



(12)发明专利



(10)授权公告号 CN 104603310 B

(45)授权公告日 2017.09.08

(21)申请号 201380045017.2

(22)申请日 2013.08.23

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104603310 A

(43)申请公布日 2015.05.06

(30)优先权数据

2012-191652 2012.08.31 JP

2012-192529 2012.08.31 JP

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2015.02.27

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2013/004997 2013.08.23

(87)PCT国际申请的公布数据

W02014/034070 JA 2014.03.06

(73)专利权人 杰富意钢铁株式会社

地址 日本东京都

(72)发明人 本庄稔 上井清史 远藤茂

(74)专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

代理人 苗堃 金世煜

(51)Int.Cl.

G22C 38/00(2006.01)

G22C 38/34(2006.01)

G22C 38/54(2006.01)

E04C 5/18(2006.01)

G21D 3/04(2006.01)

G21D 9/00(2006.01)

(56)对比文件

JP 特开平7-173577 A, 1995.07.11, 权利要求1-8.

JP 特开2004-76086 A, 2004.03.11, 权利要求1-7.

JP 特开2011-246811 A, 2011.12.08, 说明书第18-20, 177段.

审查员 牛培利

权利要求书1页 说明书15页

(54)发明名称

钢筋用钢和钢筋

(57)摘要

本发明提供一种钢筋用钢,其在拉丝性优异的情况下可制造高强度且弯曲加工性优异的钢筋。在含有C:0.37质量%~0.50质量%、Si:1.75质量%~2.30质量%、Mn:0.2质量%~1.0质量%、Cr:0.01质量%~1.2质量%、Mo:0.05质量%~1.0质量%、P:0.025质量%以下、S:0.025质量%以下和0.0015质量%以下的成分组成中,C、Si和Cr满足规定的关系而添加。

1. 一种钢筋用钢,具有如下成分组成:

所述钢筋用钢含有如下成分:

C:0.37质量%~0.50质量%,

Si:1.75质量%~2.30质量%,

Mn:0.2质量%~1.0质量%,

Cr:0.01质量%~1.2质量%,

Mo:0.05质量%~1.0质量%,

P:0.025质量%以下,

S:0.025质量%以下,以及

O:0.0015质量%以下,

按照下述(1)的A值为770~850,按照下述(2)式的B值为0.40以上,

剩余部分为不可避免的杂质和Fe,

从表面到至少20 μm 的厚度区域的硬度为HV250以下,从表面到钢材的直径的1/4的深度区域的硬度为HRC40以下,

$$A = \alpha + \beta + \gamma \cdots (1)$$

这里, $\alpha = -334 \times [\text{C}]^2 + 806 \times [\text{C}] + 291$

$$\beta = 24 \times [\text{Si}]^2 + 67 \times [\text{Si}]$$

$$\gamma = -4 \times [\text{Cr}]^2 + 23 \times [\text{Cr}] - 5$$

$$B = [\text{Si}] / (10 \times [\text{C}]) \cdots (2)$$

其中,上述[]表示该括号内成分的含量,该含量的单位为质量%。

2. 如权利要求1所述的钢筋用钢,其中,所述成分组成进一步含有选自以下(A)~(C)中的至少一组:

(A) 选自Al:0.50质量%以下、Cu:1.0质量%以下、以及Ni:2.0质量%以下中的1种或2种以上,

(B) 选自W:2.0质量%以下、Nb:0.1质量%以下、Ti:0.2质量%以下、以及V:0.5质量%以下中的1种或2种以上;

(C) B:0.005质量%以下。

3. 一种钢筋,具有权利要求1或2所述的成分组成,且从表面到10 μm ~150 μm 的厚度区域的硬度为HV300以下,该区域的钢组织为铁素体单相、或铁素体与贝氏体的混合组织,该区域的直径方向内侧的钢组织为回火马氏体,拉伸强度为1600MPa以上。

钢筋用钢和钢筋

技术领域

[0001] 本发明涉及作为例如被用于钢筋混凝土结构物的剪切加强筋而使用的高强度钢筋,以及被用作其原材料的钢筋用钢。

背景技术

[0002] 例如,大楼、公共住宅等钢筋混凝土结构物中,为了防止其倒塌,使用剪切加强筋作为加强材料。使用了剪切加强筋的钢筋混凝土结构物中,钢筋混凝土结构物发生剪切变形时,剪切加强筋伸长而塑性变形,从而,钢筋混凝土结构物的变形能量被剪切加强筋吸收而防止钢筋混凝土结构物的倒塌。

[0003] 以往,剪切加强筋一般使用拉伸强度为1200MPa左右的剪切加强筋。但是,近年来,有对钢筋混凝土结构物的截面纤细化、轻量化和高层化的需要,因此,超高强度混凝土的开发急速地发展。如果混凝土的强度上升,则为了取得平衡,也需要剪切加强筋的高强度化。

[0004] 然而,剪切加强筋是以缠绕捆绑于使得例如混凝土柱或梁那样的支撑建筑物的结构的轴不弯曲的主筋的形式作为加强材料而发挥功能的剪切加强筋,对应于混凝土柱的截面形状,截面被成型加工为圆形、方形等的线圈状而使用。这些截面形状是通过弯曲加工而给予的,因此与其成型相应而需要弯曲加工性。因此,如果剪切加强筋的伸长特性优异,则弯曲加工变得容易,从加工性的方面出发也为显著的优点。但是,如上所述,若对应于混凝土的高强度化而使得剪切加强筋也高强度化,则会担心弯曲加工时的折损等新的问题。

[0005] 然而,为了使得剪切加强筋高强度化,需要增加以C、Si、Mn为代表的合金元素的添加量。然而,剪切加强筋通常是对钢筋用钢进行拉拔加工后进行热处理而制造的。因此,若增加合金元素的添加量,则钢筋用钢的硬度上升,钢筋用钢的拉拔时线材断线,制造性下降。因此,为了实现高强度化,需要避免钢筋用钢的拉丝性下降。

[0006] 因此,为了克服上述问题,提出了几个提案。

[0007] 首先,专利文献1中公开有通过将C、Si、Mn控制为适当范围且控制冷却条件,确保表面的铁素体脱碳为0.12mm以上的热处理方法。然而,若铁素体脱碳为0.12mm以上,则制造高强度钢筋时的强度确保变得困难,因此需要使得铁素体脱碳层以外成为高强度化,需要添加合金。因此,钢筋用的原材料的硬度上升,导致拉丝性的下降。此外,制造高强度钢筋后,钢筋的韧性下降,弯曲加工性下降。此外,为了使得铁素体脱碳层为0.12mm以上,虽然也取决于添加的Si量,但需要将830~900℃的温度范围至少保持大于30秒钟的时间,优选在600~700℃的温度范围保持1小时以上,因此操作时的效率下降而花费多余的操作成本。

[0008] 专利文献2中公开有通过将C、Si、Mn、Ni、Al量最佳化而将钢材表层的铁素体脱碳层控制为0.12mm以上,且将内部控制为铁素体·珠光体组织或球状化渗碳体组织,可得到延迟破坏特性优异的钢线材。然而,如上所述,若铁素体脱碳为0.12mm以上,则制造高强度钢筋时的强度确保变得困难,因此需要使铁素体脱碳层以外成为高强度化,需要添加合金。因此,钢筋用的原材料的硬度上升而拉丝性下降,或高强度钢筋制造后钢筋的韧性下降而弯曲加工性下降。此外,线材压延后,需要在线或离线施行热处理,再加热等多余的操作成

本增大。

[0009] 这里,专利文献3中公开有控制了成分组成以及铁素体面积率与铁素体和珠光体组织的总计面积率的高强度钢筋。然而,若生成珠光体组织,则韧性下降,因此弯曲加工性有可能下降。

[0010] 此外,专利文献4中公开有通过控制成分组成以及压延方法来制造屈服点伸长大的高强度钢筋用钢的方法。然而,拉伸强度为 $100\text{kg}/\text{mm}^2$ 以下,高强度化时,屈服点伸长下降,因此弯曲加工性有可能下降。

[0011] 进而,专利文献5中公开有通过控制成分组成以及压延方法来制造屈服点伸长大的高强度钢筋用钢的方法。如上所述,若高强度化,则屈服点伸长下降,因此弯曲加工性有可能下降。

[0012] 专利文献

[0013] 专利文献1:日本专利3156166号公报

[0014] 专利文献2:日本特开平6-306540号公报

[0015] 专利文献3:日本特开2012-67363号公报

[0016] 专利文献4:日本特开平4-173922号公报

[0017] 专利文献5:日本特开平9-324215号公报

发明内容

[0018] 如上所述,随着超高强度混凝土的开发,应用于由这样的混凝土构成的钢筋混凝土结构物的剪切加强筋的高强度化成为课题。然而,为了剪切加强筋的高强度化,需要添加合金元素。若添加合金元素,则钢筋用钢的硬度上升,因此钢筋制造时的拉拔加工时线材断线而拉丝性下降成为问题。此外,当然也需要防止与高强度化伴随的弯曲加工性的下降。

[0019] 本发明是为了解决这种课题而作出的,其目的在于提供一种在拉丝性优异的情况下可制造高强度且弯曲加工性优异的钢筋的钢筋用钢。

[0020] 本发明的发明人等为了解决上述课题,制作使C、Si、Mn、Cr和Mo的添加量发生各种各样的变化的高强度钢筋用钢,深入调查了其拉丝性和钢筋用钢的硬度(拉丝前的原材料的硬度)。然后,针对对该高强度钢筋用钢进行拉拔加工且进行热处理而制作的高强度钢筋,深入调查了其拉伸强度和弯曲加工性。

[0021] 其结果发现,在优化C、Si、Mn、Cr和Mo的添加量的基础上,对C、Si和Cr在规定的关系的条件下限制添加量,对于提供能够成为确保良好的拉丝性并在为高强度的同时具有良好的弯曲加工性的钢筋或其原材料的钢筋用钢而言是必不可少的,从而完成了本发明。

[0022] 即,本发明的主旨构成如下所述。

[0023] 1.一种钢筋用钢,具有如下成分组成:

[0024] 所述钢筋用钢含有如下成分:

[0025] C:0.37质量%~0.50质量%,

[0026] Si:1.75质量%~2.30质量%,

[0027] Mn:0.2质量%~1.0质量%,

[0028] Cr:0.01质量%~1.2质量%,

[0029] Mo:0.05质量%~1.0质量%,

- [0030] P:0.025质量%以下,
- [0031] S:0.025质量%以下,以及
- [0032] O:0.0015质量%以下,
- [0033] 按照下述(1)的A值为770~850、按照下述(2)式的B值为0.40以上,
- [0034] 剩余部分为不可避免的杂质和Fe。
- [0035] $A = \alpha + \beta + \gamma \cdots (1)$
- [0036] 这里, $\alpha = -334 \times [C]^2 + 806 \times [C] + 291$
- [0037] $\beta = 24 \times [Si]^2 + 67 \times [Si]$
- [0038] $\gamma = -4 \times [Cr]^2 + 23 \times [Cr] - 5$
- [0039] $B = [Si] / (10 \times [C]) \cdots (2)$
- [0040] 其中,上述[]表示该括号内成分的含量(质量%)
- [0041] 2.如上述1所述的钢筋用钢,其中,上述成分组成进一步含有选自如下成分中的1种或2种以上,
- [0042] Al:0.50质量%以下,
- [0043] Cu:1.0质量%以下,以及
- [0044] Ni:2.0质量%以下。
- [0045] 3.如上述1或2所述的钢筋用钢,其中,上述成分组成进一步含有选自如下成分中的1种或2种以上,
- [0046] W:2.0质量%以下,
- [0047] Nb:0.1质量%以下,
- [0048] Ti:0.2质量%以下,以及
- [0049] V:0.5质量%以下。
- [0050] 4.如上述1~3中任一项所述的钢筋用钢,其特征在于,上述成分组成进一步含有B:0.005质量%以下。
- [0051] 5.如上述1~4中任一项所述的钢筋用钢,其中,从表面到至少20 μ m的厚度区域的硬度为HV250以下,从表面到钢材的直径的1/4的深度区域的硬度为HRC40以下。
- [0052] 6.一种钢筋,具有上述1~4中任一项所述的成分组成,且从表面到至少10 μ m的厚度区域的硬度为HV300以下。
- [0053] 根据本发明,可以稳定地制造具有优异的拉丝性且可制造高强度的钢筋的钢筋用钢。使用该钢筋用钢的钢筋或由钢筋用钢经过拉拔加工和热处理而制造的钢筋的拉伸强度为1600MPa以上,且具有优异的弯曲加工性,因此很大地有助于实现钢筋混凝土结构物的截面纤细化、轻量化和高层化,带来产业上有益的效果。

具体实施方式

- [0054] 接着,对本发明的钢筋的成分组成及其制造条件进行说明。
- [0055] C:0.37质量%~0.50质量%
- [0056] C是为了确保必要的强度而必需的元素,小于0.37质量%时,难以确保规定的强度,此外,为了确保规定强度,需要大量添加合金元素,导致合金成本的上升,因此设为0.37质量%以上。另一方面,大于0.50质量%的添加使强度大幅度地上升,进而导致钢筋的必要

以上的强度上升,导致弯曲加工性的下降,因此设为0.50质量%以下。更优选为0.37~0.45质量%的范围。

[0057] Si:1.75质量%~2.30质量%

[0058] Si是作为脱氧剂且通过使固溶强化、抗回火软化提高而提高钢的强度的元素,此外,为铁素体脱碳促进元素,因此,如下所述,在确保成为HV250以下的表层区域的方面也有用。因此,本发明中,以1.75质量%以上的量进行添加。但是,添加量大于2.30质量%时,延展性下降,铸造时原材料产生裂纹,因此原材料的加工变得必要,导致制造成本的增加。因此,Si的上限设为2.30质量%。更优选为1.75~2.25质量%的范围。

[0059] Mn:0.2质量%~1.0质量%

[0060] 为了提高钢的淬透性,以0.2质量%以上的量添加Mn。但是,大于1.0质量%的添加反而使钢的强度下降。因此,Mn的上限设为1.0质量%。更优选为0.25~1.0质量%的范围。

[0061] Cr:0.01质量%~1.20质量%

[0062] Cr是提高钢的淬透性且增加强度的元素。因此,添加0.01质量%以上。另一方面,大于1.20质量%的添加反而使钢高强度化,因此导致拉拔加工时的拉丝性、作为高强度钢筋的弯曲加工性的下降。由于以上原因,Cr量设为0.01质量%~1.20质量%。更优选为0.01~1.00质量%的范围。

[0063] Mo:0.05质量%~1.0质量%

[0064] Mo是提高钢的淬透性且增加强度的元素。因此,添加0.05质量%以上。另一方面,大于1.0质量%的添加反而使钢高强度化,因此导致拉拔加工时的拉丝性、作为高强度钢筋的弯曲加工性的下降。由于以上原因,Mo量设为0.05质量%~1.0质量%。更优选为0.05~0.5质量%的范围。

[0065] P:0.025质量%以下

[0066] S:0.025质量%以下

[0067] P和S在晶界偏析而导致钢的母材韧性的下降,因此分别限制为0.025质量%以下。尤其是,S以MnS的形式存在于钢中,因此有可能在弯曲加工时MnS成为起点而易于产生龟裂,因此需要极力抑制,如果可能的话,优选设为0.015质量%以下。另外,使P和S分别小于0.0002质量%的操作需要高成本,因此在工业上优选P和S分别含有0.0002质量%以上。

[0068] O:0.0015质量%以下

[0069] O与Si或Al键合,形成硬质的氧化物系非金属夹杂物,有可能在弯曲加工时成为起点而易于产生龟裂,因此尽量越低越好,本发明中,容许至0.0015质量%为止。另外,使O小于0.0005质量%的操作需要高成本,因此在工业上优选O含有0.0005质量%以上。

[0070] A值(上述(1)式):770~850

[0071] A值是用于得到良好的强度、拉丝性和弯曲加工性的指数。若该A值小于770,则弯曲加工性良好,但钢筋的强度确保变得困难。另一方面,若A值大于850,则可以得到良好的强度,但钢筋用钢的硬度上升而在拉拔加工时导致断线,反而拉丝性下降。进而,作为钢筋的弯曲加工性下降,因此,本发明中,将A值设为770~850。更优选为770~849的范围。

[0072] B值(上述(2)式):0.40以上

[0073] B值是用于得到良好的拉丝性的指数。通过将该B值设为0.40以上,可以在钢筋用钢中确保良好的拉丝性,在钢筋中确保良好的弯曲加工性。另外,通过将B值设为0.40以上

而使拉丝性、弯曲加工性为良好的理由是因为,在钢筋用钢的表层区域或钢筋的表层区域形成脱碳层,该表层区域的硬度下降而加工性变得良好。具体而言,如后述实验结果中详细说明的那样,通过将B值设为0.40以上,钢筋用钢中从表面到至少20 μm 以上的厚度区域的硬度为HV250以下,可以使得拉丝性良好。此外,通过将B值设为0.40以上,可以使得钢筋中从表面到至少10 μm 以上的厚度的区域的硬度为HV300以下,可以使得弯曲加工性良好。

[0074] 本发明的发明人等用各种实验对钢筋用钢的成分组成,尤其是对上述的A值和B值对拉丝性、弯曲加工性给予的影响进行评价。以下详述其代表性的2个实验结果。

[0075] [实验1]

[0076] 对于上述的A值和B值,本发明的发明人等制作了使成分组成与A值和B值变化的钢筋用钢,调查了其硬度。进而,对该钢筋用钢进行拉拔加工、淬火-回火处理,从而制造钢筋,调查拉拔加工时的拉丝性,同时对得到的钢筋调查其拉伸强度、表层硬度和弯曲加工性、以及组织。应予说明,拉伸强度、表层硬度和弯曲加工性在下述试验方法中进行测定。分别在表1中示出成分组成,在表2中示出钢筋用钢中的HV250以下的范围、硬度和作为钢筋的拉伸强度、弯曲加工性的评价结果。

[0077] 制造条件如下所述。

[0078] 首先,将以真空熔解而熔炼的钢块从室温以表2所示的加热速度加热至表2所示的加热温度后,进行热轧。热轧以后的制造条件相同。即,在850 $^{\circ}\text{C}$ 结束热轧后以1 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 冷却,制成直径13.5mm的线材,将其作为钢筋用钢。进行与得到的线材的长边方向垂直的截面的硬度测定。硬度测定通过后述试验方法来实施试验。

[0079] 接着,将该钢筋用钢作为原材料,制造钢筋。钢筋的制造条件相同。即,制造条件如下所述。

[0080] 将13.5mm的线材拉拔加工至12.6mm,其后,加热至1000 $^{\circ}\text{C}$ 后以60 $^{\circ}\text{C}$ 的油冷却,加热至350 $^{\circ}\text{C}$ 后进行水冷,进行淬火-回火处理。拉丝性是以该拉拔加工时素线是否断线来进行判断的,如果没有断线,则判断具有良好的拉丝性。

[0081] 将淬火-回火后的线材加工为ASTM E8中记载的平行部1/4in.的拉伸试验片。应予说明,弯曲加工性是切断为500mm长度后通过后述的试验方法实施试验的。

[0082] 表2中示出钢筋用钢的HV250以下的范围、线材径D的从表面起D1/4的深度区域(1/4D部)的硬度、拉拔加工时的拉丝性、作为钢筋的拉伸强度、弯曲加工性。如该表所示,可知A值和B值均控制为本发明的范围内时,上述特性良好。由以上情况可判明,通过将A值调整为770~850的范围并将B值调整为0.40以上的范围,为高强度且拉丝性提高。

[0083] [表1]

[0084] [表1]

[0085] [化学成分(质量%)]

[0086]

钢No.	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	0	A值	B值	备注
A-1	0.33	1.50	1.30	0.009	0.005	0.70	0.35	0.0009	684	0.45	基准钢
A-2	0.44	1.98	0.20	0.010	0.005	0.25	0.05	0.0010	808	0.45	发明钢
A-3	0.42	2.00	0.90	0.010	0.004	0.03	0.21	0.0007	796	0.48	发明钢
A-4	0.45	2.21	0.25	0.008	0.004	0.12	0.11	0.0007	849	0.49	发明钢
A-5	0.37	1.88	0.71	0.008	0.005	1.19	0.92	0.0008	771	0.51	发明钢

A-6	0.40	1.84	0.60	0.008	0.009	0.52	0.18	0.0008	770	0.46	发明钢
A-7	0.44	1.76	0.48	0.006	0.011	0.95	0.08	0.0007	786	0.40	发明钢
A-8	0.44	2.21	0.91	0.006	0.007	0.05	0.22	0.0008	842	0.50	发明钢
A-9	0.42	2.29	0.75	0.007	0.007	0.11	0.31	0.0007	847	0.55	发明钢
A-10	0.43	1.78	0.53	0.008	0.006	0.21	0.11	0.0008	771	0.41	发明钢
A-11	0.45	1.75	0.56	0.008	0.007	0.18	0.15	0.0007	776	0.39	比较钢
A-12	0.37	1.98	0.78	0.008	0.006	0.05	0.06	0.0007	766	0.54	比较钢
A-13	0.44	2.20	0.62	0.007	0.005	0.58	0.07	0.0006	852	0.50	比较钢

[0087] [表2]

[0088] [表2]

[0089]

钢No.	加热温度 (°C)	加热速度 (°C/分钟)	HV250以下的 范围(μm)	HV250以下的 范围的组织	1/4D部 组织	1/4D部 组织 (HRC)	拉拔加工时的 断裂次数	拉丝性	拉伸强度 (MPa)	弯曲 加工性	备注
A-1	1000	2	0	-	B	39	0	○	1443	○	基准钢
A-2	1000	25	40	α	α+P	24	0	○	1861	○	发明钢
A-3	950	20	40	α	α+P	28	0	○	1916	○	发明钢
A-4	1100	10	50	α	α+P	25	0	○	1871	○	发明钢
A-5	1000	5	80	α	B	38	0	○	2106	○	发明钢
A-6	1050	15	30	α	α+P	29	0	○	1924	○	发明钢
A-7	900	20	20	α	α+P+B	34	0	○	1970	○	发明钢
A-8	880	2	60	α	α+P	29	0	○	1938	○	发明钢
A-9	950	15	90	α	α+P	28	0	○	1932	○	发明钢
A-10	900	10	30	α	α+P	26	0	○	1886	○	发明钢
A-11	1000	10	10	α	α+P	27	2	×	1903	×	比较钢
A-12	1000	10	80	α	α+P	25	0	○	1462	○	比较钢
A-13	1000	15	40	α	B+M	42	4	×	2385	×	比较钢

α 铁素体
P 珠光体
B 贝氏体
M 回火马氏体

○ 无破裂·裂纹
× 有破裂·裂纹

○ 无裂纹
× 有裂纹

[0090] [实验2]

[0091] 对于上述的A值和B值,本发明的发明人等由使成分组成与A值和B值变化的钢筋用钢制作钢筋,调查了其拉伸强度、表层硬度和弯曲加工性、以及组织。应予说明,拉伸强度、表层硬度和弯曲加工性是通过后述的试验方法进行测定的。此外,调查了组织为HV300以下的范围内的组织,以及芯部(1/2D部:D为钢筋的直径)的组织。分别在表3中示出成分组成,在表4中示出拉伸强度、HV300以下的范围和弯曲加工性的评价结果。

[0092] 这里,进行评价时,钢筋的制造条件相同。即,制造条件如下所述。

[0093] 首先,将以真空熔解而熔炼的钢块加热至1100℃后,进行热挤伸锻造而制成直径11.5mm的圆棒。将得到的圆棒加工为ASTM E8中记载的平行部1/4in.的拉伸试验片,进行淬火-回火处理。此时的淬火处理的加热温度、保持时间、以及回火处理的回火温度和保持时间如表4所示。应予说明,弯曲加工性是将上述热挤伸锻造后的圆棒切断为500mm长度后,在上述条件下实施淬火-回火处理,通过后述的试验方法实施试验的。

[0094] 表4示出拉伸强度、HV300以下的范围和弯曲加工性的评价结果。如该表所示,可知将A值和B值均控制于本发明的范围内时,可得到良好的拉伸强度、HV300以下的范围和弯曲加工性。由以上情况可判明,通过将A值调整为770~850,将B值调整为0.40以上的范围,制成钢筋时为高强度且弯曲加工性提高。

[0095] [表3]

[0096] [表3]

[0097] 化学成分(质量%)

[0098]

钢No.	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	0	A值	B值	备注
A-1	0.33	1.50	1.30	0.009	0.005	0.70	0.35	0.0009	684	0.45	基准钢
B-1	0.37	1.91	0.20	0.010	0.005	0.85	0.05	0.0010	771	0.52	发明钢
B-2	0.42	2.00	0.90	0.010	0.004	0.03	0.21	0.0007	796	0.48	发明钢
B-3	0.45	2.21	0.25	0.008	0.004	0.12	0.11	0.0007	849	0.49	发明钢
B-4	0.40	1.78	0.21	0.008	0.005	1.19	0.92	0.0008	772	0.45	发明钢
B-5	0.40	1.84	0.60	0.008	0.009	0.52	0.18	0.0008	770	0.46	发明钢
B-6	0.44	1.99	0.48	0.006	0.011	0.95	0.08	0.0007	823	0.45	发明钢
B-7	0.44	2.21	0.91	0.006	0.007	0.05	0.22	0.0008	842	0.50	发明钢
B-8	0.44	1.85	0.75	0.007	0.007	0.11	0.31	0.0007	785	0.42	发明钢
B-9	0.38	1.95	0.53	0.008	0.006	0.21	0.11	0.0008	771	0.51	发明钢
B-10	0.45	1.75	0.56	0.008	0.007	0.18	0.15	0.0007	776	0.39	比较钢
B-11	0.40	1.87	0.92	0.008	0.006	0.05	0.06	0.0007	765	0.47	比较钢
B-12	0.44	2.28	0.62	0.007	0.005	0.58	0.07	0.0006	865	0.52	发明钢

[0099] [表4]

[0100] [表4]

[0101]

钢No.	Ac3 (°C)	加热 温度 (°C)	保持 时间 (秒)	回火 温度 (°C)	保持 时间 (秒)	HV300 以下的 范围 (μm)	HV300 以下的 范围的组织 (*)	芯部组织 (*)	拉伸强度 (MPa)	弯曲 加工性	备注
A-1	839	1000	30	600	30	0	-	M	1443	○	基准钢
B-1	879	950	45	300	30	30	α	M	1998	○	发明钢
B-2	848	1000	30	200	30	25	α	M	2244	○	发明钢
B-3	870	1000	600	350	30	55	α	M	1871	○	发明钢
B-4	876	1000	30	550	30	10	α	M	1635	○	发明钢
B-5	857	950	45	200	30	20	α	M	2252	○	发明钢
B-6	856	900	30	300	30	25	α	M	2085	○	发明钢
B-7	848	880	300	200	30	50	α	M	2266	○	发明钢
B-8	843	950	60	250	30	25	α	M	2152	○	发明钢
B-9	862	950	15	150	30	20	α	M	2298	○	发明钢
B-10	845	1000	600	300	30	5	α	M	2012	×	比较钢
B-11	850	1000	15	550	30	20	α	M	1521	○	比较钢
B-12	861	1000	20	150	30	35	α	M	2389	×	比较钢

(*)α:铁素体

M:回火马氏体

○无裂纹

×有裂纹

[0102] 综合以上实验结果可知,通过将成分组成、尤其是A值和B值限制为上述范围,钢筋用钢中从表面到至少20μm的厚度区域的硬度为HV250以下,且从表面到钢材的直径的1/4的深度区域(1/4D部)的硬度为HRC40以下,进而,淬火回火后的从表面到至少10μm的厚度区域的硬度为HV300以下。应予说明,优选将表层的硬度限制为如上所述。其理由如下所述。

[0103] 从表面到至少20μm的厚度区域的硬度为HV250以下

[0104] 从表面到至少20μm的厚度区域的硬度优选为HV250以下的理由是因为,若该区域的硬度大于HV250,则高强度钢筋用钢的硬度变高,拉丝性下降,拉拔加工时易于产生素线的断线。

[0105] 此外,设为从表面到至少20μm的厚度的范围是因为,若厚度小于20μm,则从表面起的高延展性区域变小,反而拉拔加工时易于产生素线的断线。另一方面,将该区域扩大至从表面起大于100μm的深度为止的区域时,作为高强度钢筋的强度下降,因此为了使得整体拉伸强度为1600MPa以上,需要芯部的进一步高强度化,反而拉拔加工时的拉丝性、作为高强度钢筋的弯曲加工性容易下降。因此,HV250以下的区域为从表面起100μm的深度为止时是

充分的。

[0106] 这里,为了使得从表面起至少20 μm 的厚度区域的硬度为HV250以下,优选将钢在大气中以30 $^{\circ}\text{C}$ /分钟以下的加热速度加热至Ac₃点以上。该工序可以在用于后述的热轧的原材料加热工序中进行。

[0107] 从表面到钢材的直径的1/4的深度区域的硬度为HRC40以下

[0108] 优选从表面到钢材的直径的1/4的深度区域的硬度为HRC40以下的理由是因为,若该区域大于HRC40,则拉拔加工时承受加工的区域变硬,或模具的寿命变短,或易于产生原材料的断线。这里,1/4的深度区域是指从钢材表面起距离为钢材的直径D的1/4的部分(1/4D部)。

[0109] 另外,为了使得该区域的硬度为HRC40以下,避免钢组织中产生马氏体组织即可,具体而言,通过热轧来制造钢筋用钢线材,此时,在Ar₃点以上使压延结束,其后,优选将至少700 $^{\circ}\text{C}$ 为止的冷却速度设为2 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以下。

[0110] 淬火回火处理后的钢筋中的从表面到至少10 μm 的厚度区域的硬度为HV300以下

[0111] 从表面到至少10 μm 的厚度区域的硬度优选为HV300以下的理由是因为,若该区域的硬度大于HV300,则硬度变高而延展性下降,因此弯曲加工时钢筋表层易于产生裂纹。因此,本发明中表层区域的硬度优选为HV300以下。此外,对于表层区域,设为从表面到至少10 μm 的深度为止的范围是因为,若小于10 μm ,则高延展性区域变小,弯曲加工时钢筋表层易于产生裂纹。由于以上原因,优选从表面到至少10 μm 的厚度区域的硬度为HV300以下。

[0112] 这里,为了使得从表面到10 μm 以上的厚度区域的硬度为HV300以下,优选将钢在大气中加热至Ac₃点以上。该工序可以通过后述淬火工序进行。

[0113] 另外,设为HV300以下的区域只要是从表面起的深度为10 μm 以上至150 μm 左右为止就足够。即,若设为HV300以下的从表面起的深度区域大于150 μm ,反而钢筋的强度下降,因此设为HV300以下的区域的从表面起的深度优选设为150 μm 以下。此外,设为HV300以下的区域优选设为铁素体单相组织。原因是因为,弯曲加工时表层产生应力集中,但若HV300以下的区域为铁素体单相组织,则由于铁素体的高延展性,应力集中被缓和而弯曲加工性变得更加良好。另外,由于贝氏体组织也具有某种程度的延展性,也可以在可满足HV300以下的范围内混入组织中。另一方面,为了确保作为钢筋的强度,钢筋的芯部组织优选为马氏体组织。

[0114] 进而,本发明的钢筋用钢为了提高强度,或提高钢筋中的弯曲加工性,除上述成分以外,还可以含有以下各成分。

[0115] Al:0.50质量%以下、Cu:1.0质量%以下、以及Ni:2.0质量%以下的1种或2种以上

[0116] Cu和Ni是提高淬透性、回火后的强度的元素,可以选择地添加。为了得到这种效果,Cu和Ni优选以0.005质量%以上的量添加。但是,若Cu大于1.0质量%以及Ni大于2.0质量%而添加,反而合金成本上升,因此优选Cu以1.0质量%为上限而添加,以及Ni以2.0质量%为上限而添加。

[0117] 此外,Al是作为脱氧剂有用,进而通过抑制淬火时的奥氏体晶粒生长而对维持强度有效的元素,因此优选的是以0.01质量%以上的量添加。然而,即使大于0.50质量%而添加,其效果也饱和,产生导致成本上升的缺点,而且钢中的氧化物增加,成为弯曲加工时的

起点,弯曲加工性下降。因此,A1优选以0.50质量%为上限而添加。

[0118] W:2.0质量%以下、Nb:0.1质量%以下、Ti:0.2质量%以下、以及V:0.5质量%以下的1种或2种以上

[0119] W、Nb、Ti和V均为提高淬透性、回火后的钢的强度的元素,可以根据所需强度而选择地添加。为了得到这种效果,优选W、Nb和Ti分别添加0.001质量%以上,V添加0.002质量%以上。但是,若V大于0.5质量%、Nb大于0.1质量%、以及Ti大于0.2质量%而添加,则钢中大量地产生硬质的碳化物·氮化物·碳氮化物,弯曲加工时易于成为龟裂产生的起点,导致弯曲加工性的下降。Nb、Ti和V优选分别以上述值为上限而添加。此外,若W大于2.0质量%而添加,则导致由高强度化所致的拉丝性的下降、弯曲加工性的下降、以及合金成本的上升。因此,W优选以2.0质量%为上限而添加。

[0120] B:0.005质量%以下

[0121] B是通过淬透性的增大而提高回火后的钢的强度的元素,可以根据需要而含有。为了得到上述效果,优选以0.0002质量%以上的量添加。但是,若大于0.005质量%而添加,则弯曲加工性变差。因此,B优选在0.0002~0.005质量%的范围内添加。

[0122] 具有以上成分组成的钢块也可以在利用转炉的熔炼和真空熔炼中的任一者中使用。而且,将钢块、板坯、大方坯(bloom)或小方坯(billet)等原材料加热而热轧,酸洗而除去氧化皮后拉丝而调整成规定的粗度,施行热处理而供给至钢筋用钢。

[0123] 使用本发明的钢筋用钢而制造的钢筋优选具有以上成分组成,且以拉伸强度计为1600MPa以上。即,拉伸强度小于1600MPa时,无法应对钢筋的混凝土高强度化,因此需要1600MPa以上。

[0124] 这里,为了使得拉伸强度为1600MPa以上,优选将具有上述成分组成的钢热轧后,将除去了氧化皮的钢筋用钢随后拉丝而调整成规定的粗度,在大气中加热至 A_{c3} 点以上而淬火(冷却速度为 $60^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以上),接下来,在 $100\sim 600^{\circ}\text{C}$ 的温度范围内进行回火。即,回火温度从确保弯曲加工性的观点出发优选为 100°C 以上,从确保拉伸强度为1600MPa以上的观点出发优选为 600°C 以下。

[0125] 经过上述制造过程而制造的钢筋中,其芯部的组织成为回火马氏体。此外,拉丝后表层部还存在脱碳层,进一步还通过淬火-回火而促进脱碳,因此表层部与芯部相比硬度变低。即,本发明的钢筋中的金属组织中,上述表层区域为铁素体单相组织、或铁素体和贝氏体的混合组织,其直径方向内侧的组织为回火马氏体。其结果,成为具有优异的弯曲加工性的高强度的钢筋。

[0126] 如此得到的钢筋不仅可以便宜地制造,而且为高强度且具有优异的弯曲加工性,能够应用于需要1600MPa以上的高强度的高层公寓等的剪切加强筋。

[0127] 实施例1

[0128] 按照表5所示的成分组成熔炼钢,连续铸造而制成小方坯后,按照表6所示的加热速度和加热温度进行加热,施行使得压延结束温度为 A_{r3} 点以上的热轧,其后,使至少到 700°C 为止的冷却速度如表6所示为 $2^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以下并进行冷却,从而制造直径D为13.5mm的线材。其后,从线材的前端、中间、尾端采集直径为13.5mm、长度为5mm的样品,通过后述条件测定、观察与压延方向垂直的面(直径13.5mm的面)的表层的硬度、表层的组织、 $1/4D$ 的硬度、组织。

[0129] 接着,为了评价作为高强度钢筋的特性,对得到的线材进行成为12.6mm的拉拔加

工,其后,在大气中加热至1000℃后保持300秒,以60℃的油进行冷却,加热至350℃后保持30秒,水冷而进行淬火回火。作为钢筋用钢材的拉丝性是以该拉拔加工时素线是否断线来判断的,如果没有断线,则判断为具有良好的拉丝性。

[0130] 进而,对于淬火回火后的线材,加工为ASTM E8中记载的平行部1/4in.的拉伸试验片,通过后述试验方法实施拉伸试验,并且使用该试验片调查表层硬度和组织。此外,对于弯曲试验片,将直径D为11.5mm的线材切断为500mm长度后,进行在上述热处理条件下的淬火回火。

[0131] [表层硬度测定]

[0132] HV250以下的硬度的范围的调查是从拉拔加工前的线材(钢筋用钢)的前端、中间、尾端提取直径为13.5mm、长度为5mm的样品而进行。将该样品以被检面成为与压延方向垂直的面(直径13.5mm的面)的方式嵌入,镜面研磨后,用株式会社Akashi制的微小硬度试验机(HM-115)以负荷10gf、10μm深度间距实施测定,求出成为HV250以下的区域。

[0133] [1/4D部硬度测定]

[0134] 使用进行了上述表层硬度测定的样品,将1/4D部(D为线材的直径)的硬度用Mitutoyo制的Rockwell硬度试验机(ARK-600)以C标尺测定4个点,求出平均值。

[0135] [微观组织观察]

[0136] 使用进行了上述硬度测定的样品,以3%硝酸乙醇溶液腐蚀后,进行HV250以下的范围的组织、1/4D部的组织观察。组织观察是以500倍的倍率进行观察的。

[0137] [拉丝性]

[0138] 拉丝性是通过进行将直径13.5mm的钢筋用钢拉拔加工为12.6mm的操作时有无断线来进行评价的。断线次数表示在200m拉拔加工时断线的次数,即使发生1次断线时也判断为拉丝性下降。

[0139] [弯曲试验]

[0140] 为了调查作为钢筋的弯曲特性,从拉拔加工、热处理后的线材以直径D的4倍弯曲直径(4D)进行180°弯曲,评价弯曲加工性。对弯曲加工后的线材进行渗透探伤试验而调查裂纹的有无。

[0141] [拉伸试验]

[0142] 为了调查作为高强度钢筋的拉伸特性,从拉拔加工、热处理后的线材采集ASTM E8中记载的平行部的直径1/4in.的拉伸试验片,以评点间距离25.4mm和拉伸速度5mm/分钟实施试验。本发明中,如果拉伸强度为1600MPa以上,则评价为可得到高强度钢筋。

[0143] [淬火回火后的表层的硬度测定]

[0144] HV300以下的范围的调查是对上述拉伸试验片实施热处理,切出平行部的中央部并嵌入至树脂,镜面研磨后,使用株式会社Akashi制的微小硬度试验机(HM-115),以负荷10gf从表面依次以5μm深度间距实施测定,确定HV300以下的区域。

[0145] [淬火回火后的组织的观察]

[0146] 分别以下述方式进行而观察HV300以下的范围的组织、以及芯部(1/2D部:D为线材的直径)的组织。即,使用进行了上述硬度测定的样品,以3%硝酸乙醇溶液腐蚀后,进行HV300以下的范围的组织和1/2D部的组织的组织观察。组织观察是以500倍的倍率进行的,进行各个位置的组织的鉴定。

[0147] [表5]

[0148]

[表5]

[化学成分(质量%)]

钢No.	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	O	Al	Cu	Ni	W	Nb	Ti	V	B	A值	B值	Ac3点	Ar3点	备注
A-1	0.33	1.50	1.30	0.009	0.005	0.70	0.35	0.0009									684	0.45	839	747	基准钢
C-1	0.38	1.95	0.42	0.010	0.006	0.21	0.06	0.0010									771	0.51	872	820	发明钢
C-2	0.42	2.03	0.89	0.011	0.004	0.03	0.21	0.0007	0.02					0.015		0.0021	801	0.48	850	778	发明钢
C-3	0.44	2.22	0.42	0.008	0.004	0.11	0.15	0.0007	0.02					0.023		0.0021	845	0.50	866	811	发明钢
C-4	0.43	1.78	0.95	0.008	0.005	1.19	0.92	0.0008		0.73	1.50			0.051	0.05		788	0.41	837	652	发明钢
C-5	0.45	1.75	0.56	0.008	0.007	0.18	0.15	0.0007	0.02						0.06		776	0.39	845	785	比较钢
C-6	0.45	1.98	0.41	0.007	0.010	0.92	0.15	0.0007	0.12	0.21	0.42	0.51				0.0035	826	0.44	857	763	发明钢
C-7	0.44	2.21	0.91	0.006	0.007	0.05	0.22	0.0008		0.92	1.98	1.69		0.012		0.0048	842	0.50	848	652	发明钢
C-8	0.44	1.84	0.65	0.007	0.006	0.52	0.31	0.0007	0.31				0.07				791	0.42	846	707	发明钢
C-9	0.38	2.29	0.53	0.008	0.006	0.21	0.11	0.0008				0.72		0.099		0.0022	828	0.60	878	817	发明钢
C-10	0.42	1.99	0.85	0.006	0.004	0.04	0.21	0.0009		0.25	0.45				0.31		795	0.47	848	753	发明钢
C-11	0.52	2.30	0.92	0.007	0.004	0.11	0.31	0.0008	0.02								898	0.44	833	753	比较钢
C-12	0.35	2.20	0.62	0.007	0.006	0.25	0.09	0.0007	0.03	0.10	0.10			0.021			796	0.63	879	813	比较钢
C-13	0.43	1.72	0.71	0.006	0.005	0.21	0.11	0.0007					0.01				762	0.40	842	769	比较钢
C-14	0.40	2.33	0.75	0.008	0.006	0.26	0.10	0.0008					0.01				847	0.58	867	788	比较钢
C-15	0.38	2.10	0.62	0.007	0.005	1.30	0.05	0.0009		0.21	0.44						814	0.55	869	766	比较钢
C-16	0.41	2.21	0.91	0.006	0.007	0.35	0.22	0.0008	0.03			0.02	0.01	0.035	0.12	0.0031	833	0.54	855	768	发明钢
C-17	0.42	1.86	0.35	0.007	0.005	0.85	0.16	0.0007	0.03				0.03	0.051	0.09	0.0022	790	0.44	862	771	发明钢
C-18	0.39	2.05	0.72	0.007	0.006	0.35	0.11	0.0009		0.15	0.33			0.023	0.22	0.0021	795	0.53	862	776	发明钢
C-19	0.42	1.92	0.32	0.006	0.004	1.00	0.40	0.0010									802	0.46	864	800	发明钢
C-20	0.42	1.81	1.10	0.007	0.005	0.33	0.11	0.0010	0.02				0.01				773	0.43	834	743	比较钢
C-21	0.42	1.82	0.25	0.006	0.004	0.25	1.10	0.0011		0.11	0.25			0.019	0.10	0.0025	773	0.43	864	794	比较钢
C-22	0.44	1.84	0.65	0.007	0.006	0.52	0.31	0.0008	0.03			0.33					791	0.42	846	775	发明钢
C-23	0.44	1.76	0.53	0.008	0.006	0.21	0.11	0.0007	0.03	0.30	0.70			0.033	0.11	0.0021	773	0.40	848	750	发明钢
C-24	0.42	1.99	0.85	0.006	0.004	0.04	0.21	0.0008	0.03			0.25			0.05	0.0033	795	0.47	848	779	发明钢
C-25	0.44	1.78	0.25	0.006	0.004	0.06	0.03	0.0011						0.019	0.10	0.0025	773	0.40	858	815	比较钢
C-26	0.40	2.25	0.62	0.007	0.005	0.005	0.05	0.0009		0.21	0.44						827	0.56	869	785	比较钢

[0149] 在表6中示出钢筋用钢的HV250以下的范围及其组织、1/4D部的组织及其硬度、拉

拔加工时的拉丝性、以及对该拉丝后的线材施行淬火回火处理而制作的钢筋的表层硬度、组织、拉伸强度和弯曲加工性的各评价结果。可知满足本发明的成分组成和A值、B值的C-1~4、C-6~10、C-16~19和C-22~24的钢的拉拔加工时的拉丝性、钢筋的拉伸强度和弯曲加工性良好。与此相对,可知即使成分组成在本发明范围内,B值不满足本发明的范围的C-5的钢的HV250以下的范围也无法满足本发明的范围,弯曲加工性下降。此外,可知成分组成不满足本发明的范围的C-11~15、C-20~21和C-25~26的钢的拉拔加工时的拉丝性、高强度钢筋中的拉伸强度、弯曲加工性均下降。

[0150] [表6]

[0151]

[表6]

钢No.	加热温度 (°C)	加热速度 (°C/分钟)	热轧条件 结束温度 (°C)	冷却速度 (°C/分钟)	HV250以下的范围 (μm)	HV250以下的范围的组织	1/4D部组织	1/4D部硬度 (HRC)	拉拔加工时的 新裂纹数	拉丝性	HV300以下的范围 (μm)	HV300以下的范围的组织	芯部组织	拉伸强度 (MPa)	弯曲加工性	备注
A-1	1000	2	810	1.0	0	-	B	39	0	○	0	-	M	1443	○	基准钢
C-1	1000	10	830	1.5	50	α	α+P	24	0	○	40	α	M	1843	○	发明钢
C-2	1000	10	800	1.0	50	α	α+P	33	0	○	45	α	M	1915	○	发明钢
C-3	880	10	820	1.5	50	α	α+P	26	0	○	40	α	M	1888	○	发明钢
C-4	950	15	800	1.0	20	α+B	α+P+B	37	0	○	15	α+B	M	2185	○	发明钢
C-5	850	10	800	1.0	10	α	α+P	26	2	×	5	α	M	1903	×	比较钢
C-6	950	10	800	1.0	30	α	α+P	33	0	○	20	α	M	1987	○	发明钢
C-7	850	15	750	0.3	70	α	α+P	31	0	○	55	α	M	1967	○	发明钢
C-8	950	1	800	1.0	20	α	α+P	32	0	○	10	α	M	1972	○	发明钢
C-9	1000	5	830	1.5	70	α	α+P	28	0	○	100	α	M	1869	○	发明钢
C-10	1000	5	800	1.0	50	α	α+P	32	0	○	45	α	M	1918	○	发明钢
C-11	880	10	800	1.0	10	α	B+M	43	4	×	5	α	M	2008	×	比较钢
C-12	880	10	850	1.5	70	α	α+P	25	0	○	65	α	M	1526	○	比较钢
C-13	880	5	800	1.0	10	α	α+P	26	3	×	5	α	M	1903	×	比较钢
C-14	950	10	800	1.0	60	α	α+P	26	1	×	50	α	M	1908	×	比较钢
C-15	950	10	800	1.0	60	α	α+P	32	3	×	55	α	M	2000	×	比较钢
C-16	900	10	790	1.0	70	α	α+P	31	0	○	55	α	M	1955	○	发明钢
C-17	950	10	790	0.8	30	α	α+P	35	0	○	20	α	M	1948	○	发明钢
C-18	950	10	800	1.3	70	α	α+P	30	0	○	75	α	M	1909	○	发明钢
C-19	1000	15	850	2.0	30	α	α+P	36	0	○	30	α	M	1989	○	发明钢
C-20	1000	10	800	1.0	30	α	α+P	33	1	×	25	α	M	1951	×	比较钢
C-21	1000	10	820	1.0	20	α	α+P	34	2	×	20	α	M	2008	×	比较钢
C-22	950	25	800	1.1	30	α	α+P	33	0	○	30	α	M	1972	○	发明钢
C-23	950	0.5	800	1.0	20	α	α+P	28	0	○	10	α	M	1902	○	发明钢
C-24	950	30	820	1.0	40	α	α+P	29	0	○	35	α	M	1912	○	发明钢
C-25	1000	10	850	1.5	20	α	α+P	28	0	○	20	α	M	1535	○	比较钢
C-26	1000	10	800	1.0	40	α	α+P	26	0	○	30	α	M	1523	○	比较钢

α 铁素体
P 珠光体
B 贝氏体
M 回火马氏体

○ 无破裂、裂纹
× 有破裂、裂纹

○ 无裂纹
× 有裂纹

[0152] 实施例2

[0153] 按照表7所示的成分组成熔炼钢,连续铸造而制成小方坯后,按照表8所示的加热速度和加热温度加热,施行使得压延结束温度为 Ar_3 点以上的热轧,其后,使至少到 $700^{\circ}C$ 为止的冷却速度如表8所示为 $2^{\circ}C/s$ 以下并进行冷却,从而制造直径 D 为 $13.5mm$ 的线材。其后,从线材的前端、中间、尾端采集直径为 $13.5mm$ 、长度为 $5mm$ 的样品,与上述实施例1的情况同样地测定、观察与压延方向垂直的面(直径 $13.5mm$ 的面)的表层的硬度、表层的组织、 $1/4D$ 的硬度、组织。

[0154] 接着,为了评价作为高强度钢筋的特性,对得到的线材进行成为 $11.5mm$ 的拉拔加工,其后,按照表8所示的条件在大气中加热至 Ac_3 点 $\sim 1200^{\circ}C$ 的温度区域后,在 $60^{\circ}C$ 的油中冷却后,加热・保持至 $100\sim 600^{\circ}C$ 的温度区域后,水冷而进行淬火-回火。拉丝性是以该拉拔加工时素线是否断线来判断的,如果没有断线,则判断为具有良好的拉丝性。

[0155] 对于淬火回火后的线材,加工为ASTM E8中记载的平行部 $1/4in.$ 的拉伸试验片,与上述实施例1的情况同样地实施试验。

[0156] [表7]

[0157]

化学成分(质量%)

[表7]

钢 No.	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	O	Al	Cu	Ni	W	Nb	Ti	V	B	A 值	B 值	Ac3 (°C)	Ar3 点	备注
A-1	0.33	1.50	1.30	0.009	0.005	0.70	0.35	0.0009									684	0.45	839	747	基准钢
D-1	0.38	1.85	0.42	0.010	0.006	1.06	0.07	0.0010									770	0.49	869	804	发明钢
D-2	0.42	2.03	0.78	0.011	0.004	0.03	0.21	0.0007	0.02					0.015			801	0.48	854	786	发明钢
D-3	0.44	2.22	0.42	0.008	0.004	0.11	0.15	0.0007	0.02					0.023		0.0021	845	0.50	866	811	发明钢
D-4	0.37	1.88	0.21	0.008	0.005	1.19	0.92	0.0008		0.73	1.50			0.051	0.05		771	0.51	843	725	发明钢
D-5	0.45	1.75	0.56	0.008	0.007	0.18	0.15	0.0007	0.02						0.06		776	0.39	847	785	比较钢
D-6	0.45	1.99	0.42	0.007	0.010	0.92	0.11	0.0007	0.12	0.21	0.42	0.51				0.0035	827	0.44	847	763	发明钢
D-7	0.44	2.21	0.91	0.006	0.007	0.05	0.22	0.0008		0.92	1.98	1.69		0.012		0.0048	842	0.50	803	652	发明钢
D-8	0.44	1.84	0.65	0.007	0.006	0.52	0.31	0.0007	0.31				0.07	-			791	0.42	846	707	发明钢
D-9	0.42	1.82	0.53	0.008	0.006	0.21	0.11	0.0008				0.72		0.099		0.0022	772	0.43	862	794	发明钢
D-10	0.42	1.99	0.85	0.006	0.004	0.04	0.21	0.0009		0.25	0.45				0.31		795	0.47	849	753	发明钢
D-11	0.52	2.30	0.45	0.007	0.004	0.11	0.15	0.0008	0.02								898	0.44	849	789	比较钢
D-12	0.35	2.20	0.62	0.007	0.006	0.25	0.09	0.0007	0.03	0.10	0.10			0.021			796	0.63	876	813	比较钢
D-13	0.40	1.72	0.71	0.006	0.005	0.21	0.11	0.0007					0.01				746	0.43	849	777	比较钢
D-14	0.40	2.33	0.75	0.008	0.006	0.26	0.10	0.0008					0.01				847	0.58	867	788	比较钢
D-15	0.38	2.10	0.62	0.007	0.005	1.30	0.05	0.0009		0.21	0.44						814	0.55	859	766	比较钢
D-16	0.41	2.21	0.91	0.006	0.007	0.35	0.22	0.0008	0.03			0.02	0.01	0.035	0.12	0.0031	833	0.54	860	768	发明钢
D-17	0.42	1.86	0.35	0.007	0.005	0.85	0.16	0.0007	0.03				0.03	0.051	0.09	0.0022	790	0.44	865	771	发明钢
D-18	0.39	2.05	0.72	0.007	0.006	0.35	0.11	0.0009		0.15	0.33			0.023	0.22	0.0021	795	0.53	862	776	发明钢
D-19	0.42	1.92	0.32	0.006	0.004	1.00	0.40	0.0010									802	0.46	864	800	发明钢
D-20	0.41	1.78	1.10	0.007	0.005	0.75	0.11	0.0010	0.02				0.01				771	0.43	836	738	比较钢
D-21	0.42	1.82	0.25	0.006	0.004	0.25	1.10	0.0011		0.11	0.25			0.019	0.10	0.0025	773	0.43	862	794	比较钢
D-22	0.44	1.84	0.65	0.007	0.006	0.52	0.31	0.0008	0.03			0.33					791	0.42	846	775	发明钢
D-23	0.40	1.80	0.53	0.008	0.006	1.00	0.11	0.0007	0.03	0.30	0.70			0.033	0.11	0.0021	772	0.45	850	749	发明钢
D-24	0.42	1.99	0.85	0.006	0.004	0.04	0.21	0.0008	0.03			0.25			0.05	0.0033	795	0.47	850	779	发明钢
D-25	0.42	1.82	0.25	0.006	0.004	0.25	0.03	0.0011		0.11	0.25			0.019	0.10	0.0025	773	0.43	862	804	比较钢
D-26	0.38	2.10	0.62	0.007	0.005	0.005	0.05	0.0009		0.21	0.44						791	0.55	859	787	比较钢

[0158] 表8中示出钢筋用钢的HV250以下的范围及其组织、1/4D部的组织及其硬度、拉拔加工时的拉丝性,以及对该拉丝后的线材施行淬火回火处理而制作的钢筋的表层硬度、组织、拉伸强度和弯曲加工性的各评价结果。可知满足本发明的成分组成与A值和B值的D-1~

4、D-6~10、D-16~19和D-22~24的钢的弯曲加工性良好。与此相对,可知即使成分组成在本发明范围内,B值不满足本发明的范围的D-5的钢的HV300以下的范围也小,其结果,弯曲加工性下降。此外,可知成分组成不满足本发明的范围的D-11~15、D-20~21和D-25~26的钢的拉伸强度、HV300以下的范围、弯曲加工性均下降。

[0159] [表8]

[0160]

[表8]

钢No.	热轧条件				淬火/回火条件				HV250 以下的范围 (μm)	HV300 以下的范围 (μm)	HV300以下的 范围的组织	芯部 组织	拉伸 强度 (MPa)	弯曲 加工性	备注
	加热 温度 ($^{\circ}\text{C}$)	加热 速度 ($^{\circ}\text{C}/\text{分种}$)	结束 温度 ($^{\circ}\text{C}$)	冷却 速度 ($^{\circ}\text{C}/\text{分种}$)	淬火 温度 ($^{\circ}\text{C}$)	保持 时间 (秒)	冷却 速度 ($^{\circ}\text{C}/\text{秒}$)	回火 温度 ($^{\circ}\text{C}$)							
A-1	1000	2	810	1.0	900	30	70	600	0	0	—	M	1443	○	基准钢
D-1	1000	10	820	1.5	900	15	70	300	30	20	α	M	2012	○	发明钢
D-2	1000	10	810	1.2	900	15	65	350	40	20	α	M	1905	○	发明钢
D-3	880	10	820	1.5	900	300	70	250	15	50	α +B	M	2105	○	发明钢
D-4	950	15	790	0.9	950	20	75	550	30	25	α	M	1639	○	发明钢
D-5	850	10	800	1.0	950	10	70	320	15	5	α	M	1968	×	比较钢
D-6	950	10	790	0.9	900	30	65	350	30	25	α	M	1982	○	发明钢
D-7	830	15	740	0.3	850	600	60	350	30	50	α	M	1967	○	发明钢
D-8	950	1	800	1.0	900	30	75	350	20	20	α	M	1972	○	发明钢
D-9	1000	5	820	1.4	950	10	70	300	25	20	α	M	1983	○	发明钢
D-10	1000	5	790	1.0	950	10	80	320	30	25	α	M	1984	○	发明钢
D-11	860	10	800	1.0	900	10	65	160	20	5	α	M	2354	×	比较钢
D-12	880	10	840	1.5	900	10	65	550	20	45	α	M	1424	○	比较钢
D-13	860	5	800	1.0	900	10	70	550	15	5	α	M	1447	×	比较钢
D-14	950	10	800	1.0	900	200	70	250	30	40	α	M	2127	×	比较钢
D-15	950	10	800	0.9	950	30	75	300	40	15	α	M	2109	×	比较钢
D-16	900	10	790	1.0	950	15	65	350	20	20	α	M	1955	○	发明钢
D-17	950	10	800	0.8	900	10	75	300	15	15	α	M	2057	○	发明钢
D-18	950	10	810	1.2	950	30	70	200	30	25	α	M	2237	○	发明钢
D-19	1000	15	860	2.0	1000	20	80	250	30	15	α	M	2218	○	发明钢
D-20	1000	10	800	1.0	950	15	75	160	15	10	α	M	2360	×	比较钢
D-21	1000	10	820	1.1	900	15	75	200	15	10	α	M	2336	×	比较钢
D-22	950	25	800	1.0	950	15	70	220	100	10	α	M	2256	○	发明钢
D-23	950	0.5	790	0.9	950	20	75	160	600	20	α	M	2282	○	发明钢
D-24	950	30	810	1.0	900	30	70	350	15	15	α	M	1912	○	发明钢
D-25	1000	10	850	1.5	950	15	75	400	30	10	α	M	1473	○	比较钢
D-26	950	10	810	1.1	950	30	75	400	30	15	α	M	1458	○	比较钢

(*) α :铁素体
M:回火马氏体
B:贝氏体
○无裂纹
×有裂纹