13页 附图2页

(54) 发明名称

拉丝加工性和拉丝后的疲劳特性优异的弹簧用钢线材、以及疲劳特性和弹簧加工性优异的弹簧用钢线

(57) 摘要

拉丝加工性和拉丝后的疲劳特性优异的弹簧用钢线材, 以及疲劳特性和弹簧加工性优异的本发明的弹簧用钢线材, 具有如下特征: 满足 C: 0. 50% 以上、低于 0. 70%, Si: 1. 0 ~ 2. 5%, Mn: 0. 50 ~ 1. 50%, Cr: 0. 5% 以下(含 0%), B: 0. 0010 ~ 0. 0050%, N: 0. 005% 以下(不含 0%), P: 0. 020% 以下(不含 0%), S: 0. 020% 以下(不含 0%), Al: 0. 03% 以下(不含 0%) 和 0: 0. 0020% 以下(不含 0%), 余量由铁和不可避免的杂质构成, 全部组织中所占的珠光体组织的面积率为 85% 以上。

1. 一种弹簧用钢线材,其特征在于,以质量%计满足:

C:0.50%以上、低于0.70%、

Si:1.0~2.5%、

Mn:0.50~1.50%、

Cr:0.5%以下且含0%、

B:0.0010~0.0050%、

N:0.0050%以下但不含0%、

P:0.020%以下但不含0%、

S:0.020%以下但不含0%、

Al:0.03%以下但不含0%、和

O:0.0020%以下但不含0%,余量由铁和不可避免的杂质构成,

全部组织中所占的珠光体组织的面积率为85%以上,

并且,在观察视野面积 $2000\mu\text{m}^2$ 中的珠光体组织中存在的、当量圆直径为100nm以上、低于1000nm的BN系化合物为100个以下且含0个,并且,当量圆直径为1000nm以上的BN系化合物在10个以下且含0个。

2. 根据权利要求1所述的弹簧用钢线材,其中,以质量%计还含有从由V:0.05~0.40%和Ni:0.05~0.80%所构成的群中选择的一种以上的元素。

3. 根据权利要求1所述的弹簧用钢线材,其中,以质量%计固溶N为0.0020%以下且含0%。

4. 一种疲劳特性和弹簧加工性优异的弹簧用钢线,其特征在于,是使用权利要求1~3中任一项所述的弹簧用钢线材而得到的弹簧用钢线,其中,表层部的维氏硬度Hvs与内部的维氏硬度Hvh的差满足下式(1),

$$(H_{vs} - H_{vh}) \leq 100 \cdots (1)$$

其中,上述Hvs是指从D/16部分至D/4部分的最高维氏硬度,上述Hvh是指从D/4部分至D/2的最低维氏硬度,所述D是指钢线的直径。

拉丝加工性和拉丝后的疲劳特性优异的弹簧用钢线材、以及疲劳特性和弹簧加工性优异的弹簧用钢线

技术领域

[0001] 本发明涉及拉丝加工性和拉丝后的疲劳特性优异的弹簧用钢线材,以及疲劳特性和弹簧加工性优异的弹簧用钢线。特别是涉及实施冷拉拔加工所使用的弹簧(加工弹簧)。

背景技术

[0002] 随着汽车等的轻量化和高应力化,发动机、离合器和悬挂系统等所使用的阀弹簧,在离合器弹簧和悬架弹簧中也指向高强度化。由此,对弹簧的负荷应力增大,因此要求疲劳强度优异的弹簧。

[0003] 近年来,阀弹簧和悬架弹簧等的大部分,一般是对于热轧线材(钢线材)进行拉丝来制作钢线,将对于该钢线实施淬火/回火而得到的油回火线(OT线),在常温下实施卷簧加工而制造。上述OT线的组织,因为是回火马氏体组织主体,所以容易确保高强度,并且具有疲劳强度和耐永久残余应变性优异这样的优点。但是,却有淬火/回火等的热处理需要大规模的设备 and 处理成本这样的缺点。

[0004] 另一方面,也有以拉丝的状态使用其后未实施热处理的钢线(硬拉丝),实施冷卷而制造弹簧(以下,像这样以拉丝的状态使用其后未实施热处理的钢线(硬拉丝)而得到的弹簧,称为“硬拉簧”)的情况。例如,在JIS规格中,在相当于钢线的钢琴线(JIS G3522)之中,特别是作为阀弹簧或以此为标准的弹簧用,规定钢琴线V种。

[0005] 上述硬拉簧,因为不需要热处理,所以具有制造成本低这样的优点。但是,硬拉簧和用于该弹簧的制造的硬拉丝,存在难以确保上述OT线水平的疲劳特性这样的问题。另外,还有内部硬度容易发生不均匀,弹簧加工时的自由长度产生偏差(即,弹簧加工性差)这样的问题。

[0006] 因此,作为用于弹簧加工的钢线,就期望不仅在使用OT线时,即使在使用硬拉丝时,也发挥出优异的弹簧加工性,并且期望显示出优异的疲劳特性,一并还期望有助于这样的钢线制造的钢线材。

[0007] 作为实现硬拉簧的疲劳特性提高的技术,例如有专利文献1。在该专利文献1中,根据与碳含量的关系规定珠光体分率,此外通过以V为必须元素来实现珠光体团尺寸的微细化,在线径3.5mm下,使抗拉强度为1890MPa以上的高强度和耐永久残余应变性并立。但是,若单纯使碳含量增加来实现高强度化,则认为避免不了拉丝加工性的劣化。另外认为,想要使拉丝后的疲劳特性更高时,需要进一步研究。此外还考虑到,若添加V作为必须元素,则淬硬性容易增大,为了通过拉丝前的钢丝韧化处理得到珠光体组织而需要降低线速等,生产率降低而招致制造成本的增加。

[0008] 另外在专利文献2中,为了提高弹簧用线材的疲劳特性,对于TiN系夹杂物的最大厚度进行了规定。但是如果进一步提高拉丝后的疲劳特性,则认为以TiN系夹杂物为起点的疲劳折损造成疲劳强度的降低,因此,为了进一步提高疲劳特性,考虑需要从另外的观点进行研究。

- [0009] 先行技术文献
[0010] 专利文献
[0011] 专利文献 1 :特开 2002 — 180200 号公报
[0012] 专利文献 2 :特开 2009 — 024245 号公报

发明内容

[0013] 本发明为了解决上述现有技术中的课题而形成,其目的在于,提供一种拉丝加工性和拉丝后的疲劳特性优异的弹簧用钢线材,以及疲劳特性和弹簧加工性优异的弹簧用钢线。

[0014] 能够解决上述课题的本发明的弹簧用钢线材,具有如下特征,满足:

[0015] C:0.50%以上、低于0.70%(%是“质量%”的意思,关于化学成分组成以下均同)、

[0016] Si:1.0~2.5%、

[0017] Mn:0.50~1.50%、

[0018] Cr:0.5%以下(含0%)、

[0019] B:0.0010~0.0050%、

[0020] N:0.0050%以下(不含0%)、

[0021] P:0.020%以下(不含0%)、

[0022] S:0.020%以下(不含0%)、

[0023] Al:0.03%以下(不含0%)和

[0024] O:0.0020%以下(不含0%),

[0025] 余量由铁和不可避免的杂质构成,

[0026] 全部组织中所占的珠光体组织的面积率为85%以上。

[0027] 作为上述弹簧用钢线材,还优选观察视野面积 $2000\mu\text{m}^2$ 中的珠光体组织中存在的、当量圆直径为100nm以上、低于1000nm的BN系化合物在100个以下(含0个),并且,当量圆直径为1000nm以上的BN系化合物满足10个以下(含0个)。

[0028] 作为上述弹簧用钢线材,还优选含有从V:0.05~0.40%和Ni:0.05~0.80%构成的群中选择的一种以上的元素,和固溶N满足0.0020%以下(含0%)。

[0029] 在本发明中,也包括使用上述弹簧用钢线材得到的弹簧用钢线,其具有的特征在于,表层部的维氏硬度(Hvs)与内部的维氏硬度(Hvh)的差满足下式(1)。

[0030] $(Hvs - Hvh) \leq 100 \cdots (1)$

[0031] [其中,上述Hvs是指从D(指钢线的直径。下同)/16部至D/4部的最高维氏硬度,上述Hvh是指从D/4部至D/2的最低维氏硬度。]

[0032] 还有,在本发明中,所谓“当量圆直径”,意思是将BN系化合物的面积换算成相同面积的圆时的直径。另外,本发明中作为对象的所谓“BN系化合物”,除了由BN(氮化硼)构成的以外,还允许含有以BN为主体,和以MnS为核的BN化合物等的复合夹杂物。

[0033] 在本发明中,因为适当地调整化学成分组成,并且调整珠光体组织的面积比例,所以能够实现拉丝加工性和拉丝后的疲劳特性优异的弹簧用钢线材,以及疲劳特性和弹簧加工性优异的弹簧用钢线。此外,通过控制BN系化合物的形态,能够进一步提高上述疲劳特性。

[0034] 本发明的弹簧用钢线,能够作为拉丝后实施淬火回火处理的冷卷用的弹簧用钢线、在钢线的状态下使用的冷卷用弹簧用钢线、弹簧加工后实施淬火回火处理的弹簧用钢线等使用。这样的弹簧用钢线,作为发动机、离合器和悬挂系统等所使用的阀弹簧、离合器弹簧和悬架弹簧的原材有用。

附图说明

[0035] 图 1 是实施例的组织观察照片。

[0036] 图 2 是表示 ΔHV 与弹簧加工时的废品率(每 100 件的废品件数)的关系的图。

[0037] 图 3 是表示 OT 线的抗拉强度与疲劳强度的关系的图。

[0038] 图 4 是表示硬拉丝的抗拉强度与硬拉簧的疲劳寿命的关系的图。

具体实施方式

[0039] 本发明者们,为了得到拉丝加工性和拉丝后的疲劳特性优异的弹簧用钢线材,以及疲劳特性和弹簧加工性优异的弹簧用钢线,从各种角度进行了研究。其结果可知:

[0040] (a) 为了提高弹簧用钢线材的拉丝加工性,可以

[0041] (a-1) 使全部组织中所占的珠光体组织的面积率为 85% 以上,并且,

[0042] (a-2) 满足后述的成分组成;

[0043] (a-3) 为了进一步提高弹簧用钢线材的拉丝加工性,优选使钢中的固溶 N 量减少至 0.0020% 以下;

[0044] (b) 为了提高疲劳特性(弹簧用钢线材的拉丝后的疲劳特性,即,弹簧用钢线的疲劳特性和弹簧的疲劳特性),特别要满足后述的成分组成,另外为了进一步提高疲劳特性,可以将上述 BN 系化合物的析出尺寸和个数控制在规定的范围内;

[0045] (c) 为了提高弹簧用钢线的弹簧加工性,以满足下式(1)的方式,减小表层部的维氏硬度(Hvs)与内部的维氏硬度(Hvh)的差(以下,表示为“ ΔHV ”)即可。

[0046] $(Hvs - Hvh) \leq 100 \cdots (1)$

[0047] 以下,对于规定上述组织、成分组成的理由进行详述。

[0048] 还有,在本发明中作为疲劳特性,是以提高弹簧的疲劳特性为最终目的,但为了使之达成,需要用于弹簧的制造的钢线其疲劳特性也优异。从这一观点出发,要实现弹簧用钢线(硬拉丝或对其加以热处理而得到的 OT 线)的疲劳特性的提高。在本发明中,以下,将弹簧的疲劳特性和钢线(硬拉丝, OT 线)的疲劳特性仅称为“疲劳特性”。

[0049] [珠光体组织的面积率:85% 以上]

[0050] 在本发明中,使弹簧用钢线材的全部组织中所占的珠光体组织的面积率为 85% 以上。

[0051] 一般来说,作为弹簧用钢线材的组织,除了珠光体组织以外,还形成有初析铁素体和贝氏体。但是,若珠光体组织以外的组织增加,则拉丝中有可以发生断线(即,拉丝加工性差)。另外,即使未达到断线,内部也容易产生缺陷,由于此内部缺陷,疲劳特性降低。在本发明中,通过提高珠光体组织的面积率,相对地抑制铁素体等,实现组织的均匀化,从而减少断线和内部缺陷,使拉丝加工性和疲劳特性提高。所述珠光体组织的面积率优选为 87% 以上,更优选为 90% 以上,进一步优选为 91% 以上,特别优选为 93% 以上。

[0052] 作为珠光体组织以外的组织,可列举上述的初析铁素体和贝氏体等,但如果其很少,则越少越好,优选合计在 10% 以下,更优选合计在 5% 以下,特别优选为 0%。

[0053] 在本发明中,从进一步提高疲劳特性的观点出发,优选抑制当量圆直径为 100nm 以上的 BN 系化合物。虽然优选该当量圆直径在 100nm 以上的 BN 系化合物不存在,但如下述,通过将其限制在本发明的规定范围内,就能够最小限度地抑制其影响。

[0054] 还有,在珠光体组织以外的组织中,由于上述尺寸的 BN 系化合物几乎不存在,所以在本发明中,以存在于珠光体组织中的上述尺寸的 BN 系化合物为对象。

[0055] [观察视野面积 $2000\mu\text{m}^2$ 中的珠光体组织中存在的、当量圆直径在 100nm 以上、低于 1000nm 的 BN 系化合物在 100 个以下(含 0 个)]

[0056] 在本发明中,将观察视野面积 $2000\mu\text{m}^2$ 中的珠光体组织中存在的、当量圆直径在 100nm 以上、低于 1000nm 的 BN 系化合物的个数控制在 100 个以下(优选为 70 个以下,更优选为 50 个以下),能够改善疲劳特性。

[0057] [观察视野面积 $2000\mu\text{m}^2$ 中的珠光体组织中存在的、当量圆直径为 1000nm 以上的 BN 系化合物为 10 个以下(含 0 个)]

[0058] 抑制当量圆直径在 1000nm 以上这样尺寸比较大的 BN 系化合物的析出也很重要。这是由于,若这样的粗大的 BN 系化合物的析出个数变多,则容易招致疲劳特性的降低。在本发明中,将观察视野面积 $2000\mu\text{m}^2$ 中的珠光体组织中存在的上述粗大的 BN 系化合物的个数抑制在 10 个以下(优选为 8 个以下,更优选为 5 个以下)。

[0059] 还有,珠光体组织中的当量圆直径低于 100nm 的 BN 系化合物,因为对于疲劳特性几乎不造成不良影响,所以在本发明中不作为控制的对象。

[0060] 其次,对于规定成分组成的理由进行说明。

[0061] (C : 0.50% 以上、低于 0.70%)

[0062] C 在用于提高拉丝材的抗拉强度,确保疲劳特性和耐永久残余应变性上是有用的元素。另外,对于确保作为高应力弹簧所需要的抗拉强度也有用。还是确保希望的组织所需要的,对于抑制初析铁素体量的增大,抑制疲劳寿命的偏差也必要。因此,C 量为 0.50% 以上。优选为 0.52% 以上,更优选为 0.55% 以上,进一步优选为 0.60% 以上。但是在本发明中,若 C 量达到 0.70% 以上,则缺陷敏感性增大,表面瑕疵和来自夹杂物的裂缝变得容易进展,疲劳寿命劣化。因此在本发明中,使 C 量低于 0.70%。优选为 0.68% 以下,更优选为 0.65% 以下。

[0063] (Si : 1.0 ~ 2.5%)

[0064] Si 作为固溶强化元素有助于强度提高,是对于疲劳特性和耐永久残余应变性的改善有贡献的元素。另外,弹簧加工工序中作为卷取后的去应变退火而实施热处理,而这时其也是对于使优异的抗软化性发挥有效的元素。为了充分发挥这些效果,使 Si 量的下限为 1.0%。优选为 1.3% 以上,更优选为 1.5% 以上。但是,若 Si 量超过 2.5%,则表面的脱碳增大,疲劳特性有可能劣化。另外得不到希望的组织。因此 Si 量的上限为 2.5%。优选为 2.3% 以下,更优选为 2.0% 以下。

[0065] (Mn : 0.50 ~ 1.50%)

[0066] Mn 使珠光体组织致密且整洁化,是提高疲劳特性的元素。为了发挥这样的效果,使 Mn 含有 0.50% 以上。优选为 0.70% 以上,更优选为 0.80% 以上。另一方面,Mn 是容易偏析

的元素,若含量过剩,则发生偏析,在其偏析部生成微小马氏体,拉丝加工性容易降低。另外疲劳特性也容易降低。因此使 Mn 量的上限为 1.50%。优选为 1.30% 以下,更优选为 1.20% 以下。

[0067] {Cr :0.5% 以下(含 0%)}

[0068] Cr 缩小珠光体层间隔,使热轧后和作为拉丝前热处理的钢丝韧化处理后的强度上升,是用于提高耐永久残余应变性和疲劳强度上是有效的元素。从这样的观点出发,优选使 Cr 含有 0.05% 以上,更优选为 0.10% 以上,进一步优选为 0.15% 以上,特别优选为 0.20% 以上。但是,若 Cr 量变得过剩,则渗碳体被过于强化,韧性延展性劣化。另外拉丝加工性和疲劳特性也劣化。此外若 Cr 量变得过剩,则时效脆化容易发生,钢线的表层与内部的硬度的差变大,因此弹簧加工性差。因此使 Cr 量的上限为 0.5%。优选为 0.40% 以下,更优选为 0.35% 以下,进一步优选为 0.30% 以下。

[0069] {B :0.0010 ~ 0.0050%}

[0070] B 使固溶 N 作为 BN 系化合物微细析出,是对于提高线材的拉丝加工性和疲劳特性有效的元素。另外对于弹簧加工性的提高也有效。此外,B 的一部分作为固溶 B 存在于钢中,对于抑制初析铁素体的生成也有效。为了充分发挥这些效果,B 量需要 0.0010% 以上。优选为 0.0020% 以上,更优选为 0.0030% 以上。另一方面,若 B 量超过 0.0050%,则粗大的 $\text{Fe}_{23}(\text{CB})_6$ 等的硼化合物生成,有可能使疲劳强度劣化。因此在本发明中,B 量的上限为 0.0050%。更优选为 0.0040% 以下。

[0071] 还有,作为使固溶 N 固定的元素,除了 B 以外,还有 Ti 等,但在 Ti 的情况下,固定 N 所得到的 TiN 与 BN 相比较,是有角的形状,因此认为容易变成疲劳特性的起点。

[0072] {N :0.0050% 以下(不含 0%)}

[0073] 若 N 过剩,则固溶 N 变多,拉丝加工性、疲劳特性、弹簧加工性劣化。为了减少该固溶 N,有效的是减少总 N 量。但是过少会招致炼钢成本高,因此使 N 量的上限为 0.0050%。N 量优选为 0.0045% 以下,更优选为 0.0040% 以下。

[0074] {固溶 N :0.0020% 以下(含 0%)}

[0075] 固溶 N 引起拉丝加工中的时效脆化,容易招致拉丝中的断线、纵裂纹的发生。即,容易招致轧制后的拉丝加工性和钢丝韧化处理后的拉丝加工性的降低。另外,若时效脆化进行,则弹簧用钢线的表层与内部的硬度差变大,弹簧用钢线的弹簧加工性容易降低。因此,优选通过使钢中的 B 与 N 的含量满足下式(2),使固溶 N 作为 BN 析出,由此将固溶 N 量抑制在 0.0020% 以下。固溶 N 量更优选为 0.0015% 以下,进一步优选为 0.0010% 以下,更进一步优选为 0.0005% 以下。

[0076] $B - (N - 0.0020) \times 0.77 \geq 0.0000 \cdots (2)$

[0077] {P :0.020% 以下(不含 0%)}

[0078] 作为不可避免的杂质的 P,是诱发拉丝加工时的断线的元素。另外其在旧奥氏体晶界偏析而使晶界脆化,也是使疲劳特性降低的元素,因此越是极少越好。因此在本发明中为 0.020% 以下。优选为 0.016% 以下,更优选为 0.013% 以下。

[0079] {S :0.020% 以下(不含 0%)}

[0080] 作为不可避免的杂质的 S,与上述 P 同样,是诱发拉丝加工时的断线的元素。另外,其在旧奥氏体晶界偏析而使晶界脆化,也是使疲劳特性降低的元素,因此越是极少越好。因

此在本发明中为 0.020% 以下。优选为 0.015% 以下,更优选为 0.010% 以下。

[0081] (Al :0.03% 以下(不含 0%))

[0082] Al 作为炼钢时的脱氧剂被含有,但若过剩含有,则生成粗大的非金属夹杂物,使疲劳强度劣化,因此将其含量抑制在 0.03% 以下。优选为 0.010% 以下,更优选为 0.005% 以下。

[0083] (O :0.0020% 以下(不含 0%))

[0084] O 是若被过剩含有,则形成粗大的非金属夹杂物而使疲劳强度劣化的元素。因此在本发明中, O 含量为 0.0020% 以下。优选为 0.0015% 以下,更优选为 0.0010% 以下。

[0085] 本发明钢材的基本成分如上述,余量是铁和不可避免的杂质(上述 P、S、N、O 以外的杂质),但作为该不可避免的杂质,能够允许因原料、物资、制造设备等的状况而掺进的元素的混入。另外,在本发明的钢线材或钢线中,根据必要,还能够适量含有如下所示的 V 和 Ni,从而进一步提高特性。以下,对于这些元素进行详述。

[0086] (从 V :0.05 ~ 0.40% 和 Ni :0.05 ~ 0.80% 所构成的群中选择的一种以上的元素)

[0087] V、Ni 是特别是针对提高拉丝加工性是有效的元素。详细地说,V 使珠光体团尺寸微细而提高上述拉丝加工性,并且对于提高弹簧的韧性和耐永久残余应变性也是有用的元素。为了发挥这样的效果,优选使 V 含有 0.05% 以上。更优选为 0.1% 以上,进一步优选为 0.2% 以上。但是若过剩地含有 V 而超过 0.40%,则淬火性增大,热轧后生成马氏体和贝氏体,拉丝加工性反而变差。另外疲劳特性也降低。此外,应该作为层渗碳体使用的 C 减少,强度反而降低,除此之外,还有使初析铁素体过剩地生成,或诱发铁素体脱碳的倾向。另外若 V 量变得过剩,则容易发生时效脆化,钢线的表层与内部的硬度的差变大,因此弹簧加工性差。因此在本发明中,优选使 V 量为 0.40% 以下,更优选为 0.30% 以下。

[0088] Ni 对于使渗碳体的延展性提高而使拉丝加工性提高是有效的元素。另外,还是使钢线的延展性自身也提高的元素。此外,也有抑制热轧时的表层部的脱碳的效果。为了发挥这些效果,优选使 Ni 含有 0.05% 以上。更优选为 0.20% 以上。但是,若 Ni 量变得过剩,则淬火性增大,热轧后马氏体和贝氏体这样的组织大量析出,招致拉丝加工性的恶化。另外疲劳特性也降低。因此 Ni 量的上限优选为 0.80%。更优选为 0.60% 以下,进一步优选为 0.50% 以下。

[0089] $[(H_{vs} - H_{vh}) \leq 100]$

[0090] 如上述(c),为了提高弹簧用钢线的弹簧加工性,弹簧用钢线的表层部的维氏硬度(H_{vs})与内部的维氏硬度(H_{vh})的差(ΔHV),以满足下式(1)的方式缩小即可。这是由于,在弹簧加工后的弹簧中发生回弹,因此产生自由长度的变化,但是,若线材表层与线材内部的硬度的差大,则该回弹变大,自由长度发生大幅变化。

[0091] $(H_{vs} - H_{vh}) \leq 100 \cdots (1)$

[0092] [其中,上述 H_{vs} 是指从 D (钢线的直径)/16 部至 D/4 部的最高维氏硬度,上述 H_{vh} 是指从 D/4 部至 D/2 的最低维氏硬度。]

[0093] 为了满足该式(1),需要抑制拉丝中的加工放热,在本发明中,如后述,能够通过使拉丝时的拉丝速度为 300m/min 以下而达成。另外,使 B 量、N 量在规定的范围内,减少固溶 N 量,以及使 Cr 量、V 量在规定的范围内也有效。

[0094] 用于得到本发明的弹簧用钢线材和弹簧用钢线的制造条件,只要是能够控制规定的组织和 BN 系化合物的形态的条件便没有特别限制,但为了使用具有上述化学成分组成

的铸片,高效果地进行上述组织的确保,在制造工序中,可以如下述这样控制热轧后的卷取温度和热轧后冷却条件,另外,为了高效率地进行所推荐的 BN 系化合物的形态控制,优选在制造工序中,如下述这样控制开坯轧制前的加热条件。

[0095] [开坯轧制前的加热:在 1280℃ 以上,加热 30 分以上、90 分以下]

[0096] [开坯轧制开始前的 1280 ~ 1100℃ 的温度范围的冷却速度:0.5℃ / 秒以上]

[0097] 使开坯轧制前的加热温度为 1280℃ 以上,从而使 BN 系化合物充分地在钢中固溶,其后,将开坯轧制开始前的 1280 ~ 1100℃ 的温度范围的冷却速度控制在 0.5℃ / 秒以上,使 BN 系化合物的形态在规定范围内,能够进一步提高疲劳特性。开坯轧制前的加热温度优选为 1290℃ 以上。

[0098] 另外,在上述 1280℃ 以上的加热时间过短,也不能使 BN 系化合物充分地在钢中固溶,因此在 1280℃ 以上的加热为 30 分钟以上。还有,从操作成本的观点出发,1280℃ 以上的加热为 90 分钟以下。

[0099] 另外,开坯轧制开始前的 1280 ~ 1100℃ 的温度范围的冷却速度优选为 1.0℃ / 秒以上,更优选为 1.3℃ / 秒以上,进一步优选为 1.5℃ / 秒以上。

[0100] [热轧后的卷取温度:850℃ 以上、950℃ 以下]

[0101] 热轧后的卷取温度可以为 850℃ 以上,以不使轧制机的负荷过大。优选为 880℃ 以上。另一方面,为了抑制初析铁素体而将珠光体组织以面积率计确保在 85% 以上,可以使热轧后的卷取温度为 950℃ 以下。从抑制表层脱碳、再结晶、晶粒生长,成为微细晶粒组织的观点出发,也可以使热轧后的卷取温度处于 950℃ 以下。热轧后的卷取温度优选为 940℃ 以下,更优选为 930℃ 以下。

[0102] [从热轧后的卷取后至 600℃ 的冷却速度:10℃ / 秒以上、35℃ / 秒以下]

[0103] 为了将珠光体组织以面积率计确保在 85% 以上,可以使热轧后的卷取后至 600℃ 的冷却速度为 10℃ / 秒以上(优选为 15℃ / 秒以上,更优选为 20℃ / 秒以上)而抑制初析铁素体的形成,并且为 35℃ / 秒以下(优选为 30℃ / 秒以下),抑制马氏体和贝氏体组织的生成。

[0104] 在得到本发明的弹簧用钢线材时,对于上述以外的条件未特别限定,采用一般的制造条件即可。

[0105] 另外,为了取得表层部的维氏硬度(Hvs)与内部的维氏硬度(Hvh)的差在 100 以下弹簧用钢线,使用本发明所规定的弹簧用钢线材,由于在拉丝加工时需要抑制加工放热,所以推荐拉丝速度为 300m/min 以下(优选为 250m/min 以下)。上述拉丝速度的下限值,从生产率等的观点出发为 100m/min 左右。

[0106] 在取得本发明的弹簧用钢线时,对于上述以外的条件没有特别限定,采用一般的制造条件即可。

[0107] 实施例

[0108] 以下,列举实施例更具体地说明本发明,但本发明当然不受下述实施例限制,在能够符合前、后述的宗旨的范围内当然也可以适当加以变更实施,这些均包含在本发明的技术的范围内。

[0109] 对于下述表 1 所示的化学成分组成的钢进行转炉出钢后,进行二次精炼处理而熔炼,制造由连续铸造法铸造的铸片。然后以表 2 所示的条件,对于所得到的铸片进行开坯前

的加热(加热时间全部的钢种固定,升温至设定温度后保持 30 分钟)后,进行开坯轧制而成为 155mm 角,其次以表 2 所示的条件[热轧后的卷取温度(轧制卷取温度),以及以至卷取后 600℃的冷却速度(卷取后冷却速度)]进行热轧,制作直径 8.0mm 的热轧线材(钢线材)。还有,下述表 1 所示的固溶 N 量由下述的方法测量。

[0110] 另外,对于所得到的钢线材,以下述的方法测量珠光体组织的面积率、BN 系化合物的个数比例。其结果显示在下述表 2 中。

[0111] [表 1]

[0112]

钢种 编号	化学成分(质量%) ※量是铁和不可避免的杂质												固溶 N 量 (质量%)	式(2)左边的 值(质量%)
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	V	Al	B	N	O		
A	0.62	1.96	0.69	0.016	0.007	0.16	—	—	0.002	0.0031	0.0038	0.0013	0.0000	0.0017
B	0.63	2.11	1.21	0.011	0.009	0.33	—	—	0.016	0.0038	0.0046	0.0007	0.0003	0.0023
C	0.62	2.33	1.03	0.009	0.011	0.19	—	—	0.003	0.0025	0.0026	0.0011	0.0001	0.0020
D	0.68	1.38	0.66	0.014	0.006	0.36	—	0.23	0.002	0.0041	0.0024	0.0010	0.0000	0.0038
E	0.63	1.99	1.31	0.013	0.014	0.22	0.51	—	0.007	0.0031	0.0021	0.0009	0.0006	0.0030
F	0.55	1.45	0.71	0.016	0.011	0.47	0.29	0.34	0.002	0.0026	0.0033	0.0011	0.0001	0.0016
G	0.63	1.33	1.11	0.001	0.001	0.41	—	—	0.004	0.0014	0.0041	0.0012	0.0022	-0.0002
Z	0.59	1.88	0.91	0.013	0.006	—	—	—	0.003	0.0031	0.0041	0.0010	0.0001	0.0015
AA	0.64	1.76	0.76	0.011	0.007	—	—	—	0.002	0.0038	0.0033	0.0009	0.0000	0.0028
H	0.52	2.33	1.03	0.009	0.011	0.19	—	—	0.003	0.0025	0.0026	0.0011	0.0001	0.0020
I	0.63	1.77	0.91	0.011	0.009	0.23	—	—	0.003	0.0030	0.0038	0.0012	0.0003	0.0016
J	0.65	1.88	1.33	0.009	0.011	0.16	0.22	0.33	0.003	0.0038	0.0033	0.0011	0.0000	0.0028
K	0.57	1.86	1.11	0.014	0.006	0.36	0.33	—	0.003	0.0028	0.0034	0.0012	0.0001	0.0017
L	0.77	1.88	0.99	0.016	0.010	0.26	—	—	0.004	0.0034	0.0029	0.0011	0.0002	0.0027
M	0.46	1.73	1.33	0.011	0.010	0.31	—	—	0.003	0.0041	0.0041	0.0014	0.0001	0.0025
N	0.61	2.73	1.13	0.009	0.011	0.15	0.24	—	0.004	0.0033	0.0038	0.0016	0.0002	0.0019
O	0.63	1.33	1.72	0.011	0.006	0.30	—	—	0.004	0.0031	0.0028	0.0017	0.0002	0.0025
P	0.59	1.94	0.77	0.031	0.010	0.22	—	0.21	0.003	0.0029	0.0041	0.0011	0.0001	0.0013
Q	0.66	1.89	0.91	0.011	0.029	0.41	—	—	0.006	0.0041	0.0029	0.0013	0.0001	0.0035
R	0.59	2.10	0.97	0.013	0.011	0.71	—	0.13	0.013	0.0029	0.0033	0.0011	0.0000	0.0019
S	0.55	2.01	1.02	0.009	0.006	0.09	0.93	—	0.009	0.0036	0.0039	0.0009	0.0002	0.0021
T	0.61	2.23	1.03	0.016	0.009	0.17	—	0.58	0.003	0.0039	0.0041	0.0006	0.0000	0.0023
U	0.62	1.77	0.92	0.011	0.010	0.15	—	—	0.008	0.0028	0.0034	0.0012	0.0000	0.0017
V	0.57	1.81	1.32	0.011	0.007	0.31	0.31	—	0.007	0.0063	0.0042	0.0008	0.0002	0.0046
W	0.52	2.63	1.36	0.013	0.010	0.26	—	0.32	0.003	0.0063	0.0041	0.0011	0.0003	-0.0013
X	0.66	1.92	0.99	0.009	0.006	0.19	—	—	0.006	0.0033	0.0066	0.0014	0.0022	-0.0002
Y	0.62	2.03	0.79	0.014	0.016	0.43	0.19	—	0.008	0.0040	0.0038	0.0028	0.0001	0.0026

[0113] [表 2]

实施 例No.	钢种 编号	制造条件				珠光体面 积率 [%]	BN化合物个数*	
		开坯轧制前 加热温度	开坯轧制前 冷却速度	轧制卷取温 度	卷取后冷 却速度		100nm以上、 低于1000nm	1000nm以上
		[°C]	[°C/sec]	[°C]	[°C/sec]		[个]	[个]
1	A	1290	1.7	911	22	90	22	0
2	A	1290	1.7	930	28	93	24	1
3	B	1308	1.6	891	17	88	41	1
4	B	1308	1.6	880	23	91	36	2
5	C	1321	2.0	897	22	92	11	0
6	C	1321	2.0	891	16	87	23	0
7	D	1285	1.3	873	21	91	61	4
8	D	1285	1.3	897	25	93	53	3
9	E	1293	2.2	915	29	87	33	2
10	F	1310	1.4	933	24	94	14	1
11	G	1293	1.8	881	23	87	41	2
12	Z	1316	1.6	910	25	92	21	1
13	AA	1309	1.5	924	22	94	39	2
14	A	1290	1.7	971	16	78	26	1
15	B	1308	1.6	922	8	93	42	2
16	H	1242	0.4	931	21	92	134	8
17	I	1230	2.0	893	21	90	79	13
18	J	1241	1.6	889	16	87	69	15
19	K	1294	0.4	917	22	92	121	11
20	L	1320	1.6	889	29	96	35	2
21	M	1303	1.6	676	26	81	36	0
22	N	1286	1.7	899	19	83	41	2
23	O	1281	1.7	887	22	88	41	2
24	P	1292	1.9	911	20	93	38	1
25	Q	1300	1.6	921	18	92	50	0
26	R	1302	2.1	905	24	91	27	4
27	S	1312	1.9	893	24	89	22	0
28	T	1308	2.0	923	21	94	28	0
29	U	1291	2.2	878	29	93	24	1
30	V	1321	1.8	933	21	95	38	2
31	W	1306	0.6	921	28	81	0	0
32	X	1293	1.5	877	28	89	41	0
33	Y	1285	1.6	892	24	95	39	1

*观察视野面积 2000 μm^2 中的珠光体组织中存在的个数

[0114]

[0115] [固溶 N 量的测量方法]

[0116] 本发明的“固溶 N 量”的值,依据 JIS G1228,如下述(a)~(c)所示,从钢中的总 N 量减去总 N 化合物量而求得钢中的固溶 N 量。

[0117] (a) 钢中的总 N 量,使用惰性气体熔解法—热传导度法测量。详细地说,就是从供试钢原材上切下试样,将试样放入坩埚,在惰性气体气流中熔解而提取 N,搬送至热传导度单元,根据热传导度的变化而求得。

[0118] (b) 钢中的全部 N 化合物量,使用氨蒸馏分离靛酚蓝吸光光度法测量。详细地说,就是从供试钢原材切下试样,在 10%AA 系电解液(是不会在钢表面使钝态皮膜生成的非水溶媒系的电解液,具体来说就是 10% 乙酰丙酮,10% 四甲基氯化铵,余量:甲醇)中,进行定电流电解。通过该定电流电解使大约 0.5g 的试样溶解,用孔尺寸为 0.1 μm 的聚碳酸酯制的过滤器过滤掉不溶解残渣(N 化合物)。然后在硫酸、硫酸钾和纯 Cu 电极头(Cu チップ)中加热分解不溶解残渣,使之与滤液合在一起。接着,用氢氧化钠使该溶液呈碱性后,进行水蒸气蒸馏,使馏出的氨由稀硫酸吸收。然后加入苯酚、次氯酸钠和硝普酸钠而使蓝色络合物生成,使用光度计,测量其吸光度,求得总 N 化合物量。

[0119] (c) 从根据上述的方法求得的钢中的总 N 量中减去总 N 化合物量,求得钢中的固溶 N 量。

[0120] [珠光体面积率的测量方法]

[0121] 珠光体面积率,是在热轧线材的横截面(与轧制方向垂直的截面。以下同)的表层、D/4、D/2 (D:线材的直径)的各位置,进行埋入研磨,实施了用苦味酸的化学腐蚀后,利用光学显微镜,在彼此构成 90 度的 4 处(在 D/2 部,以分别不重叠的方式接近截面的中心点,彼此构成 90 度的 4 处。以下同),分别拍摄 1 个视野(倍率:400 倍,200 $\mu\text{m} \times 200 \mu\text{m}$ 的区域)。打印输出光学显微镜照片的图像,重叠上透明薄膜之后,用黑色马克笔涂满白色的部分(铁素体和贝氏体)之后,用扫描仪将透明薄膜读入计算机,使用图像分析软件(Media Cybernetics 社制“Image Pro Plus”(商品名)),对图像进行二值化后,求得上述未涂满的部分作为珠光体面积率,计算合计 12 个视野的平均值。还有,表层存在脱碳层时,JIS G0058 之 4 所规定的全脱碳部从测量部位中除外。

[0122] [BN 系化合物的形态的测量]

[0123] 在热轧线材的横截面的 D/4 (D:线材直径)的位置进行埋入研磨,实施使用了硝酸乙醇腐蚀液的学腐蚀后,在彼此构成 90 度的 4 处,分别以 1 个视野、倍率:2000 倍进行 FE — SEM 观察。还有,使 1 个视野为 2000 μm^2 。将观察的图像的铁素体和贝氏体部分全部涂黑后,使用图像分析软件(Media Cybernetics 社制“Image Pro Plus”(商品名))对图像进行二值化,由此判定当量圆直径为 100nm 以上、低于 1000nm 的 BN 系化合物,和当量圆直径为 1000nm 以上 BN 系化合物,以 EDX (Energy Dispersive X-ray Spectrometer) 和 WDS (Wavelength Dispersive X-ray Spectrometer) 确认各个析出物的组成。然后,在各视野中分别测量上述尺寸的 BN 系化合物的个数后,计算 4 个视野的平均个数。

[0124] 还有,图 1 是将上述铁素体等全部涂黑前的观察照片的一例。

[0125] 接下为,使用所得到的热轧线材,以下述方式评价拉丝加工性。

[0126] [拉丝加工性的评价]

[0127] 在本实施例中,为了对于拉丝加工性进行严格地评价,在使拉丝条件为比通常所进行的拉丝条件(例如,后述的疲劳试验用试样制作工序中的拉丝条件: $\epsilon = 1.81$)更严苛的条件($\epsilon = 2.17$)下进行。详情如下。

[0128] 即,对于所得到的热轧线材进行酸洗,实施磷酸盐处理后,进行干式拉丝(配模如下表 3),从直径 8.0mm 进行拉丝直至直径 2.70mm ($\epsilon = 2.17$) ($\phi 2.70\text{mm}$ 的拉丝速度为 200m/min),得到钢线。然后使用得到的钢线进行扭转试验。扭转试验使用长 350mm 的钢线(试验片),使用前川试验机制作所制的扭曲试验机,以标点间距离:200mm、扭曲速度:50rpm 的条件使之扭转直至断裂。而后,在断裂后的破面没有产生纵裂纹的评价为拉丝加工性良好(O),在断裂后的断面产生纵裂纹的情况评价为拉丝加工性差(X)。另外,在拉丝中发生断线的情况也评价为拉丝加工性差(X)。其结果显示在表 5 中。

[0129] 还有,在后述的表 5 的实施例 No. 11 中,此外,以通常进行的拉丝条件($\epsilon = 1.81$,后述的疲劳试验用试样制作工序中的拉丝条件,下述表 4)进行拉丝,对于所得到的钢线与前述同样地进行扭转试验并进行评价。

[0130] 另外,使拉丝速度变化,制成 ΔHV 不同的钢线,对于各钢线,以下述方式评价弹簧加工性。还有,相对于 OT 线,硬拉丝的一方一般 ΔHV 大,弹簧加工性差,因此 ΔHV 的测量和弹簧加工性的评价使用硬拉丝进行评价。其结果显示在表 5 中。

[0131] [表 3]

[0132]

模	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
线形(mm)	8.00	7.10	6.35	5.73	5.20	4.75	4.35	3.99	3.67	3.38	3.12	2.89	2.70
减面率(%)		21.2	20.0	18.6	17.6	16.6	16.1	15.9	15.4	15.2	14.8	14.2	12.7
真应变	0.00	0.24	0.49	0.67	0.86	1.04	1.22	1.39	1.56	1.72	1.88	2.04	2.17

[0133] [ΔHV 的测量]

[0134] 对于热轧线材进行 SV (削皮, 由此直径 8.0mm → 直径 7.4mm), 进行干式拉丝 (配模如下述表 4), 得到直径 3.0mm 的钢线 (试样) (直径 3.0mm 的拉丝速度如表 5 所示)。使用此试样, 使试验载荷为 300gf, 在钢线横截面的直径线上, 从距表层 0.1mm 深的位置, 以 0.1mm 间隔, 至距相反侧的表层 0.1mm 深的位置, 测量 Hv。然后, 设 D/16 部至 D/4 部的最高 Hv 为 Hvs, D/4 部至 D/2 部的最低 Hv 为 Hvh, 求得 ΔHV (= Hvs - Hvh)。

[0135] [表 4]

[0136]

模	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
线形(mm)	7.40	6.51	5.78	5.18	4.67	4.25	3.88	3.55	3.24	3.00
减面率(%)		22.6	21.2	19.7	18.7	17.2	16.7	16.3	16.7	14.3
真应变	0.00	0.26	0.49	0.71	0.92	1.11	1.29	1.47	1.65	1.81

[0137] [弹簧加工性的评价]

[0138] 使用上述 ΔHV 的测量中得到的钢线, 以卷材平均直径 25mm、总匝数 6、有效匝数 4、自由长度 80mm 的条件, 通过卷取机进行冷卷取。对于各钢线各卷取 100 条, 用投影机测量自由长度。然后, 以 80mm±0.5mm 为合格品, 其以外为废品。废品在 5 条以下的钢线评价为弹簧加工性良好 (○), 废品超过 5 条的钢线评价为弹簧加工性差 (×)。

[0139] 作为疲劳特性, 以下述方式评价 (i) OT 线的疲劳特性, 和使用 (ii) 硬拉丝得到的硬拉簧的疲劳特性。其结果显示在表 5 中。

[0140] [(i) OT 线的疲劳特性 (中村式旋转弯曲疲劳试验)]

[0141] 使用热轧线材, 进行 SV (削皮)、干式拉丝 (配模如上述表 4), 得到直径 3.0mm 的钢线 (直径 3.0mm 的拉丝速度为 200m/min) 之后, 对于此钢线, 依次进行油回火处理 (加热 920℃, 回火温度如表 5 所示)、退火、喷丸硬化、低温去应变退火, 制作试验试样。

[0142] 然后使用上述试样, 实施中村式旋转弯曲疲劳试验。使试验应力为, 从 850 ~ 1150MPa 以节距 25MPa 进行变化的 16 个条件, 在各应力下各有 5 条供试, 5 条全部达到 2×10^7 次的最高的试验应力为该试样的疲劳强度 (σ_w)。另外, 使用拉伸试验机 (岛津制作所制“オートグラフ” (商品名)) (歪变速度 10mm/min) 求得上述钢线的抗拉强度 (σ_B)。而后求得 σ_w / σ_B , 该 σ_w / σ_B 在 0.49 以上的情况评价为 OT 线的疲劳特性优异, 使用其得到的弹簧也评价为疲劳特性优异。

[0143] [(ii) 硬拉簧的疲劳特性]

[0144] 对用于弹簧加工性的评价的弹簧 (即, 使用没有实施热处理的硬拉丝而形成的硬拉簧, 各钢种的合格品) 进行去应变退火 (400℃ × 20 分)、座面研磨、二段喷丸硬化、低温退火 (220℃ × 20 分) 和冷固化。使用所得到的弹簧, 在 650±500MPa 的负荷应力下进行疲劳试验, 测量疲劳寿命 (断裂寿命) (使用油压伺服式弹簧疲劳试验机)。在各钢种中对于 5 个弹簧进行这一测量。在表 5 中, 显示 5 个弹簧之中疲劳寿命最短的值。然后, 最短疲劳寿命为 10×10^6 次以上的, 评价为弹簧的疲劳特性 (和用于该弹簧的硬拉丝的疲劳特性) 优异。另外, 也测量对于直径 3.0mm 的钢线以 400℃ × 20 分进行了烘烤后的抗拉强度。

[0145] [表 5]

[0146]

实施例 No.	拉丝加 工性	OT线疲劳特性评价				弹簧加工性的评价				硬拉弹簧(硬拉丝)的疲劳特性评价	
		OT线回火 温度 [℃]	OT线抗拉 强度 [MPa]	疲劳强度 [MPa] ※2000万次	σ_w/σ_B	拉丝速 度 [m/min]	ΔHV [300gf]	弹簧加 工性	次品 余数	抗拉强度 [MPa]	硬拉疲劳寿 命 [$\times 10^6$ 次]
1	○	400	2189	1150	0.53	150	58	○	1	1891	13.1
2	○	400	2174	1150	0.53	160	41	○	0	1881	12.2
3	○	410	2190	1075	0.51	250	81	○	1	2044	13.2
4	○	410	2121	1100	0.52	150	82	○	2	2024	14.8
5	○	420	1978	1025	0.52	300	85	○	2	1951	14.8
6	○	420	1965	1025	0.52	200	35	○	0	1918	12.1
7	○	400	2168	1150	0.53	250	51	○	1	2031	12.8
8	○	400	2168	1125	0.52	150	66	○	3	2010	12.8
9	○	400	2088	1075	0.51	150	77	○	4	1998	12.9
10	○	410	2033	1050	0.52	350	112	×	12	2127	13.8
11	×	400	2033	1075	0.53	150	108	×	15	1910	13.7
12	○	410	1982	1050	0.53	200	46	○	2	1788	11.5
13	○	400	2043	1075	0.53	200	38	○	1	1831	12.3
14	×	410	2177	1000	0.46	250	91	○	4	1857	7.5
15	×	400	2168	1000	0.46	200	82	○	4	1998	8.1
16	○	400	2155	1050	0.49	250	88	○	3	1891	11.2
17	○	410	2080	1025	0.49	200	70	○	3	1888	10.8
18	○	400	2185	1075	0.49	150	68	○	3	2210	13.4
19	○	420	2034	1000	0.49	300	81	○	3	2081	12.8
20	○	420	2170	1000	0.46	150	87	○	4	2021	6.9
21	×	390	1938	875	0.45	200	88	○	4	1799	7.2
22	×	410	2138	875	0.46	250	79	○	3	2092	8.2
23	×	400	1921	875	0.46	200	61	○	2	1957	7.4
24	×	410	2055	950	0.46	200	73	○	3	1996	7.6
25	×	400	1981	900	0.45	150	81	○	3	1927	3.9
26	×	400	2099	875	0.46	150	133	×	31	2151	7.3
27	×	400	1922	875	0.46	200	61	○	2	1905	6.7
28	×	410	2121	950	0.45	200	151	×	36	2311	7.8
29	○	410	2031	925	0.46	300	88	○	4	1921	7.9
30	×	400	1952	900	0.46	200	68	○	3	1922	8.0
31	×	400	2094	950	0.45	250	148	×	41	2181	6.4
32	×	420	2014	925	0.46	150	143	×	33	1941	5.8
33	○	400	2041	950	0.47	150	72	○	3	1913	7.9

[0147] 由表 1、2、5 能够进行如下考察。即,实施例 No. (以下,仅表示为“No.”) 1~9、12、13、16~19,因为满足本发明中规定的要件,所以钢线材(热轧线材)的拉丝加工性优异,并且钢线的疲劳特性(钢线材(热轧线材)的拉丝后的疲劳特性)和弹簧加工性优异。还有,由 No. 16~19 的结果可知,为了进一步提高拉丝后的疲劳特性,可以在推荐的条件下进行制造工序中的开坯轧制前的加热,使 BN 系化合物的形态处于本发明规定的优选范围内。

[0148] 还有, No. 11 是以疲劳试验用试样的制作工序中的拉丝条件($\varepsilon = 1.81$)进行拉丝时,拉丝加工性为○,但以与之相比应变量更大的拉丝条件($\varepsilon = 2.17$)进行拉丝时,拉丝加工性为×。由这一结果可知,为了进一步提高拉丝加工性,可以使固溶 N 量为 0.0020% 以下。

[0149] 相对于此, No. 10、14、15、20~33 因为不满足本发明中规定的至少任意一个要件,所以发生问题。详情如下。

[0150] No. 10 弹簧用钢线材满足本发明的规定,拉丝加工性和拉丝后的疲劳特性优异,但因为使用该线材进行拉丝加工时的拉丝速度过快,所以得到的钢线的 ΔHV 变大,弹簧加工性差。

[0151] No. 14、15 使用满足本发明规定的成分组成,但因为 No. 14 制造工序中的轧制卷取温度过高,另外在为 No. 15 制造工序中的卷取后的冷却速度慢,所以均不能充分确保珠光体组织,拉丝加工性和疲劳特性差。

[0152] No. 20 因为 C 量过剩,所以为疲劳特性差的结果。

[0153] No. 21 因为 C 量不足, 另外 No. 22 因为 Si 量过剩, 所以均不能充分确保珠光体组织, 拉丝加工性和疲劳特性差。

[0154] No. 23 因为 Mn 量过剩, 所以拉丝加工性和疲劳特性差。

[0155] No. 24 因为 P 量过剩, No. 25 因为 S 量过剩, 所以拉丝加工性和疲劳特性均差。

[0156] No. 26 因为 Cr 量过剩, 所以拉丝加工性和疲劳特性差。另外 ΔHV 变大, 弹簧加工性也差。

[0157] No. 27 因为 Ni 量过剩, 所以拉丝加工性和疲劳特性差。

[0158] No. 28 因为 V 量过剩, 所以拉丝加工性和疲劳特性差。另外 ΔHV 变大, 弹簧加工性也差。

[0159] No. 29 因为 Al 量过剩, No. 33 因为 O 量过剩, 所以疲劳特性差。

[0160] No. 31 其 B 量不足, 固溶 N 量比较多, 不能充分确保珠光体组织, 拉丝加工性、疲劳特性、弹簧加工性均差。

[0161] No. 32 因为 N 量过剩, 拉丝加工性、疲劳特性、弹簧加工性均差。

[0162] 图 2 是使用上述实施例的结果, 整理了 ΔHV 与弹簧加工时的废品率(每 100 条的废品件数)的关系的图。由此图 2 可知, 通过使 ΔHV 在 100 以下, 废品率得到充分抑制。

[0163] 图 3 是使用上述实施例的结果, 就 OT 线整理了抗拉强度与疲劳强度的关系的图。由该图 3 可知, 满足本发明的要件的钢线(图 3 中的▲和◆), 与比较例(■)相比, 疲劳限度比高。特别是通过控制 BN 系化合物的形态(图 3 中的◆), 可知上述疲劳限度比进一步提高。

[0164] 图 4 是使用上述实施例的结果, 整理了硬拉丝的抗拉强度与硬拉簧的疲劳寿命的关系的图。由该图 4 可知, 满足本发明的要件的钢线(图 4 中的▲和◆), 与比较例(■)相比, 疲劳限度比高。在该图 4 中还可知, 通过控制 BN 系化合物的形态(图 4 中的◆), 上述疲劳限度比进一步提高。

[0165] 根据以上的结果可知, 使用本发明的弹簧用钢线材, 作为弹簧用钢线, 不仅在得到 OT 线时, 即使作为弹簧用钢线得到硬拉丝时, 使用弹簧用钢线所得到的弹簧也显示出优异的疲劳特性。

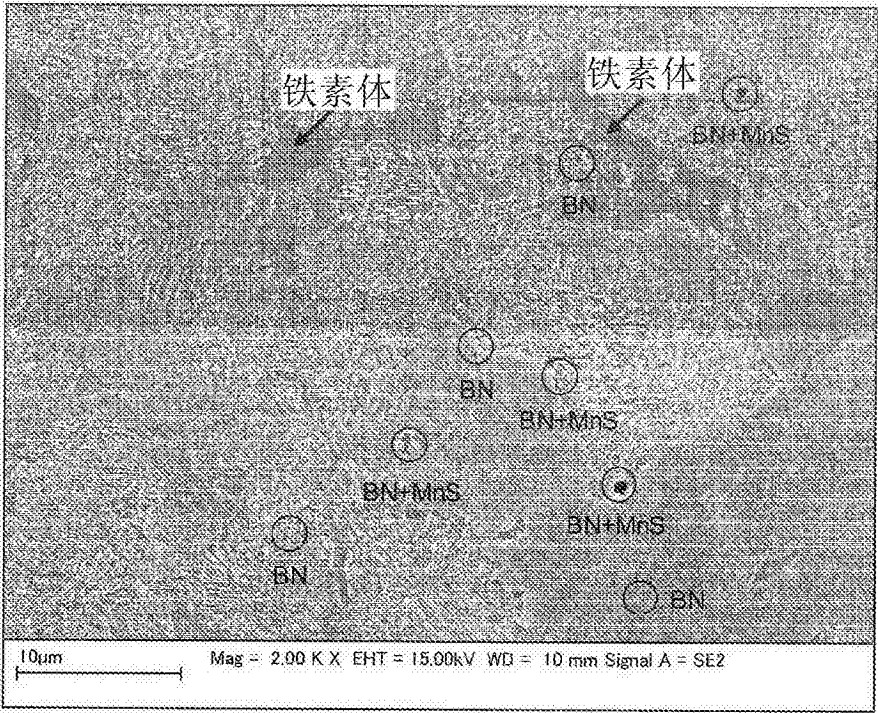


图 1

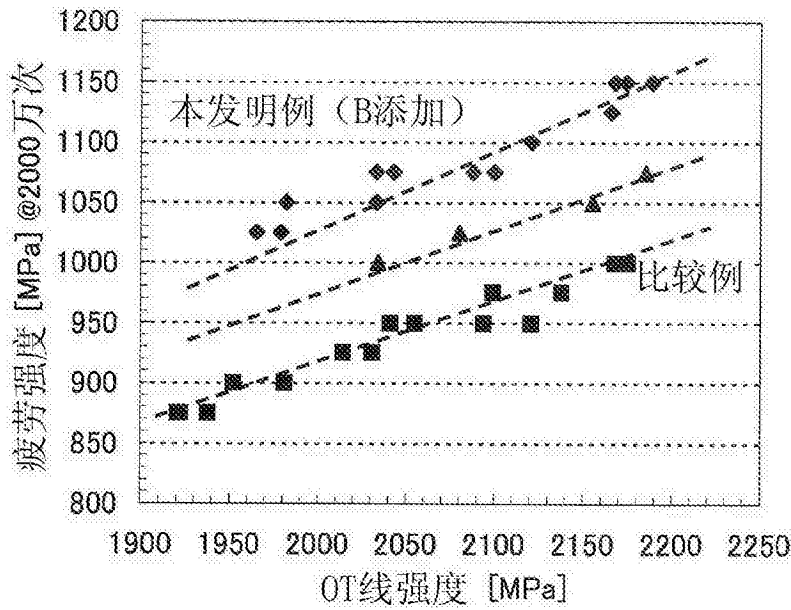


图 2

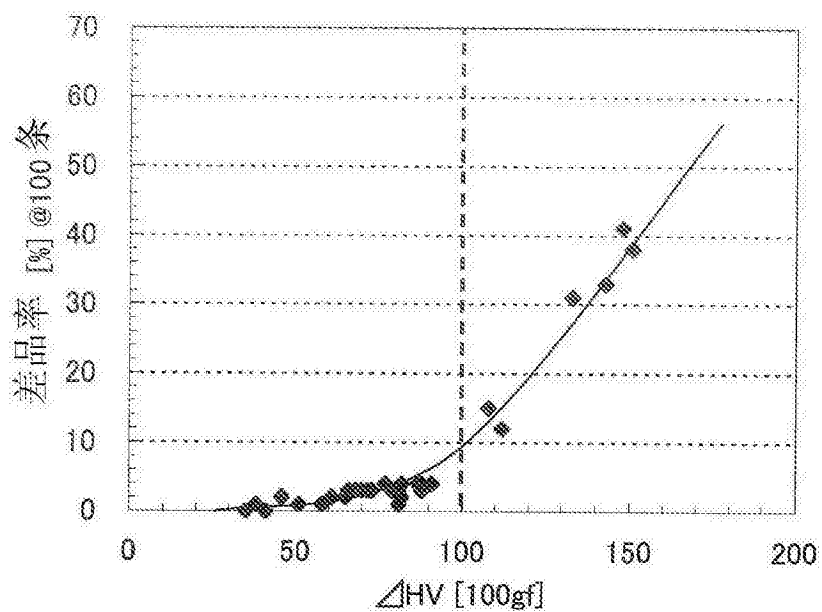


图 3

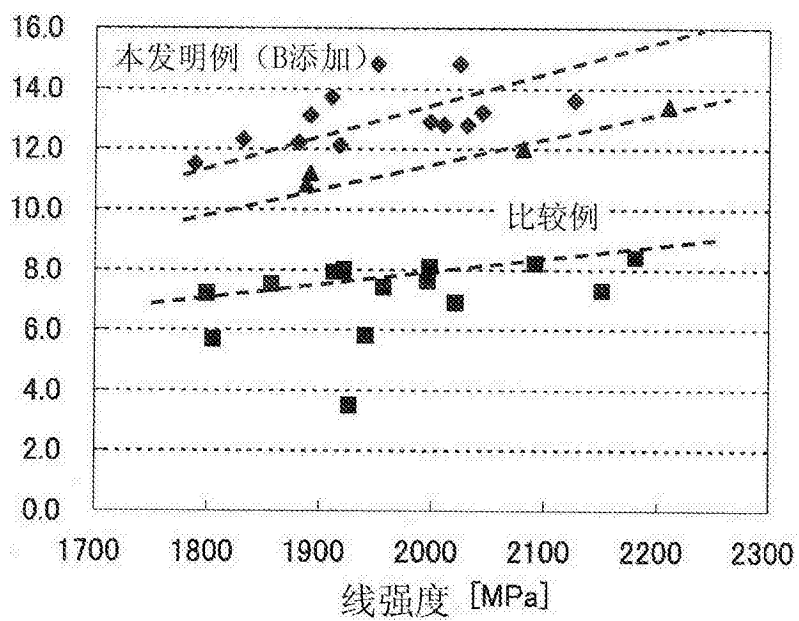


图 4